

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
FITOTECNIA

TESE

**Gongocomposto: Caracterização do Microbioma
Associado e Avaliação Agronômica como Substrato
na Produção de Mudas de Alface e Maracujá**

Luiz Fernando de Sousa Antunes

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**GONGOCOMPOSTO: CARACTERIZAÇÃO DO MICROBIOMA
ASSOCIADO E AVALIAÇÃO AGRONÔMICA COMO SUBSTRATO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE E MARACUJÁ**

LUIZ FERNANDO DE SOUSA ANTUNES

Sob a Orientação da Pesquisadora
Norma Gouvêa Rumjanek

e

Coorientação da Pesquisadora
Maria Elizabeth Fernandes Correia

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Fitotecnia**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de concentração em Agroecologia.

Seropédica, RJ
Maio de 2021

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001".

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo autor

A627g Antunes, Luiz Fernando de Sousa, 1988 -
Gongocomposto: caracterização do microbioma associado e avaliação
agronômica como substrato na produção de mudas de alface e maracujá/
Luiz Fernando de Sousa Antunes. - 2021.

91 f.: il.

Orientadora: Norma Gouvêa Rumjanek. Coorientadora: Maria
Elizabeth Fernandes Correia.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, 2021.

1. Gongocompostagem. 2. Comunidade microbiana. 3. 16s rRNA.
4. Mudas de qualidade. 5. Agricultura orgânica. I. Rumjanek, Norma
Gouvêa, 1953-, orient. II. Correia, Maria Elizabeth Fernandes, 1967-,
coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-
Graduação em Fitotecnia. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 14 / 2021 - DeptFITO (12.28.01.00.00.32)

Nº do Protocolo: 23083.042928/2021-27

Seropédica-RJ, 21 de junho de 2021.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

LUIZ FERNANDO DE SOUSA ANTUNES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Fitotecnia**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de concentração em Agroecologia.

TESE APROVADA EM 28/04/2021.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Norma Gouvêa Rumjanek. Dra. Embrapa Agrobiologia
(Orientadora)

Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ

José Guilherme Marinho Guerra. Dr. Embrapa Agrobiologia

Joana Falcão Salles. Dra. University of Groningen

Marco Antonio de Almeida Leal. Dr. Embrapa Agrobiologia

(Assinado digitalmente em 21/06/2021 20:30)
ADELSON PAULO DE ARAUJO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptS (12.28.01.00.00.33)
Matrícula: 1104775

(Assinado digitalmente em 21/06/2021 15:38)
MARCO ANTONIO DE ALMEIDA LEAL
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 991.790.757-20

(Assinado digitalmente em 21/06/2021 18:21)
JOSÉ GUILHERME MARINHO GUERRA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 785.371.857-87

(Assinado digitalmente em 13/07/2021 15:30)
NORMA GOUVÊA RUMJANEK
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 345.536.817-49

(Assinado digitalmente em 21/06/2021 15:38)
JOANA FALCAO SALLES
ASSINANTE EXTERNO
Passaporte: YE006795

14/07/2021

https://sipac.ufrj.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao.jsf?imprimir=true&idDoc=783000

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **14**, ano:
2021, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO**, data de emissão: **21/06/2021** e o
código de verificação: **15a1a22f85**

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

“Plante de manhã a sua semente, e mesmo ao entardecer não deixe as suas mãos ficarem à toa, pois você não sabe o que acontecerá, se esta ou aquela produzirá, ou se as duas serão igualmente boas.”

Eclesiastes 11:6

DEDICATÓRIAS

À memória de meus avós Benedito e Margarida.

Aos meus pais Haroldo e Cida.

À toda minha família.

À minha companheira Manu.

Aos meus amigos – de perto e de longe.

Às minhas orientadoras Norma e Beth.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pelo dom maior que é viver, por suas bênçãos em minha vida e por todas as conquistas a mim concedidas. 🎵🎵 Teu amor não falha 🎵🎵.

Aos meus pais, que amo muito! Sem eles, a etapa de mais um sonho não seria possível. Obrigado por me apoiar, acreditar, investir, ouvir e sempre me aconselhar.

À minha namorada, companheira e que sempre me apoiou e ouviu inúmeras vezes os meus comentários sobre a gongocompostagem, além de acompanhar de perto parte de toda essa conquista.

À minha orientadora, a Pesquisadora Norma G. Rumjanek, sempre atenciosa, alegre e empolgada com nossas pesquisas.

À minha coorientadora, a Pesquisadora Maria Elizabeth F. Correia, não diferente da Norma, sempre se dispôs a me ajudar, ensinar, aconselhar, e sobretudo, confiou em mim, desde 2012, quando iniciei minha trajetória científica como bolsista de iniciação científica do CNPq.

Ao Pesquisador José Guilherme Marinho Guerra, por todas conversas e contribuições nas minhas pesquisas com a gongocompostagem.

Ao Pesquisador Marco Antonio de Almeida Leal, por todos ensinamentos e parcerias que sempre contribuem na caracterização de todos os gongocompostos avaliados até aqui.

Ao Professor Adelson Paulo de Araújo por toda ajuda e atenção na construção, discussão e finalização do capítulo I dessa tese.

À analista Dione Galvão, parceira em meus experimentos, sempre compartilhando conhecimentos, contribuindo muito para que as pesquisas acontecessem.

Ao técnico de laboratório Roberto Silva – mais conhecido como Robertinho, um amigo e companheiro nas atividades do laboratório e nos trabalhos de campo, meu muito obrigado por tudo!

Ao técnico de laboratório João Luiz, por toda ajuda nas coletas de campo.

Aos meus amigos da pós-graduação que, além de acompanhar toda minha trajetória, colaboraram com tempo e ajuda na avaliação dos experimentos dessa tese.

Ao Mestre Vinício Oliosí Favero, que através do seu conhecimento nas ferramentas de bioinformática, foi essencial para termos sucesso na análise de dados do microbioma associado à gongocompostagem.

A todos meus amigos, de perto e de longe, por todo apoio e palavras de incentivo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e aos verdadeiros professores, “em essência”, sabem o significado de ser e cumprem a grandiosa e linda missão de ensinar, deixando ainda seus legados no solo fértil de nossas memórias.

Aos “professores” que ainda não descobriram quão bela é essa profissão, desejo tempo e capacidade para se redescobrirem e terem mais empatia pelas pessoas, inclusive com os alunos!!!”

À EMBRAPA Agrobiologia e todos os seus funcionários, pelo acolhimento e toda infraestrutura oferecida durante todos estes anos que permaneci como bolsista de iniciação científica, mestrado e doutorado. Se cheguei até aqui, a ajuda de todos foi fundamental.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

Muito obrigado a todos vocês!

RESUMO GERAL

ANTUNES, Luiz Fernando de Sousa. **Gongocomposto: caracterização do microbioma associado e avaliação agrônômica como substrato na produção de mudas de alface e maracujá.** 2021. 91p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A gongocompostagem é uma alternativa amigável ao meio ambiente, que viabiliza a produção de compostos orgânicos a partir de diferentes resíduos agrícolas para posterior uso como substrato na produção de mudas em geral. Os objetivos do presente estudo foram avaliar o desempenho agrônômico das mudas de alface crespa cultivar Vera, as quais foram produzidas no gongocomposto obtido aos 180 dias, comparando-o com o substrato orgânico comercial (Capítulo I); identificar a comunidade microbiana presente no processo de gongocompostagem pelo diplópode *Trigoniulus corallinus* (Capítulo II) e buscar novas formulações de substratos orgânicos à base de gongocomposto combinado com diferentes fontes de resíduos orgânicos, destinando-os à produção de mudas de maracujá amarelo (Capítulo III). No Capítulo I, constatou-se que a adubação nitrogenada via farelo de mamona (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹), proporcionou às alfaces oriundas de mudas cultivadas no gongocomposto melhor desempenho agrônômico em todas as adubações, quando comparadas às plantas oriundas do substrato comercial. Ademais, elas foram mais responsivas à medida em que se elevaram as doses da adubação, exibindo características fitotécnicas, índices fisiológicos e acúmulo de nutrientes superiores em relação às plantas originárias do substrato comercial. No Capítulo II, verificou-se que a diversidade alfa do microbioma foi elevada desde o início da gongocompostagem, enquanto a beta diversidade mostrou diferenças na estrutura da comunidade entre as fases da gongocompostagem. Os *phyla* *Proteobacteria* e *Actinobacteria* que representam 70% do microbioma estão relacionados à degradação da lignocelulose. A classe *Alphaproteobacteria* e a sua ordem *Rhizobiales* são os *taxa* mais abundantes caracterizados por diversas espécies capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico. As ordens prevalentes do filo *Actinobacteria* são *Actinomycetales*, que predomina no início do processo e *Acidimicrobiales*, ao final. Além desses *phyla*, estão presentes *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Firmicutes* e *Acidobacteria*, em torno de 5% cada. O aumento da abundância relativa de *Acidobacteria* ao final do processo pode estar relacionado à maturidade do gongocomposto que aos 180 dias apresenta relação C/N igual a 15. Os gêneros mais abundantes foram *Streptomyces* de *Actinobacteria* e *Bacillus* de *Firmicutes*, cerca de 4% cada. A estrutura e sucessão do microbioma ao longo da gongocompostagem se aproxima do que é evidenciado na decomposição da serrapilheira. No Capítulo III, os substratos orgânicos S1 (gongocomposto), S6 (50% gongocomposto + 50% fibra de coco em pó) e S5 (50% gongocomposto + 50% gliricídia) proporcionaram a obtenção de mudas de maracujá com excelentes características morfológicas e com maiores acúmulos de P, K, Ca e Mg na massa seca de parte aérea. Os substratos S6 e S5 constituem-se em duas novas opções de substratos sustentáveis na produção de mudas de maracujá amarelo. As informações valiosas sem precedentes obtidas sobre a gongocompostagem evidenciam a importância das comunidades bacterianas durante a contínua transformação da matéria orgânica bruta, além da influência que podem exercer sobre o desenvolvimento das plantas cultivadas no gongocomposto.

Palavras-chave: Gongocompostagem. Comunidade microbiana. 16s rRNA. Mudas de qualidade. Agricultura orgânica.

GENERAL ABSTRACT

ANTUNES, Luiz Fernando de Sousa. **Millicompost: characterization of the associated microbiome and agronomic evaluation as a substrate in the production of lettuce and passion fruit seedlings.** 2021. 91p. Thesis (Doctorate degree in Crop Science). Institute of Agronomy, Department of Crop Science, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Millicomposting is an environmentally friendly alternative, which enables the production of organic composts from different agricultural residues for later use as a general substrate in the production of seedlings. The objectives of this study were to evaluate the agronomic performance of the lettuce seedlings cultivar Vera, which were produced in the millicompost obtained at 180 days, compared to a commercial organic substrate (Chapter I); characterize the microbial community present in the millicomposting process by the diplopod *Trigoniulus corallinus* (Chapter II) and seek new formulations of organic substrates based on millicompost combined with different sources of organic residues, destining them for the production of yellow passion fruit seedlings (Chapter III). In Chapter I, it was found that nitrogen fertilization via castor cake (0, 50, 100 and 200 kg N ha⁻¹), provided lettuce from seedlings grown in the millicompost with the best agronomic performance independent of the fertilization level, when compared to plants from the commercial substrate. In addition, they were more responsive as the fertilizer doses increased, exhibiting phytotechnical characteristics, physiological indices and higher nutrient accumulation in relation to the plants from the commercial substrate. In Chapter II, it was verified high values for the alpha diversity of the microbiome through the whole process, while the beta diversity showed differences in the community structure between the phases of the millicomposting. The *phyla* *Proteobacteria* and *Actinobacteria*, which represent 70% of the microbiome, are related to the degradation of lignocellulose. The class *Alphaproteobacteria* and its order *Rhizobiales* are the most abundant *taxa* characterized by several species capable to reduce the atmospheric nitrogen. The prevalent orders of the phylum *Actinobacteria* are Actinomycetales, which predominates at the beginning of the process and *Acidimicrobiales*, at the end. In addition to these *phyla*, *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Firmicutes* and *Acidobacteria*, around 5% each, are present. The increase in the relative abundance of *Acidobacteria* at the end of the process may be related to the maturity of the millicompost, which at 180 days shows a C / N ratio of 15. The most abundant genera were *Streptomyces* from *Actinobacteria* and *Bacillus* from *Firmicutes*, around 4% each. The microbiome structure and succession along the millicomposting is close to that evidenced during litter decomposition. In Chapter III, the organic substrates S1 (millicompost), S6 (50% millicompost + 50% coconut fiber powder) and S5 (50% millicompost + 50% gliricidia) provided passion fruit seedlings with excellent morphological characteristics and with greater accumulations of P, K Ca and Mg in the dry matter of the aerial part. The substrates S6 and S5 constitute two new options as a sustainable substrate for the production of yellow passion fruit seedlings. The unprecedented valuable information obtained on millicomposting, shows the importance of bacterial communities during the continuous transformation of raw organic matter, in addition to the influence they may have on the development of plants grown in the millicompost.

Keywords: Millicomposting. Bacterial community. Microbiome. 16s rRNA. Quality seedlings. Organic agriculture.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores de pH, condutividade elétrica (CE), relação C/N, macronutrientes totais, percentual de macroporos, percentual de microporos, percentual de porosidade total, capacidade de retenção de água à tensão de 10 cm (CRA10 cm) e densidade volumétrica dos substratos utilizados na produção de mudas de alface crespa cultivar Vera. 12
- Tabela 2.** Valores médios da massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), altura de plantas (AP), número de folhas (NF), vigor de muda (VM) e estabilidade do torrão (ET) das mudas de alface crespa cultivar Vera produzidas em substratos orgânicos aos 25 dias após a semeadura. 17
- Tabela 3.** Área foliar específica de plantas de alface originárias de mudas produzidas em dois substratos (gongocomposto e Biomix) tratadas com diferentes doses de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). 22
- Tabela 4.** Comparação entre os diferentes tempos de gongocompostagem para cada filo bacteriano, considerando seus respectivos números de sequências. 46
- Tabela 5.** Relação C/N e teores dos macronutrientes presentes nos resíduos empregados na formulação de diferentes substratos com a adição do gongocomposto. 63
- Tabela 6.** Valores médios de macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC), porosidade total (POT), capacidade de retenção de água à tensão de 10 cm de coluna d'água (CRA10 cm) e densidade volumétrica (DV) dos diferentes substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo. 66
- Tabela 7.** Valores de pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo. 67
- Tabela 8.** Teores totais, teores disponíveis e proporção dos teores disponíveis de macronutrientes dos substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo. 69
- Tabela 9.** Conteúdo de carbono orgânico e relação carbono/nitrogênio (C/N) dos substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo. 70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Composição dos taxa pertencentes aos <i>phyla Actinobacteria</i> e <i>Proteobacteria</i> ocorrentes em cada período da gongocompostagem.	52
--	----

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores médios das umidades relativas máximas e mínimas do ar e temperaturas máximas e mínimas do ar, nos meses de maio a setembro de 2018, no município de Seropédica-RJ. 13
- Figura 2.** Croqui de uma unidade experimental de 3,40 m² contendo 68 plantas (17 plantas por linha), com espaçamento de 20 x 30 cm. As cores indicam a finalidade de cada planta, sendo que as áreas úteis foram as plantas das duas fileiras centrais coletadas semanalmente para análise de crescimento vegetal e as restantes destinada à estimativa da produtividade da cultura da alface crespa cultivar Vera. 15
- Figura 3.** Massa seca total de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). Os pontos representam as médias experimentais e a linha o modelo polinomial exponencial de segundo grau ajustado aos dados. 18
- Figura 4.** Área foliar de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). Os pontos representam as médias experimentais e a linha o modelo polinomial exponencial de segundo grau ajustado aos dados. 19
- Figura 5.** Taxa de crescimento absoluta de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). 20
- Figura 6.** Taxa de assimilação líquida de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). 21
- Figura 7.** Massa fresca comercial por planta, altura da planta, diâmetro da cabeça da planta e número de folhas por planta de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). 23
- Figura 8.** Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). 24
- Figura 9.** A- anel de concreto com capacidade para receber 40 L de resíduos para gongocompostagem; B- Fundo do anel de concreto, com tela de proteção e camada de 10 cm de pedra britada; C- Mistura dos resíduos vegetais e papelão; D- adição da mistura de A- anel de concreto com capacidade para receber 40 L de resíduos para gongocompostagem; B- Fundo do anel de concreto, com tela de proteção e camada de 10 cm de pedra britada; C- Mistura dos resíduos vegetais e papelão; D- adição da mistura de resíduos no anel de concreto; E- umedecimento dos resíduos para

posterior adição dos diplópodes; F e G- quantificação em volume dos diplópodes empregados na gongocompostagem; H e I- Adição dos diplópodes nos anéis contendo os resíduos vegetais e papelão; J- Anel de concreto coberto com tela tipo sombrite. Imagens: Luiz Fernando de Sousa Antunes, 2018.	36
Figura 10. Disposição ao acaso dos anéis de concreto com capacidade para 40 L da mistura de resíduos para a gongocompostagem. As diferentes cores dos anéis indicam os dias em que ocorreram as avaliações.	37
Figura 11. Curvas de rarefação correspondentes às diferentes fases amostradas do processo de gongocompostagem (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). As curvas de rarefação relacionam o o volume de sequências ao número estimado de grupos taxonômicos (<i>taxa</i>), determinado por Unidades Taxonômicas Operacionais (OTUs). O eixo Y mostra o número de leituras obtidas pelo sequenciamento do gene 16S rRNA. O eixo X mostra o número de unidades taxonômicas operacionais (OTUs) em um nível de 97% de similaridade (número estimado de espécies bacterianas).	40
Figura 12. Composição da diversidade da comunidade bacteriana durante os 180 dias do processo de gongocompostagem. (A) Número de OTUs observadas, (B) riqueza taxonômica estimada (índice de Chao 1) e (C) diversidade taxonômica estimada (índice de Shannon. Médias seguidas de letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	41
Figura 13. Análise das coordenadas principais (ACP) da diversidade β calculada pelo índice de Jensen-Shannon.	43
Figura 14. Diagrama de Venn com o número de OTUs compartilhadas ou não para cada tempo da gongocompostagem.	44
Figura 15. Abundância relativa a nível de filo da comunidade bacteriana presente durante o processo de gongocompostagem. Baixa abundância ($< 1\%$): <i>Chlamydiae</i> (0,30%), <i>Gemmatimonadetes</i> (0,25%), <i>Candidate division WPS-1</i> (0,17%), <i>Parcubacteria</i> (0,09%) e <i>Armatimonadetes</i> (0,02%).	45
Figura 16. Análise de componentes principais e os grupos bacterianos associados aos diferentes tempos de gongocompostagem (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias).	50
Figura 17. A abundância relativa da comunidade bacteriana durante o processo de gongocompostagem com base na análise da sequência de 16S rDNA. O mapa de calor da abundância de espécies se apresenta de seguinte maneira: grupos taxonômicos estão agrupados no eixo horizontal e as amostras representadas pelos 33 <i>taxa</i> mais abundantes seguem agrupadas no eixo vertical. Cores diferentes significam que a abundância relativa exibiu variações entre os tempos de gongocompostagem (as cores vermelhas representam abundâncias mais elevadas).	51
Figura 18. Esquema do processo de gongocompostagem e obtenção do gongocomposto.	62
Figura 19. Substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo. (S1) gongocomposto; (S2) Substrato comercial; (S3) 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; (S4) 50% de gongocomposto + 50% capim; (S5) 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; (S6) 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.	63

Figura 20. Valores de massa seca de parte aérea (A), massa seca de raízes (B), altura de planta (C), número de folhas (D), diâmetro do caule (E), volume de raízes (F), área foliar (G), nota do vigor de muda (H) e nota da estabilidade do torrão (I) das mudas de maracujá amarelo azedo produzidas nos diferentes substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto. Colunas sobrepostas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco..... 72

Figura 21. Diferenças nítidas entre as mudas de maracujá amarelo azedo aos 56 dias após a semeadura, que foram desenvolvidas nos diferentes substratos orgânicos: S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco. 74

Figura 22. Conteúdos de nutrientes acumulados na parte aérea das mudas de maracujá amarelo azedo produzidas nos diferentes substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto. Médias seguidas pela mesma letra na nas barras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco..... 75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O Papel Ecológico dos Diplópodes e a Gongocompostagem.....	3
2.2 A Compostagem e a Comunidade Bacteriana	3
2.3 O Papel dos Microrganismos no Desenvolvimento Vegetal	5
3 CAPÍTULO I DESEMPENHO AGRONÔMICO DA ALFACE CRESPA A PARTIR DE MUDAS PRODUZIDAS COM GONGOCOMPOSTO CULTIVADA SOB DIFERENTES DOSES DE FARELO DE MAMONA	7
3.1 RESUMO.....	8
3.2 ABSTRACT	9
3.3 INTRODUÇÃO	10
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.4.1 Produção das mudas de alface crespa.....	12
3.4.2 Condições experimentais.....	13
3.4.3 Avaliações do desenvolvimento e produção da alface	16
3.4.4 Análise estatística	16
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.5.1 Produção das mudas de alface crespa.....	17
3.5.2 Crescimento da alface.....	17
3.5.3 Produção de alface.....	22
3.7 CONCLUSÕES.....	29
4 CAPÍTULO II IDENTIFICAÇÃO DA COMUNIDADE BACTERIANA DURANTE O PROCESSO DE GONGOCOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E URBANOS.....	30
4.1 RESUMO.....	31
4.2 ABSTRACT	32
4.3 INTRODUÇÃO	33
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.4.1 Produção dos gongocompostos	35
4.4.2 Obtenção das amostras	37
4.4.3 Extração de DNA.....	37
4.4.4 Amplificação do gene rRNA 16S.....	37
4.4.5 Bioinformática e análise de dados	38
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.6 CONCLUSÕES.....	56
5 CAPÍTULO III SUBSTRATOS ORGÂNICOS À BASE DE GONGOCOMPOSTO COMBINADOS COM DIFERENTES FONTES DE RESÍDUOS VEGETAIS DESTINADOS À PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJÁ AMARELO	57
5.1 RESUMO.....	58
5.2 ABSTRACT	59
5.3 INTRODUÇÃO	60
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
5.4.1 Produção do gongocomposto	62
5.4.2 Condições experimentais.....	62
5.4.3 Análises das propriedades físicas, físico-químicas e químicas dos substratos.....	64

5.4.4 Avaliações morfológicas das mudas de maracujá	64
5.4.5 Análises estatísticas	65
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.5.1 Propriedades físicas dos substratos orgânicos	66
5.5.2 Propriedades físico-químicas.....	67
5.5.3 Propriedades químicas	68
5.5.4 Parâmetros morfológicos das mudas de maracujá.....	71
5.6 CONCLUSÕES.....	77
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS	78
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de resíduos lignocelulósicos renováveis em escala global está estimada em até $20\text{-}50 \times 10^9$ toneladas por ano, mas apenas cerca de 4×10^9 toneladas são utilizadas efetivamente na bioconversão (KELLEY; PATERSON, 1997). No Brasil a produtividade agrícola tradicional aumenta a cada ano e consigo a geração de resíduos oriundos desta atividade, que nem sempre têm uma destinação e aproveitamento adequados, se tornando um potencial problema à natureza, ocasionando a poluição de corpos d'água ou ainda servindo como fonte de inóculo às pragas e doenças, inimigas das culturas agrícolas. A reutilização destes resíduos é, sem dúvida, a opção mais interessante sob o ponto de vista econômico, ambiental, e, muitas vezes, social, promovendo a minimização do problema ambiental (PIRES; MATTIAZZO, 2008).

A agricultura ecológica, agroecológica e orgânica, vem crescendo, tendo um impulso em 1974 com a realização do 1º Congresso Internacional de Ecologia, com o estabelecimento da base ecológica de sustentabilidade em 1984. Esses movimentos de agricultura orgânica têm como base a utilização eficiente dos recursos, a diversidade de cultivos, a preservação do meio ambiente e a participação ativa dos atores sociais envolvidos na geração e difusão de tecnologias. Dentre as práticas da agricultura orgânica, verde, ecológica ou sustentável, tem-se a compostagem (RODDA *et al.*, 2006; DINIZ FILHO *et al.*, 2007).

A compostagem de resíduos orgânicos é um dos métodos mais antigos que se conhece de reciclagem de nutrientes. Consiste em um processo biológico de transformação da matéria orgânica existente nos resíduos em material humificado, que pode ser utilizado como adubo orgânico na agricultura, hortas e jardins, e até mesmo na recuperação de áreas degradadas (CAMPBELL, 1999; KEENER *et al.*, 2000). Este processo é resultado da atuação conjunta de microrganismos e da fauna saprófaga, em especial os diplópodes, isópodes e larvas de dípteros, conhecidos por consumir de 20-100% da serapilheira total presente no chão da floresta por ano (TAJOVSKY, 1992).

Os compostos orgânicos de modo geral possuem propriedades biológicas adequadas para seu uso como substratos para mudas de hortaliças, pois são capazes de fornecer os nutrientes necessários ao crescimento de várias culturas agrícolas (LEAL *et al.*, 2007). Neste sentido, o uso de resíduos orgânicos como fornecedores de nutrientes e suporte para compor substratos pode representar uma alternativa para diminuir o custo de produção das mudas hortícolas (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2014)

A utilização de recipientes com substratos a partir de fontes renováveis em substituição ao uso de solo é um fator importante na formação de mudas, sendo uma das etapas mais importantes no cultivo de hortaliças, pois delas dependem o desempenho final das plantas nos canteiros de produção (CARMELLO, 1995; SILVA JÚNIOR *et al.*, 1995). A produção de mudas em bandejas oferece maior cuidado nas fases de germinação e emergência, proporciona menor custo no controle de pragas e doenças, ganhos substanciais na qualidade, além do alto índice de pegamento após o transplante (MINAMI, 1995; MODOLO; TESSARIOLLI NETO, 1999; SMIDERLE *et al.*, 2001).

O húmus de minhoca, ou vermicomposto, é reconhecido pelo seu grande potencial para ser utilizado na formulação de substratos utilizados na produção de mudas em sistemas orgânicos de produção, principalmente quando há facilidade de acesso à matéria-prima proveniente de atividades pecuárias (STEFFEN *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Já os substratos formulados com resíduos provenientes da atividade de diplópodes são pouco conhecidos, entretanto também apresentam grande potencial para a produção de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) de maneira semelhante ao vermicomposto (THAKUR *et al.*, 2011;

ANTUNES *et al.*, 2016). Os estudos ainda são incipientes no mundo, com pesquisas pontuais na Índia (AMBARISH; SRIDHAR, 2013; SRIDHAR; AMBARISH, 2013; RAMANATHAN; ALAGESAN, 2012; ASHWINI; SRIDHAR, 2006) e aqui no Brasil (ANTUNES *et al.*, 2016), porém mostram a capacidade dos diplópodes em processar resíduos agrícolas e urbanos, gerando resíduos orgânicos que propiciam excelente qualidade no desenvolvimento de plantas. Uma espécie de interesse para esta tecnologia é o diplópode *Trigoniulus corallinus*, pois além de apresentar distribuição pantropical, é encontrada facilmente em diferentes ambientes agrícolas, principalmente pela sua distinta cor vermelha intensa. Pertencente à ordem Spirobolida e família Pachybolidae, é uma espécie nativa de áreas do sudeste asiático (BIANCHI; CORREIA, 2007; SHELLEY *et al.*, 2006).

Outro fator de grande importância para a qualidade de qualquer composto é o tipo de microbiota presente no mesmo, e que é resultante do próprio processo de decomposição. Diferentes processos podem originar diferentes comunidades microbianas, que à luz do conceito recente de “microbioma”, pode ter um efeito sinérgico maior do que a simples soma dos efeitos de cada microrganismo. Aira *et al.* (2015), observaram que o microbioma do vermicomposto era completamente diferente do microbioma do esterco em que a minhoca foi alimentada. Da mesma maneira, as interações planta-microrganismos estão associadas a respostas do microbioma da rizosfera aos exsudatos de plantas (ROHRBACHER; ST-ARNAUD, 2016).

Diante disto, o aproveitamento de restos culturais da propriedade como fonte para produção de composto orgânico e de baixo custo, capaz de aliar qualidades físicas e químicas na utilização como substrato, constitui uma alternativa viável à produção de mudas de qualidade, dispensando a necessidade da busca por formular misturas para compor um substrato orgânico e de baixo custo, capaz de aliar qualidades físicas, químicas e biológicas, sendo uma alternativa viável à produção de mudas de qualidade, dispensando a necessidade da busca por misturas formuladas para compor um substrato.

Acredita-se que o desenvolvimento diferenciado das mudas produzidas no gongocomposto possa estar associada a presença de um microbioma específico, potencializando o crescimento vegetal durante a formação das mudas. Destarte, o objetivo geral deste trabalho consistiu na produção de gongocomposto a partir de resíduos vegetais oriundos da atividade agrícola com a utilização de diplópodes da espécie *Trigoniulus corallinus*, conhecidos popularmente como gongolos ou piolhos-de-cobra. Posteriormente à produção do gongocomposto, subdividiu-se o trabalho em três capítulos. No Capítulo I, foi avaliado o desempenho agrônômico das mudas de alface crespa cultivar Vera, produzidas em bandejas contendo o gongocomposto obtido aos 180 dias, comparando-o com o substrato orgânico comercial, durante a fase de campo de 46 dias. No Capítulo II buscou-se a identificação do microbioma associado ao gongocomposto obtido a partir de diferentes tempos de gongocompostagem, verificando a dinâmica da comunidade microbiana associada, bem como sua funcionalidade e diversidade. E no Capítulo III, foram concebidas novas formulações de substratos orgânicos à base de gongocomposto, avaliados quanto às suas propriedades físicas e químicas e sua eficiência na produção de mudas de maracujá amarelo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Papel Ecológico dos Diplópodes e a Gongocompostagem

Os diplópodes são artrópodes que podem ser encontrados em todo o mundo, exceto na Antártica (KONDEPUDI; KANAGAPPAN; DAS, 2015). Com um total estimado de mais de 80.000 espécies existentes, apenas cerca de 12.000 espécies de diplópodes foram formalmente descritas em 3005 gêneros, 145 famílias e 16 ordens (SHELLEY, 2007; SIERWALD; BOND, 2007). Eles também constituem um dos principais grupos da fauna do solo e serapilheira em ambientes temperados e tropicais (ALAGESAN, 2016), sendo que a maioria dos deles vivem em locais escuros, portanto a sua visão não é bem desenvolvida (KONDEPUDI; KANAGAPPAN; DAS, 2015). No Brasil, os diplópodes são popularmente conhecidos como gongolos ou piolhos-de-cobra (ANTUNES *et al.*, 2018).

A sobrevivência de todas as florestas decíduas depende dos diplópodes, uma vez que eles são um dos principais decompositores mecânicos da serapilheira e da madeira, especialmente nos trópicos. Os diplópodes provaram ser membros importantes da cadeia alimentar de detritos no ecossistema rico em serapilheira (MARTENS *et al.*, 2002; WILSON; ANDERSON, 2004). Em regiões tropicais estes organismos são mais importantes que as minhocas na ciclagem de nutrientes no solo (COSTANETO, 2007), participando ativamente da aeração do solo e facilitando a decomposição da matéria orgânica por fungos e bactérias. Além disso, excretam amônia e ácido úrico, importantes fontes de nitrogênio (N) no solo, estimulando o metabolismo microbiano, essencial na reciclagem de nutrientes (SOUZA *et al.*, 2014).

Alagesan (2016) afirma que uma das próximas áreas de pesquisas com os diplópodes será empregá-los na agricultura orgânica. Assim como a vermicompostagem, a gongocompostagem é uma técnica ecologicamente correta que não envolve poluição e, portanto, é o método mais adequado para a transformação de resíduos orgânicos em matéria orgânica estável, quando comparada com os métodos convencionais, tais como aterros sanitários, incineração, produção de biogás, etc.

Ramanathan e Alagesan (2012) observaram, através de experimentos de laboratório, que o gongocomposto processado pelo millipede *A. magna* foi superior ao vermicomposto, contendo elevado teor de nutrientes e melhorando os parâmetros de crescimento das plantas de pimenta cultivadas em vaso. No Brasil, os diplópodes são popularmente conhecidos como gongolos ou piolhos-de-cobra (ANTUNES *et al.*, 2018).

Antunes *et al.* (2016) verificaram que o gongocomposto apresenta características físico-química semelhantes ao vermicomposto, sendo que ambos foram igualmente eficientes quando utilizados como substrato para a produção de mudas de alface. Antunes *et al.* (2019) buscaram avaliar o desenvolvimento do *Heliopsis scabra* utilizando o gongocomposto como substrato na fase de muda e posteriormente na fase de vaso. Os níveis elevados de nutrientes presentes no gongocomposto, bem como as suas propriedades físicas, proporcionaram a obtenção de mudas de qualidade superior em relação às mudas obtidas no substrato comercial. Na fase de vaso, mesmo sem ocorrer diferenças estatísticas entre os substratos, verificou-se que o gongocomposto apresentou grande eficiência no desenvolvimento do girassol ornamental.

2.2 A Compostagem e a Comunidade Bacteriana

A compostagem de resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos existe desde os tempos antigos, mas tornou-se tecnologia na década de 1920 na Europa como uma ferramenta para a

agricultura orgânica (HARINDINTWALI *et al.*, 2020). Através da técnica de compostagem uma variedade de resíduos orgânicos pode ser convertida em materiais simples a baixo custo de produção e de forma ambientalmente correta (LÓPEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2015).

Na compostagem o processo aeróbico é impulsionado pelas atividades de diversas comunidades microbianas que são afetadas pelos tipos de substratos presentes e pelas condições físico-químicas, tais como a temperatura, a concentração de oxigênio, a umidade e valores de pH (DE GANNES *et al.*, 2013). O processo de compostagem geralmente ocorre durante um longo período de tempo, compreendido por três fases: mesofílica, termofílica e maturação (DE GANNES *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2014). Para promover a degradação e utilização eficiente da biomassa lignocelulósica, espera-se que o processo de compostagem esteja continuamente na fase termofílica (DE GANNES *et al.*, 2013).

Através do método de sequenciamento de DNA conhecido como *Next-Generation Sequencing* -NGS (Sequenciamento de Nova Geração) tem-se a identificação e categorização taxonômica das comunidades microbianas (COVINO *et al.*, 2016; KALKAN AKTAN *et al.*, 2018). Milhões de sequências de uma amostra são obtidas a partir de uma única corrida – termo utilizado para este tipo de análise, e podem ser executadas usando a técnica de NGS, fornecendo conhecimentos detalhados sobre a diversidade taxonômica de microrganismos presentes no solo, compostos orgânicos, sedimentos, dentre outros tipos de amostras (HUANG *et al.*, 2019). Usando uma abordagem metaproteômica (caracterização em grande escala de todo o complemento proteico da microbiota em um determinado ponto no tempo), os microrganismos dominantes que degradam a lignocelulose podem ser localizados e identificados. Tais estudos estão focados principalmente em mudanças espontâneas dentro das comunidades microbianas em compostos no ambiente natural. (JOHNSON-ROLLINGS *et al.*, 2014).

A concentração e disponibilidade de nutrientes constituintes da matéria orgânica exercem um papel decisivo na regulação e manutenção das populações microbianas. Durante o processo de compostagem, os componentes menos recalcitrantes tais como oligossacarídeos, ácidos orgânicos, hemiceluloses e celulose, são rapidamente degradados pela atividade microbiana, já os demais compostos que são altamente recalcitrantes, como a lignina e lignocelulose, promovem a presença de microrganismos capazes de degradá-los (VOŘÍŠKOVÁ *et al.*, 2013; LÓPEZ-GONZALES *et al.*, 2015).

Os *phyla Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* e *Actinobacteria* são comumente relatados como os filos bacterianos mais dominantes nos processos de compostagem (GALITSKAYA *et al.*, 2017; WEI *et al.*, 2018). De todos os microrganismos que degradam a celulose, as bactérias aeróbias são os decompositores mais importantes e são conhecidas como as amigas da compostagem. Várias bactérias, incluindo espécies dos gêneros *Pseudomonas*, *Klebsiella* e *Bacillus*, foram recuperadas de várias instalações de compostagem. Alguns dos representantes dos gêneros termofílicos de *Actinobacteria* que foram encontrados no composto são *Nocardia*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces* e *Micromonospora* (HARINDINTWALI *et al.*, 2020).

Estudos revelaram que os principais microrganismos envolvidos na transformação do nitrogênio durante o processo de compostagem são principalmente bactérias decompositoras de celulose. Gêneros de bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Stenotrophomonas*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Alcaligenes*, *Achromobacter* e *Caulobacter*, isolados de compostos orgânicos (PEPE *et al.*, 2013), foram descritos anteriormente como estando envolvidos na degradação da matéria orgânica durante a compostagem (INSAM; BERTOLDI, 2007).

O composto é uma opção natural, segura e ecológica para a recuperação da fertilidade do solo degradado e para o fornecimento de substâncias, como nutrientes, fitohormônios, antioxidantes e enzimas que promovem o crescimento das plantas. Além disso, a aplicação de composto é a melhor abordagem para reduzir o uso de fertilizantes sintéticos, os quais têm um

impacto negativo no meio ambiente e cuja produção é onerosa (LÓPEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2017).

2.3 O Papel dos Microrganismos no Desenvolvimento Vegetal

As bactérias promotoras do crescimento vegetal (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* – PGPRs) incluem as bactérias que vivem livremente e formam uma relação simbiótica específica com as plantas, endófitos bacterianos que podem colonizar algumas partes do tecido vegetal e *Cyanobacteria* (FARRAR *et al.* 2014). Embora todas as bactérias sejam distintas umas das outras de várias maneiras, todas exibem os mesmos mecanismos enquanto promovem o crescimento bacteriano. Eles podem promover o crescimento diretamente, facilitando a aquisição de recursos ou modificando os níveis de hormônios vegetais e indiretamente, reduzindo os efeitos inibitórios de vários agentes patogênicos no crescimento e desenvolvimento das plantas (MAHANTY *et al.*, 2017).

Existem diferentes microrganismos promotores de crescimento em plantas atuando em seu crescimento e biocontrole. *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azospirillum*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Acetobacter*, *Bacillus megaterium*, *Azolla*, *Bacillus polymyxa*, *etc.*, são bactérias promotoras de crescimento em plantas muito comuns que ajudam a melhorar substancialmente o rendimento das culturas e o crescimento total das plantas (MAHANTY *et al.*, 2017).

As PGPRs promovem o crescimento das plantas melhorando a absorção de macronutrientes (nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre) e micronutrientes (cloro, ferro, boro, manganês, zinco, cobre, molibdênio e níquel). A diminuição do pH do solo ocorre através da produção de ácidos orgânicos ou pelo estímulo da bomba de prótons ATPase que melhoram a solubilização desses nutrientes (MANTELIN; TOURAINÉ, 2004).

Bactérias fixadoras de N, como *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, podem estabelecer simbioses formando nódulos em raízes de plantas leguminosas, como soja, ervilha, amendoim e alfafa, que convertem o nitrogênio atmosférico em amônia, a qual é usada como fonte de nitrogênio (MURRAY, 2011). No entanto, este processo é principalmente limitado às culturas leguminosas. Bactérias de vida livre, como *Azospirillum*, *Azoarcus*, *Azotobacter*, *Bacillus polymyxa*, *Burkholderia*, *Gluconoacetobacter* e *Herbaspirillum* têm a capacidade de fixar nitrogênio. Estas bactérias promotoras de crescimento podem fertilizar várias culturas agronomicamente importantes, como trigo, sorgo, milho, arroz e cana-de-açúcar (PÉREZ-MONTAÑO *et al.*, 2014).

No solo, está presente uma grande quantidade de fósforo insolúvel que não pode ser absorvida pelas plantas, limitando assim o seu crescimento. As bactérias promotoras de crescimento vegetal convertem o fósforo em uma forma solúvel que pode ser utilizada pelas plantas. A maior parte do fosfato absorvido por uma célula está na forma de HPO_4^{2-} ou H_2PO_4^- . Bactérias solubilizadoras de fosfato, como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Serratia*, convertem fosfatos insolúveis em solúveis através do processo de acidificação, quelação, reações de troca e produção de ácido glucônico (PÉREZ-MONTAÑO *et al.*, 2014).

Muitas bactérias promotoras do crescimento vegetal desempenham um duplo papel de promoção do crescimento das plantas, bem como um agente de biocontrole. A característica de promoção do crescimento de plantas pode ser empregada para a multitarefa de aumento da produtividade das culturas e cultivo de plantas em solos de baixa fertilidade para produção de biocombustível (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

A maior parte de nosso conhecimento atual é limitado à estrutura da comunidade microbiana com muita pouca informação sobre sua função. É uma tarefa desafiadora decifrar

quais grupos microbianos são funcionalmente ativos: um enigma que pode ser resolvido com dados de metatranscriptoma dos microrganismos do solo. As comunidades microbianas funcionais variam de acordo com a localização geográfica, condições ambientais, qualidade do solo, genótipo da planta e estágio de desenvolvimento (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

3 CAPÍTULO I

DESEMPENHO AGRONÔMICO DA ALFACE CRESPA A PARTIR DE MUDAS PRODUZIDAS COM GONGOCOMPOSTO CULTIVADA SOB DIFERENTES DOSES DE FARELO DE MAMONA

3.1 RESUMO

O desenvolvimento vegetal é influenciado desde a germinação e o substrato é um dos componentes que influenciam a obtenção de mudas saudáveis e bem desenvolvidas para serem transplantadas nos campos de produção. Diante dos bons resultados já alcançados na produção de mudas olerícolas e ornamentais a partir do uso do gongocomposto – substrato orgânico gerado pela atividade de gongolos (diplópodes) – o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho agrônomo da alface crespa cultivar Vera utilizando mudas oriundas deste substrato, a fim de observar a resposta vegetal a diferentes doses de adubação nitrogenada via farelo de mamona, sob sistema de produção orgânico no município de Seropédica-RJ. As mudas de alface crespa do cultivar Vera foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 200 células preenchidas com os seguintes substratos: gongocomposto produzido em 180 dias e substrato orgânico da marca Biomix®. Aos 25 dias após a semeadura, retirou-se ao acaso dez mudas de alface de cada bandeja, totalizando quatro amostras representativas dos dois substratos, cada qual com quatro repetições. As avaliações compreenderam os seguintes parâmetros: massas frescas e secas de parte aérea e de raízes, número de folhas verdadeiras e altura das plantas. Para a determinação da massa seca, a parte aérea e as raízes serão acondicionadas separadamente em sacos de papel e mantidas em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C por 72 horas. Na fase de campo, foi realizada uma adubação orgânica nitrogenada com diferentes doses de N quatro dias antes do transplante das mudas via farelo de mamona, de 0, 50, 100 e 200 kg de N ha⁻¹. Duas plantas foram amostradas por parcela a cada sete dias, entre 7 e 42 dias após o transplante (DAT). As plantas foram removidas com o sistema radicular por pá e enviadas ao laboratório. O sistema radicular foi lavado, a área foliar foi determinada por um medidor fotoelétrico (Li-Cor, LI-3100) e os brotos e raízes foram secos em estufa a 65 °C por 72 h e pesados posteriormente. Foram avaliados os índices fisiológicos da análise de crescimento, determinando-se as taxas de crescimento absoluto (TCA), a taxa de crescimento relativo (TCR) e a taxa de assimilação líquida (TAL). Foram determinados também os índices de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), a razão de área foliar (RAF) e o acúmulo de macronutrientes totais (N, P, K Ca e Mg) na parte aérea das plantas coletadas aos 42 dias após o transplante. A produtividade comercial foi estimada com o índice de área útil do hectare cultivado (76%), com densidade de 152.000 plantas ha⁻¹. As plantas de alface oriundas de mudas desenvolvidas no gongocomposto se desenvolveram melhor em todas as doses de adubação nitrogenada, quando comparadas às plantas oriundas do substrato comercial. O gongocomposto apresenta eficiência na produção de mudas de alface com qualidade para o transplante aos canteiros de produção. A campo as mudas são mais responsivas à medida em que se elevam as doses da adubação nitrogenada, apresentando características fitotécnicas, índices fisiológicos e acúmulo de nutrientes superiores em relação às plantas originárias de um substrato comercial.

Palavras chave: *Lactuca sativa* L. Análise de crescimento vegetal. Agricultura orgânica. Adubação orgânica. Horticultura.

3.2 ABSTRACT

Plant development is influenced from germination and the substrate is one of the components that influence the attainment of healthy and well-developed seedlings to be transplanted in production fields. Given the good results already achieved in the production of vegetable and ornamental seedlings from the use of millicompost - organic substrate generated by the activity of millipedes (diplopods) - this study aimed to evaluate the agronomic performance of crisp lettuce cultivar Vera using seedlings from this substrate, in order to observe the plant response to different doses of nitrogen fertilization via castor bean meal, under organic production system in the municipality of Seropédica-RJ. Curly lettuce seedlings of the cultivar Vera were produced in expanded polystyrene trays with 200 cells filled with the following substrates: gong-compost produced in 180 days and organic substrate of the Biomix[®] brand. At 25 days after sowing, ten lettuce seedlings were randomly removed from each tray, totaling four representative samples of the two substrates, each with four replications. The evaluations comprised the following parameters: fresh and dry mass of shoots and roots, number of true leaves and plant height. For the determination of dry mass, the aerial part and the roots will be placed separately in paper bags and kept in an oven with forced air circulation, at 65 °C for 72 hours. In the field phase, an organic nitrogen fertilization was carried out with different doses of N four days before transplanting the seedlings via castor bean meal, of 0, 50, 100 and 200 kg of N ha⁻¹. Two plants were sampled per plot every seven days, between 7 and 42 days after transplanting (DAT). The plants were removed with the root system by shovel and sent to the laboratory. The root system was washed, the leaf area was determined by a photoelectric meter (Li-Cor, LI-3100) and the shoots and roots were dried in an oven at 65 °C for 72 h and weighed later. The physiological indices of the growth analysis were evaluated, determining the absolute growth rates, the relative growth rate and the net assimilation rate. Leaf area indices, specific leaf area, leaf area ratio and accumulation of total macronutrients (N, P, K Ca and Mg) in the aerial part of plants collected at 42 days after transplant. Commercial productivity was estimated using the useful area index of the cultivated hectare (76%), with a density of 152,000 plants ha⁻¹. Lettuce plants from seedlings grown in the millicompost developed better at all levels of nitrogen fertilization, when compared to plants from commercial substrate. The compound gong is efficient in the production of quality lettuce seedlings for transplanting to production beds. In the field, the seedlings are more responsive as the doses of nitrogen fertilization increase, presenting phytotechnical characteristics, physiological indexes and nutrient accumulation higher than those of plants originating from a commercial substrate.

Keywords: *Lactuca sativa* L. Plant growth analysis. Organic agriculture. Organic fertilization. Horticulture.

3.3 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil (IBGE, 2017). A espécie engloba diversas variedades e seus tipos são crespa, lisa, americana, mimosa e romana, das quais a preferência é pela alface do tipo crespa (SANTOS, 2015). O último Censo Agropecuário revelou que a produção brasileira de alface no período de referência 2016-2017 foi de 908.186 toneladas. A região Sudeste deteve 65,19% de toda a produção nacional, seguida pelas produções das regiões: Sul com 12,87%, Centro-Oeste com 10,95%, Nordeste com 8,21% e Norte com 2,77% (IBGE, 2017).

A fase de produção de mudas representa 60% do sucesso de uma cultura nos campos de produção (BORCIONI; MÓGOR; PINTO, 2016) e para tal torna-se indispensável a utilização de substratos cujas propriedades físicas, físico-químicas, químicas e biológicas sejam capazes de garantir o fornecimento de água, ar, nutrientes e sustentação durante o desenvolvimento inicial das mudas de hortaliças.

Em sistemas orgânicos de produção a utilização de substratos comerciais é restrita, em função da presença de componentes antiecológicos e de adubos químicos de alta solubilidade (SANTOS *et al.*, 2010). Destaca-se também a necessidade de seu registro para uso na agricultura orgânica por entidades certificadoras (SEDIYAMA; SANTOS; LIMA, 2014). Ademais, devem-se considerar os custos gerados na aquisição destes substratos pelos produtores, que normalmente são de pequeno porte e que utilizam mão de obra familiar (ZIECH *et al.*, 2014).

Sediyama, Santos e Lima (2014) recomendam a utilização de materiais existentes na propriedade ou na região, de reconhecida qualidade e adequação à produção orgânica como medidas alternativas na redução dos custos, além de facilitar a produção dos substratos. Neste contexto, o gongocomposto surge como uma alternativa de substrato orgânico, oriundo da transformação de resíduos agrícolas e urbanos por meio da gongocompostagem – biotecnologia que consiste na utilização de diplópodes, cujos nomes populares variam de acordo com cada região do país: gongolos, piolhos-de-cobra, grangugis ou maria-café.

Os diplópodes em geral exercem um papel crucial na fragmentação e decomposição da serapilheira, potencializando a ciclagem de nutrientes no solo, sendo, provavelmente, os maiores artrópodes que ocorrem no sistema serapilheira-solo (ALAGESAN, 2016). Os diplópodes utilizados no processamento dos resíduos para obtenção do gongocomposto são pertencentes à espécie *Trigoniulus corallinus*, cujos indivíduos medem cerca de cinco centímetros de comprimento, possuem coloração avermelhada e são capazes de consumir materiais com elevada relação C/N e pobres em nutrientes, como observado no papelão, que contém 0,1% de nitrogênio e sua relação C/N é de 291 (ANTUNES *et al.*, 2019a). Além disso, estes organismos excretam amônia e ácido úrico, importantes fontes de nitratos para o solo, estimulando o metabolismo microbiano, essencial na ciclagem de nutrientes (SOUZA *et al.*, 2014).

A adubação orgânica oriunda de esterco de animais e outras fontes orgânicas, de diferentes origens, tem sido utilizada no cultivo de hortaliças em muitas propriedades agrícolas (ZIECH *et al.*, 2014), o que diminui também os *inputs* no sistema agrícola, gerando economia para o produtor e diminuição dos riscos ambientais por lixiviação de nutrientes oriundos da fertilização química (ANTUNES *et al.*, 2018a).

O termo análise de crescimento de plantas refere-se a um conjunto útil de métodos quantitativos que descrevem e interpretam o padrão de crescimento da planta ou de partes dela, baseando-se na produção fotossintética ao longo do desenvolvimento ontogenético da cultura, permitindo conhecer o acúmulo de matéria orgânica das plantas, bem como sua distribuição e

eficiência em diferentes ambientes e condições ambientais (ZUFFO *et al.*, 2016; HUNT, 2016). A análise do crescimento das plantas fornece uma abordagem explicativa, holística e integradora para interpretar a forma e a função das plantas. Ele usa dados primários simples, como pesos, áreas, volumes e conteúdo de plantas ou componentes de plantas para investigar processos dentro e envolvendo toda a planta ou culturas.

Neste contexto, diante dos bons resultados já obtidos na produção de mudas olerícolas e ornamentais a partir do uso do gongocomposto (ANTUNES *et al.*, 2016a; ANTUNES; AZEVEDO; CORREIA, 2019a), o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho agrônômico da alface crespa cultivar Vera utilizando mudas oriundas deste substrato, a fim de observar a resposta vegetal à adubação nitrogenada de fundação via farelo de mamona, em diferentes doses sob sistema de produção orgânico no município de Seropédica-RJ.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Produção das mudas de alface crespa

O experimento foi desenvolvido na sede da Embrapa Agrobiologia, localizada em Seropédica, RJ, no período de 23 de julho a 17 de agosto de 2018. As mudas de alface crespa do cultivar Vera foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 200 células preenchidas com os seguintes substratos: gongocomposto produzido em 180 dias, conforme descrito por Antunes (2017) e substrato comercial da marca Biomix[®], certificado para o sistema de produção orgânico. As propriedades físico-químicas, químicas e físicas dos substratos estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de pH, condutividade elétrica (CE), relação C/N, macronutrientes totais, percentual de macroporos, percentual de microporos, percentual de porosidade total, capacidade de retenção de água à tensão de 10 cm (CRA10 cm) e densidade volumétrica dos substratos utilizados na produção de mudas de alface crespa cultivar Vera.

Propriedades	Substratos	
	Biomix [®]	Gongocomposto
Físico-químicas		
pH	6,69	7,34
CE (dS m ⁻¹)	0,49	0,69
Químicas		
C (g kg ⁻¹)	325,04	354,34
N (g kg ⁻¹)	7,76	23,25
P (g kg ⁻¹)	1,53	2,96
K (g kg ⁻¹)	2,32	4,78
Ca (g kg ⁻¹)	9,03	31,69
Mg (g kg ⁻¹)	2,73	4,48
Relação C/N	41,93	15,24
Físicas		
Macroporos (%)	12,77	31,24
Microporos (%)	62,07	60,45
Porosidade total (%)	74,85	91,70
CRA _{10 cm} (mL 50 cm ⁻³)	31,04	30,23
Densidade volumétrica (kg cm ⁻³)	450	200

Fonte: Antunes, Azevedo e Correia (2019).

Aos 25 dias após a semeadura, retirou-se ao acaso dez mudas de alface de cada bandeja, totalizando quatro amostras representativas dos dois substratos, cada qual com quatro repetições. As avaliações compreenderam os seguintes parâmetros: massas frescas e secas de parte aérea e de raízes, número de folhas verdadeiras e altura das plantas, que compreende o ponto de inserção da raiz até o ápice foliar. Para a determinação da massa seca, a parte aérea e as raízes serão acondicionadas separadamente em sacos de papel e mantidas em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C por 72 horas.

O vigor das mudas (VM) é uma metodologia adaptada de Antunes *et al.* (2018), classificando como: Nota 1: ótimo vigor, número de folhas ≥ 4 , altura maior que 5 cm e ausência

visual de deficiência nutricional; Nota 2: vigor bom, número de folhas ≥ 4 , altura ≥ 5 cm e início de amarelado não proeminente nas folhas basais; Nota 3: vigor regular, número de folhas ≥ 4 , altura ≥ 5 cm; deficiência nutricional expressa por um amarelecimento proeminente que se estende para além das folhas basais ou outro sintoma intrínseco; Nota 4: vigor ruim, deficiência nutricional bem destacada, expressa por problemas na altura (≤ 5 cm), número de folhas reduzido (≤ 4 folhas) e amarelecimento intenso ou outro sintoma intrínseco.

A estabilidade do torrão (ET) é uma metodologia adaptada de Antunes *et al.* (2018), classificando como: Nota 1: estabilidade ruim, 50% ou mais do torrão fica retido no recipiente na retirada da muda e o torrão não permanece coeso; Nota 2: estabilidade baixa, 30 a 50% do torrão fica retido no recipiente na retirada da muda e o torrão não permanece coeso; Nota 3: estabilidade regular, entre 15 a 30% do torrão fica retido no recipiente na retirada da muda e o torrão não permanece coeso; Nota 4: boa estabilidade, o torrão é destacado completamente do recipiente com até 90% de coesão e perda máxima de até 10% do substrato; Nota 5: ótima estabilidade, o torrão é destacado completamente do recipiente e mais de 90% dele permanece coeso, com perdas inferiores a 10% de substrato.

3.4.2 Condições experimentais

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA – “Fazendinha Agroecológica Km 47”), localizado em Seropédica, RJ, no período de 17 de agosto a 28 de setembro de 2018. A altitude do local é de 33,0 m e o clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com chuvas concentradas entre novembro e março, temperatura média anual de 23,9 °C e precipitação anual média de 1.213 mm (JÚNIOR *et al.*, 2014).

Os dados climáticos (Figura 1) foram coletados na estação meteorológica Ecologia Agrícola, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Seropédica -RJ e seguem abaixo os valores médios calculados para o período de execução do experimento de campo. Os valores médios de precipitação acumulados nos meses de maio a setembro variaram de 0,04 a 0,09 mm, sendo que no mês de julho não foram registradas precipitações.

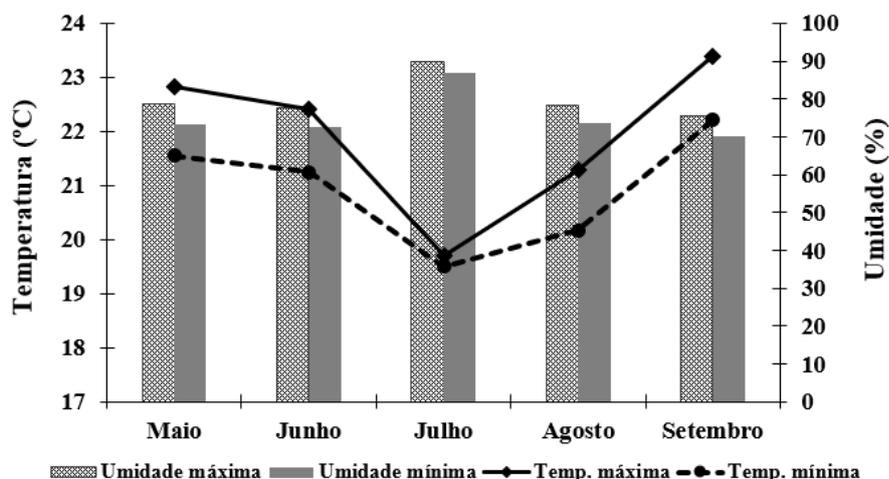


Figura 1. Valores médios das umidades relativas máximas e mínimas do ar e temperaturas máximas e mínimas do ar, nos meses de maio a setembro de 2018, no município de Seropédica-RJ.

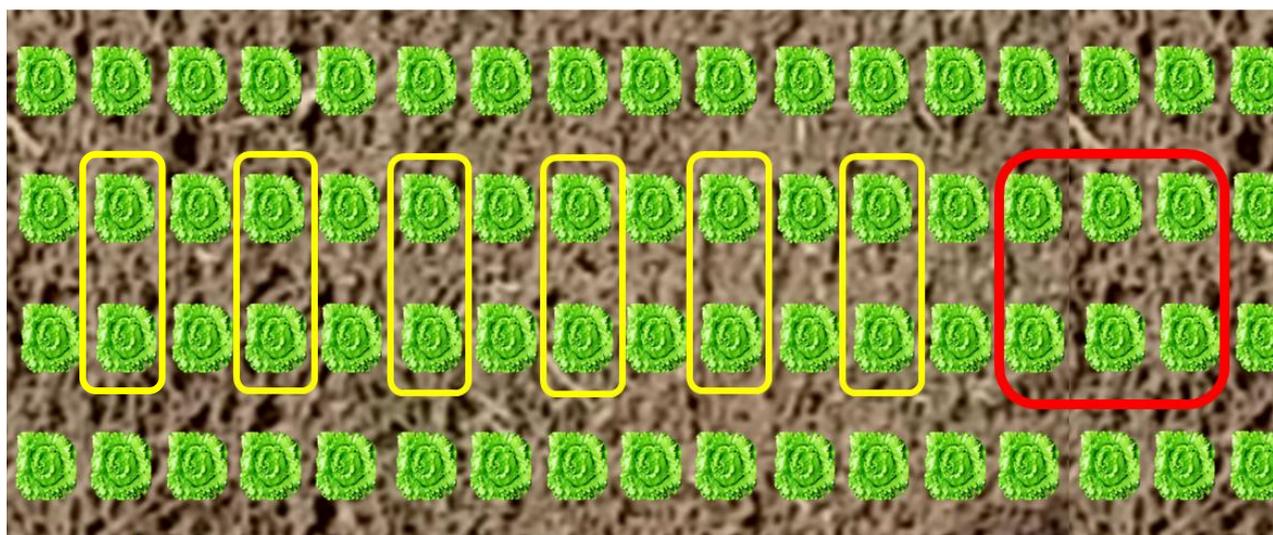
A área experimental apresenta um solo Argissolo Vermelho Amarelo, de baixa fertilidade natural (NEVES *et al.*, 2005). O resultado da análise química na profundidade de 0 - 20 cm, de acordo com a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017), foram as seguintes: matéria orgânica = 7,00 g kg⁻¹; pH= 6,72; N_{total}= 1,0 g kg⁻¹; P disponível = 161 mg dm⁻³; K⁺ = 143 mg dm⁻³; Ca⁺² = 3,56 cmol_c dm⁻³; Mg⁺² = 0,90 cmol_c dm⁻³; Al⁺³= 0,0 cmol_c dm⁻³; H + Al = 1,53 cmol_c dm⁻³.

O solo foi preparado com uma aração e duas gradagens de nivelamento e, em seguida, com auxílio de uma encateiradora acoplada ao trator, foram levantados os canteiros com 0,20 m de altura e 1 m de largura, com espaçamento entre canteiros de 0,30 m. Foi realizada uma adubação orgânica nitrogenada com diferentes doses de N quatro dias antes do transplante via farelo de mamona, de 0, 50, 100 e 200 kg de N ha⁻¹. O farelo de mamona apresentou os seguintes teores de nutrientes totais: N = 58,60 g kg⁻¹; P = 6,39 g kg⁻¹; K = 72,09 g kg⁻¹; Ca= 17,81 g kg⁻¹ e Mg = 3,71 g kg⁻¹, de acordo com a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017).

O transplante das mudas foi realizado no dia 17 de agosto, em espaçamento de 20 x 30 cm, aos 25 dias após semeadura. Cada parcela experimental foi composta por 96 plantas, perfazendo uma área de 4,80 m², compreendendo quatro linhas de plantio e 24 plantas por linha (Figura 2).

A irrigação foi feita por meio de fitas gotejadoras, com gotejadores espaçados a 0,20 metros entre si, com vazão comercial de 1,8 L h⁻¹. O sistema foi montado em fileiras simples, constituído por uma linha de derivação de PVC de 50 mm e quatro linhas laterais com as fitas gotejadoras por canteiro. A fim de manter as condições adequadas de pressão na linha visando melhor uniformidade, as irrigações foram feitas simultaneamente em cada canteiro. O monitoramento da necessidade hídrica da cultura foi realizado através da determinação da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 (PMF) (ALLEN *et al.*, 1998), corrigida pelos coeficientes da cultura. Os dados meteorológicos foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir da estação denominada Ecologia Agrícola (RJ).

A colheita final ocorreu no dia 28 de setembro, aos 42 dias após o transplante. A parcela útil constou de seis plantas retiradas das duas fileiras centrais (Figura 4), através do corte das plantas rentes ao nível do solo. Foram avaliados os seguintes parâmetros: massa fresca comercial (g), diâmetro e altura da planta (cm), número de folhas (≥ 5 cm) e produtividade estimada (Mg ha⁻¹).



**Plantas úteis para
coletas semanais**



**Plantas úteis para estimar a
produtividade**

Figura 2. Croqui de uma unidade experimental de 3,40 m² contendo 68 plantas (17 plantas por linha), com espaçamento de 20 x 30 cm. As cores indicam a finalidade de cada planta, sendo que as áreas úteis foram as plantas das duas fileiras centrais coletadas semanalmente para análise de crescimento vegetal e as restantes destinada à estimativa da produtividade da cultura da alface crespa cultivar Vera.

3.4.3 Avaliações do desenvolvimento e produção da alface

Duas plantas foram amostradas por parcela a cada sete dias, entre 7 e 42 dias após o transplante (DAT). As plantas foram removidas com o sistema radicular por pá e enviadas ao laboratório. O sistema radicular foi lavado, a área foliar foi determinada por um medidor fotoelétrico (Li-Cor, LI-3100), e os brotos e raízes foram secos em estufa a 65 °C por 72 h e pesados. A colheita final da alface ocorreu aos 42 DAT, quando seis plantas foram removidas das duas fileiras centrais de cada parcela, cortando-as ao nível do solo. Foram avaliados o peso fresco comercial, o diâmetro e a altura da planta e o número de folhas acima de 5 cm. A produtividade comercial foi estimada com o índice de área útil do hectare cultivado (76%), com densidade de 152.000 plantas ha⁻¹ (ANTUNES *et al.*, 2018).

Amostras secas de brotos coletados em 42 DAT foram trituradas. As concentrações de N, P, K Ca e Mg foram determinadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017). A quantidade de nutrientes acumulados foi obtida pelo produto entre a concentração de nutrientes e a massa seca da parte aérea.

3.3.4 Análise estatística

Os dados de massa seca total e área foliar por planta foram ajustados por regressão linear para o modelo polinomial exponencial de segundo grau, com as datas de amostragem como variável independente. Os valores de R² foram superiores a 0,84 na biomassa e 0,86 na área foliar. Pela diferenciação dos modelos ajustados, foram estimadas a taxa de crescimento absoluta (TCA) e a taxa de assimilação líquida (TAL). A área foliar específica (AFE) foi estimada como a razão entre a área foliar e a massa foliar.

Os dados de biomassa vegetal e área foliar foram testados quanto à homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett e normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk com o software SISVAR (FERREIRA, 2014) e os dados foram transformados em logaritmo natural para homogeneizar a variância entre as colheitas (ARAÚJO, 2003). A análise de variância foi conduzida como fatorial triplo entre substrato, níveis de N e colheitas. Os dados de produção final de alface e acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise de variância considerando um fatorial duplo entre os níveis de substrato e N. As análises de regressão foram realizadas considerando os níveis de N como variável independente com o software SISVAR (FERREIRA, 2014).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Produção das mudas de alface crespa

Os parâmetros fitotécnicos avaliados nas mudas de alface produzidas nos diferentes substratos orgânicos estão contidos na Tabela 2. Os valores médios de massa seca de parte aérea (MSPA) e vigor de mudas (VM) foram iguais para ambos os substratos. Entretanto, as mudas obtidas a partir do substrato gongocomposto apresentaram médias para massa seca de raízes (MSR), altura de plantas (AP), número de folhas (NF) e estabilidade do torrão (ET) superiores às mudas obtidas com o uso do substrato comercial.

Tabela 2. Valores médios da massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), altura de plantas (AP), número de folhas (NF), vigor de muda (VM) e estabilidade do torrão (ET) das mudas de alface crespa cultivar Vera produzidas em substratos orgânicos aos 25 dias após a semeadura.

Substratos	MSPA	MSR	AP	NF	VM	ET
	g planta ⁻¹		(cm)	(unidade)		
Biomix	0,08	0,01 b	10,81 b	6,00 b	1	3,50 b
Gongocomposto	0,08	0,02 a	11,62 a	6,37 a	1	4,97 a
CV (%)	22,64	37,59	9,18	6,17	0	16,25

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de F ($p < 0,05$).

3.5.2 Crescimento da alface

A massa seca total e a área foliar das plantas de alface (Figuras 3 e 4) foram semelhantes em todos os tratamentos entre 7 e 21 dias após o transplante (DAT). Aos 42 DAT, no nível de 0 kg N ha⁻¹ de torta de mamona, as plantas de alface originárias do gongocomposto acumularam mais biomassa do que as do substrato comercial, enquanto nos demais níveis de N os substratos não diferiram (Figura 3). Aos 42 DAT, nos níveis de 50 e 200 kg N ha⁻¹, as plantas com o gongocomposto apresentaram maior área foliar do que com o substrato comercial (Figura 4).

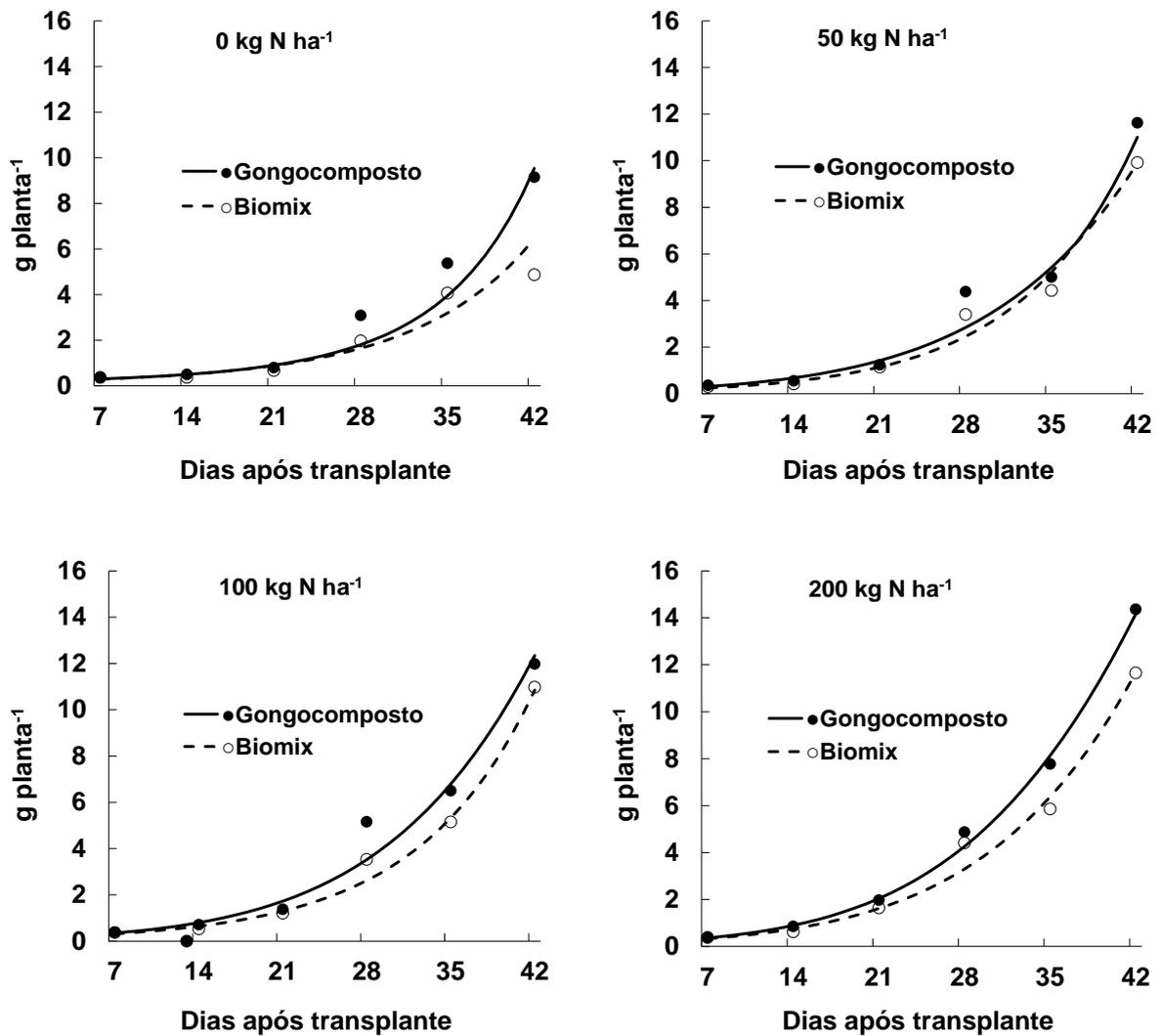


Figura 3. Massa seca total de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). Os pontos representam as médias experimentais e a linha o modelo polinomial exponencial de segundo grau ajustado aos dados.

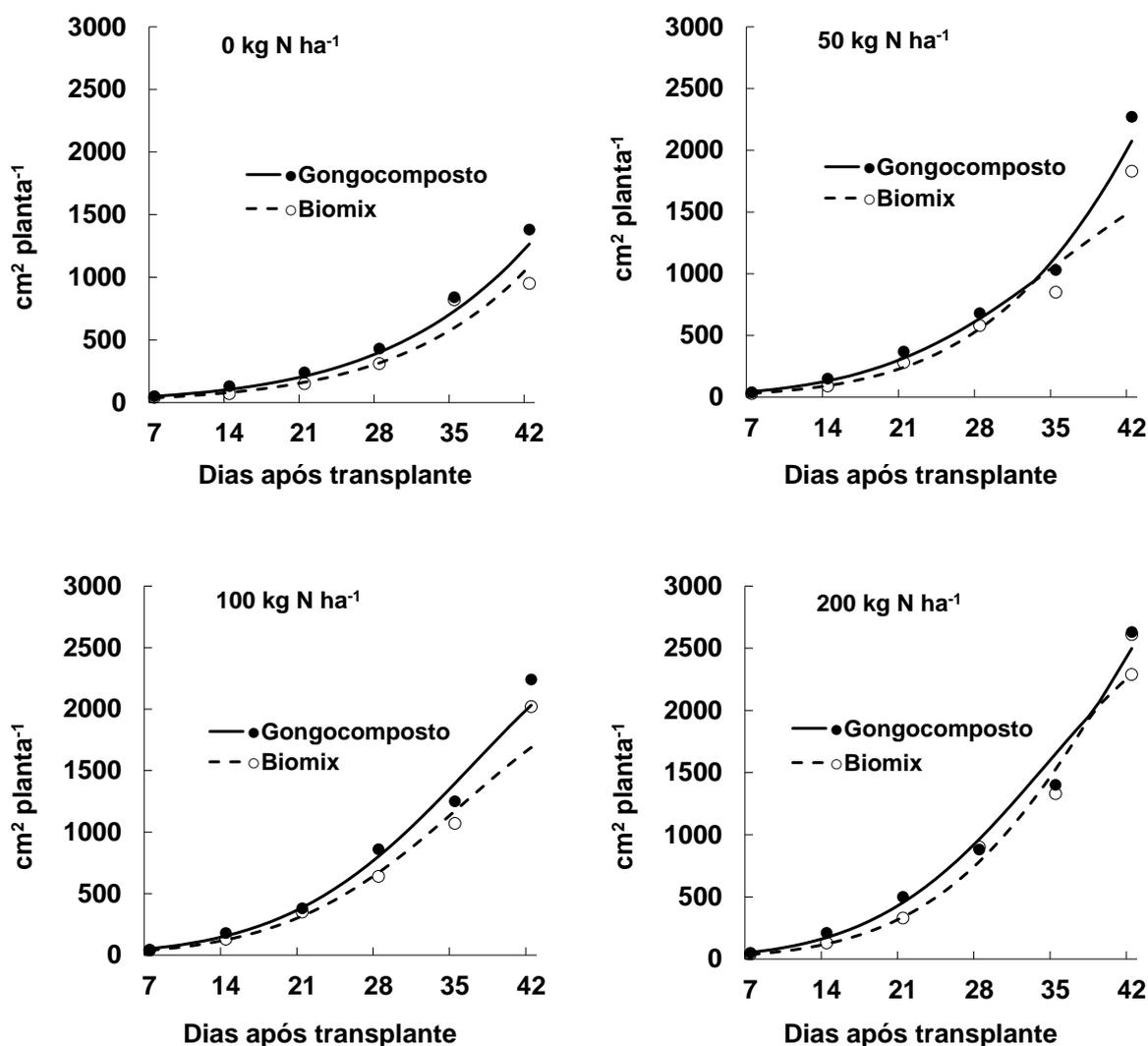


Figura 4. Área foliar de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ). Os pontos representam as médias experimentais e a linha o modelo polinomial exponencial de segundo grau ajustado aos dados.

A taxa de crescimento absoluta (TCA) das plantas de alface permaneceu baixa até 21 DAT, e posteriormente o crescimento acelerou (Figura 5). Com 0 e 50 kg N ha⁻¹, plantas com gongocomposto apresentaram TCA mais alta do que aquelas com substrato comercial entre 35 e 42 DAT (Figura 5). A taxa de assimilação líquida (TAL) declinou entre 7 e 28 DAT, mas aumentou após 28 DAT, exceto em 200 kg N ha⁻¹ (Figura 6). Plantas com 0 kg N ha⁻¹ apresentaram menores valores iniciais de TAL do que em outros níveis de N. Com 0 kg de N ha⁻¹, plantas originárias do gongocomposto apresentaram TAL menor do que as plantas cujas mudas foram desenvolvidas no substrato comercial, mas apresentaram intenso aumento de TAL superando as plantas do substrato comercial após 28 DAT (Figura 6).

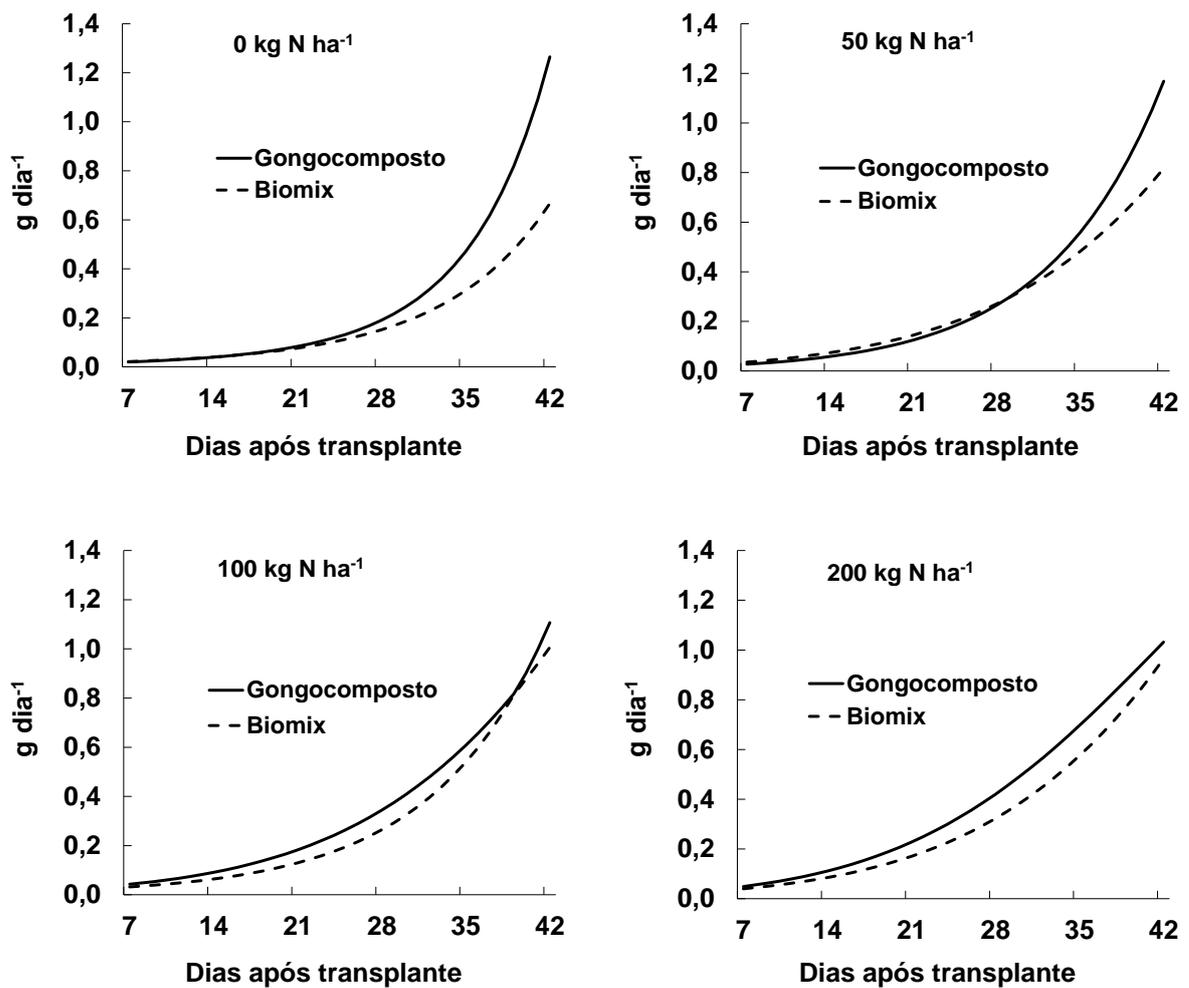


Figura 5. Taxa de crescimento absoluta de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ).

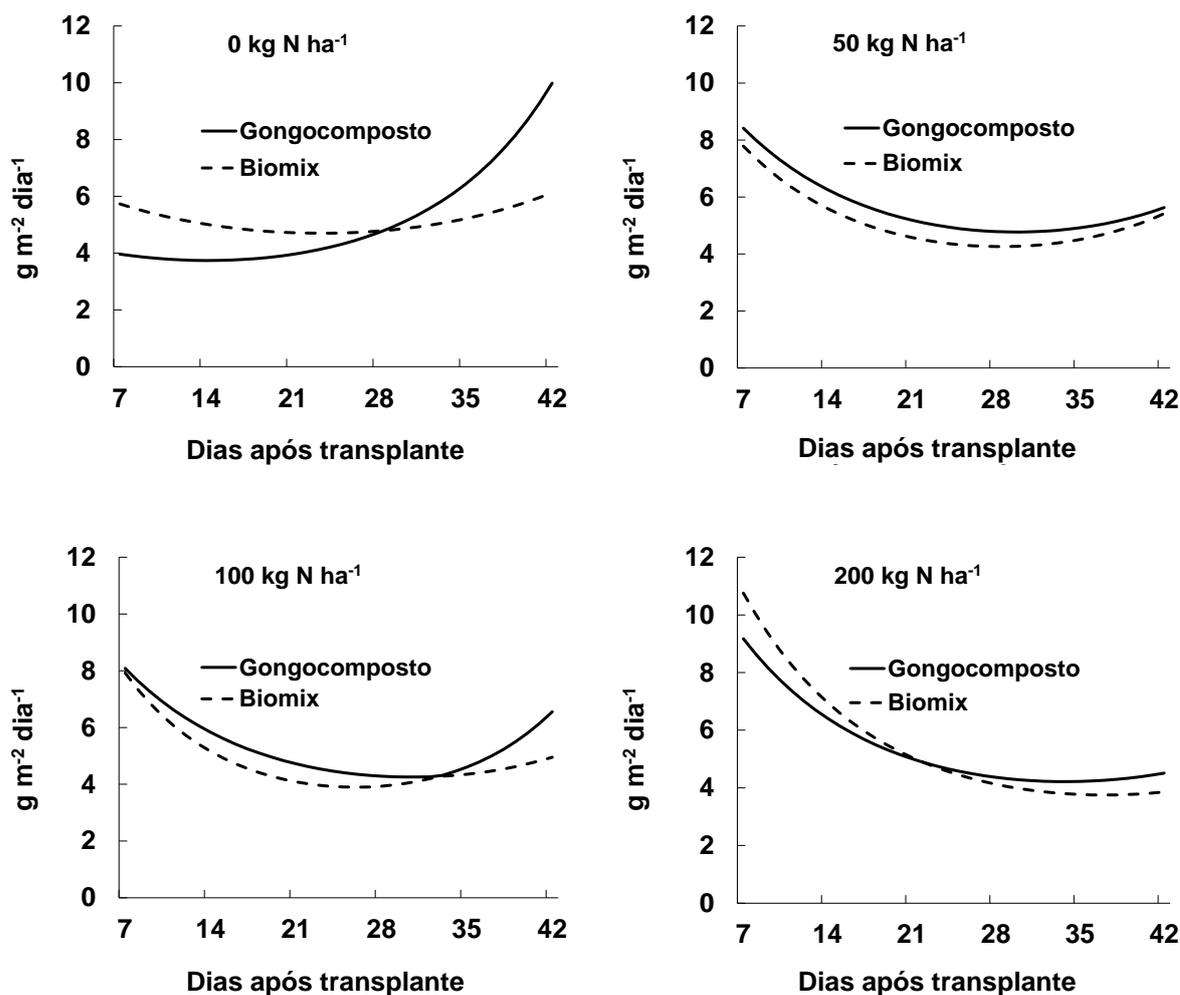


Figura 6. Taxa de assimilação líquida de plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ).

Plantas originárias de mudas com o gongocomposto apresentaram maior área foliar específica do que plantas com substrato comercial, a 0 kg N ha⁻¹ aos 14, 21 e 42 DAT e a 50 kg N ha⁻¹ aos 35 DAT (Tabela 3). Aos 14 e 21 e 42 DAT, as plantas provenientes do gongocomposto apresentaram maior área foliar específica no nível mais baixo de N, enquanto que nas 28 e 35 DAT as plantas com substrato comercial apresentaram menor área foliar específica no nível mais baixo de N (Tabela 3).

Tabela 3. Área foliar específica de plantas de alface originárias de mudas produzidas em dois substratos (gongocomposto e Biomix) tratadas com diferentes doses de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ).

Dias após transplante	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)			
	0 kg N ha ⁻¹	50 kg N ha ⁻¹	100 kg N ha ⁻¹	200 kg N ha ⁻¹
Gongocomposto				
7	211	187	184	196
14	406* a	333 b	327 b	309 b
21	408* a	336 b	354 b	285 b
28	186	198	210	238
35	207	270*	244	264
42	262*	244	221	258
Biomix				
7	184	175	172	150
14	276	286	324	277
21	282 b	279 b	310 a	232 b
28	157	177	193	197
35	181 b	193 a	218 a	208 a
42	174	211	209	206
CV (%) = 22,17				

Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem por Scott-Knott no nível de 5%.

*Diferença significativa entre substratos no mesmo nível de fertilizante e data pelo teste F ao nível de 5%.

3.5.3 Produção de alface

As características avaliadas na colheita de alface aos 42 DAT mostraram uma resposta linear ao aumento dos níveis de N aplicados à cultura (Figura 7). A massa fresca comercial variou de 119 a 212 g por cabeça para plantas com substrato comercial e de 120 a 363 g para plantas com o gongocomposto. Plantas cujas mudas foram desenvolvidas no gongocomposto apresentaram peso fresco comercial 34, 25 e 71% maior, respectivamente, nos níveis 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹, do que nas plantas cuja origem das mudas foi o substrato comercial. A altura e o diâmetro das alfaces foram maiores com o gongocomposto, mas apenas com 200 kg N ha⁻¹. Plantas com o gongocomposto tiveram maior número de folhas do que plantas com substrato comercial a 50 e 200 kg N ha⁻¹ (Figura 7). Convertendo a massa fresca comercial por alface por área terrestre, as plantas originárias de mudas com substrato comercial apresentaram rendimentos que variaram de 18,1 a 32,2 Mg ha⁻¹, enquanto as plantas do gongocomposto de 18,2 a 55,2 Mg ha⁻¹, nos níveis de 0 e 200 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

A quantidade de macronutrientes acumulados nas folhas das alfaces aos 42 DAT aumentou linearmente à medida que os níveis de N aplicados aumentaram (Figura 8). A quantidade de nutrientes seguiu a ordem K > N > Ca > P > Mg. O acúmulo de nutrientes foi maior nas plantas de alface de mudas produzidas com o gongocomposto, principalmente nos níveis mais baixos de N aplicado. A 200 kg N ha⁻¹, apenas o acúmulo de P e Ca foi maior nas plantas com gongocomposto, em comparação às plantas de origem no substrato comercial (Figura 8).

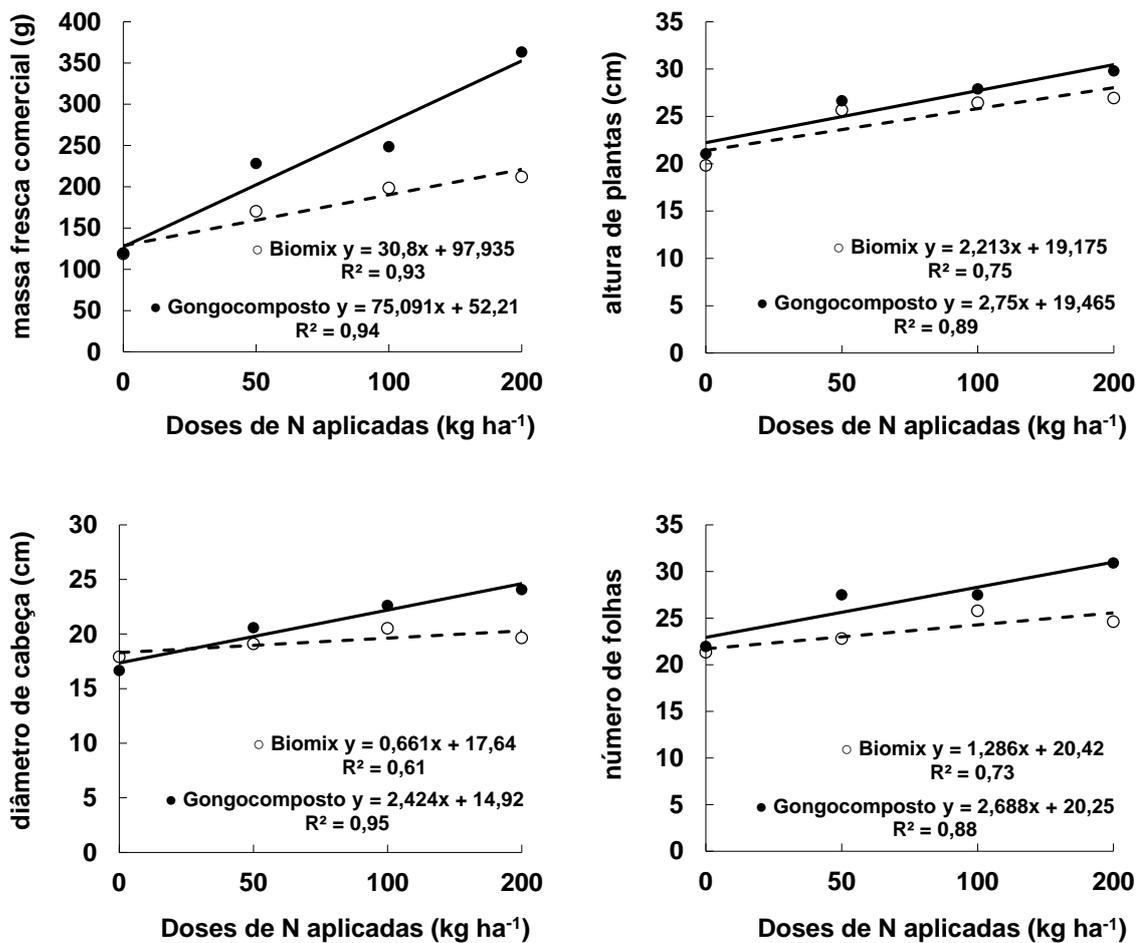


Figura 7. Massa fresca comercial por planta, altura da planta, diâmetro da cabeça da planta e número de folhas por planta de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ).

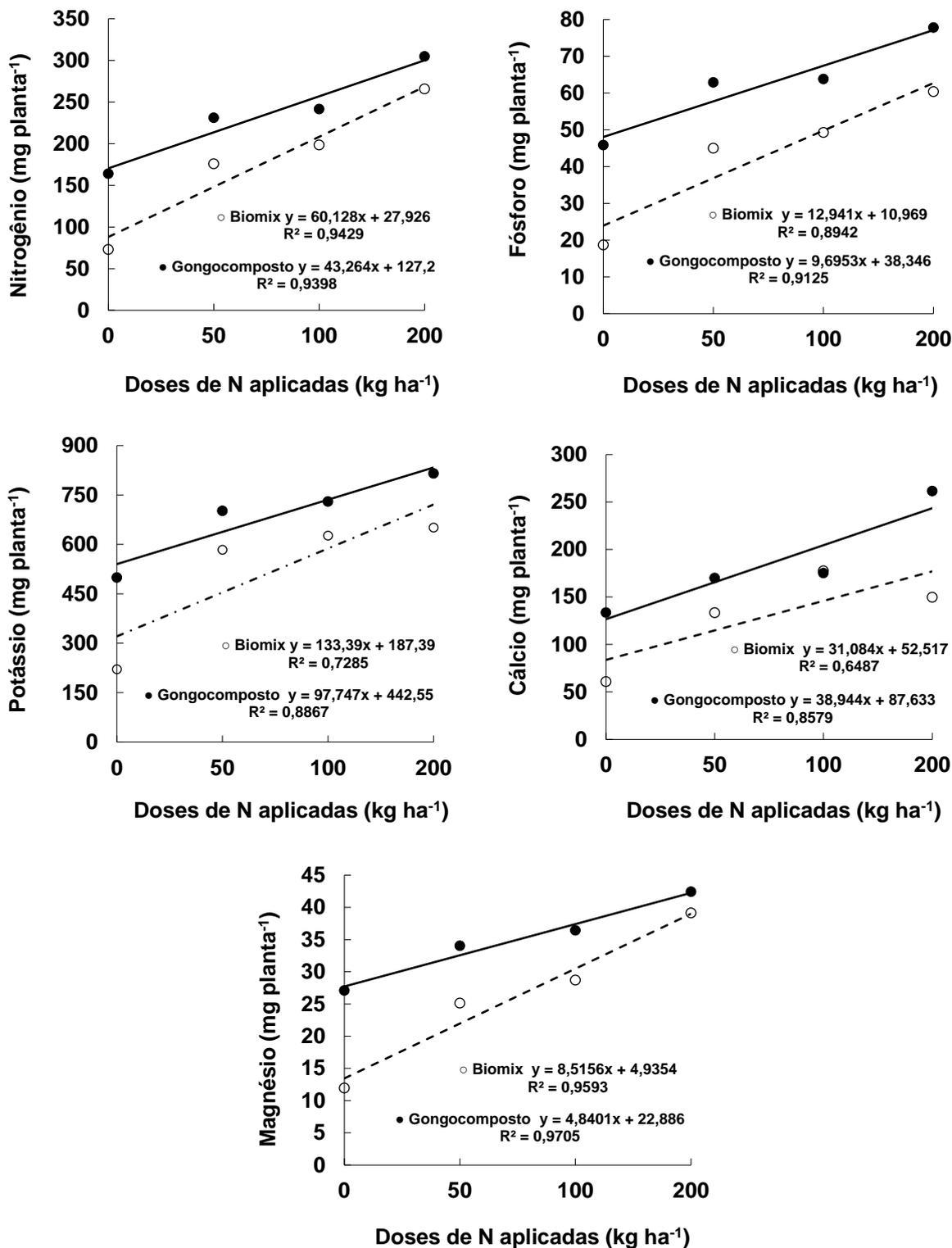


Figura 8. Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das plantas de alface originárias de mudas produzidas com dois substratos diferentes (gongocomposto e Biomix), em diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg N ha⁻¹) com torta de mamona, em Seropédica (RJ).

A fase de produção de mudas é muito importante para o desempenho da cultura de alface, pois as mudas com baixa qualidade demoram mais a se estabelecer no campo, comprometendo o crescimento das plantas. O gongocomposto proporcionou às mudas de alface melhor qualidade do que as oriundas do substrato comercial (Tabela 2), o que pode ter influenciado o desempenho subsequente das alfaces no campo. O gongocomposto apresentou maiores concentrações de nutrientes do que o substrato comercial e também melhores propriedades físicas (Tabelas 1 e 2). A estabilidade do torrão do substrato das mudas é uma característica que tem impacto na taxa de sobrevivência das mudas após seu transplante nos canteiros de produção (PEREIRA *et al.*, 2020). As mudas de alface do gongocomposto apresentaram estabilidade do torrão excelente, enquanto o torrão removido do substrato comercial perdeu até 30% do substrato e não permaneceu coeso (Tabela 2). Valores de densidade volumétrica entre 100 e 300 kg m⁻³ e porosidade superior a 85% são considerados como referência para substratos utilizados em bandejas (FERMINO, 2014). O gongocomposto atendeu a esses parâmetros de referência, enquanto o substrato comercial apresentou uma maior densidade volumétrica (Tabela 1), talvez devido à casca de pinus que apresenta maior densidade, um dos componentes da formulação. Antunes *et al.* (2016) também concluíram que o gongocomposto era um substrato eficiente para a produção de mudas de alface. Ramanathan e Alagesan (2012) obtiveram melhor crescimento e produção de pimenta em vasos com gongocomposto do que com vermicomposto. Antunes *et al.* (2019) também encontraram qualidade superior de mudas ornamentais de girassol usando o gongocomposto como substrato.

Em decorrência do transplante e adaptação das mudas aos canteiros de produção, o desenvolvimento inicial da alface se manteve lento, mantendo as suas taxas de crescimento absolutas baixas até os 21 dias após o transplante. Reis *et al.* (2013) relatam que tal fato ocorre em virtude, possivelmente, das plantas consumirem grande parte da energia para sua fixação no solo, já que nesta fase as raízes são os drenos preferenciais dos fotoassimilados. Após este período de adaptação, as plantas de alface de ambos os substratos de origem começaram a diferenciar suas taxas de crescimento absoluta com ganhos em todas as doses de adubação recebidas, embora as diferenças tenham se destacado nas plantas do gongocomposto em todas as variáveis de crescimento aos 42 dias após o transplante. Nas doses de 0 e 50 kg de N ha⁻¹ foi possível notar nestas alfaces maiores ganhos de biomassa total, área foliar e taxas de crescimento absoluta. Ainda sobre as alfaces do gongocomposto, destaca-se a taxa de assimilação líquida na dose de 0 kg de N ha⁻¹, que além de crescente após os 28 dias de transplante, representou aos 42 dias - ocasião da colheita, eficiência fotossintética 63% maior em relação as plantas originárias do substrato comercial.

As taxas de crescimento dos vegetais variam de acordo com as peculiaridades de cada espécie e sua época de avaliação. De acordo com Franco *et al.* (2018), o ciclo total da alface varia em torno de 120 a 170 dias visando a produção de sementes. Ademais, é uma cultura que sofre interferência da temperatura, a qual pode estimular o pendoamento em temperaturas acima de 20 °C, mas isso é variável entre as cultivares. Conforme descrito por Sakata (2020), o ciclo médio total da alface crespa Vera é 60 dias até a colheita. Neste trabalho o ciclo da alface compreendeu o total de 67 dias (25 na fase de muda + 42 dias de desenvolvimento a campo), cujas plantas foram colhidas em pleno desenvolvimento vegetativo sem expressarem modificação de sua arquitetura, com alongamento do caule e redução no número de folhas, antecipando seu ciclo reprodutivo (AQUINO *et al.*, 2014). Por isso as taxas de crescimento das alfaces foram crescentes independente das doses de adubação.

As alfaces provenientes de ambos os substratos responderam positivamente à adubação nitrogenada. Percebe-se que embora tenham sido pequenas as diferenças fitotécnicas na fase de mudas, as alfaces colhidas aos 42 dias após seu transplantio apresentaram características fitotécnicas, índices fisiológicos e conteúdo de nutrientes foliares superiores para as plantas provenientes do gongocomposto à medida em que se elevaram as doses de nitrogênio fornecidas

na adubação de fundação, confirmando que a melhor performance da planta no campo está condicionada à qualidade da muda utilizada no sistema de produção.

O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento das plantas e a produtividade da cultura está intimamente relacionada ao suprimento adequado de N, desde que não haja nutrientes limitantes ao crescimento (HERNÁNDEZ *et al.*, 2016). Segundo Araújo *et al.* (2011), as doses indicadas à cultura da alface versam em torno de 100 a 130 kg ha⁻¹ de N ou 40 a 60 Mg ha⁻¹ de esterco de curral. VAZ *et al.*, 2019 concluíram que a alface crespa cultivar SVR 2005[®] respondeu progressivamente até doses próximas a 150 kg de N ha⁻¹ e nas doses superiores a 200 kg ha⁻¹ foi observado uma redução das características avaliadas. De forma contrária, nota-se neste trabalho que não ocorreram reduções nos parâmetros fitotécnicos avaliados, corroborando com os resultados alcançados por Santos *et al.* (2018), onde constataram que o desenvolvimento da alface foi influenciado significativamente pelas diferentes doses de nitrogênio avaliadas, apresentando comportamento linear crescente com o incremento da dose de nitrogênio aplicada, sendo a maior produtividade obtida com a maior dose testada, que foi de 260 kg ha⁻¹ de N.

O potássio seguido pelo nitrogênio, são os dois elementos mais extraídos pela cultura de alface, sendo que a deficiência de N ocasiona reduções na expansão da área fotossinteticamente ativa, além de deixar as folhas com coloração menos atrativas e suculentas (FILGUEIRA, 2012; SANTOS *et al.*, 2018). Kano *et al.* (2012) observaram na alface crespa cultivar Verônica uma ordem de extração de nutrientes de K > N > Ca > P > Mg, similar a deste trabalho. As plantas oriundas de mudas produzidas no gongocomposto foram mais eficientes na extração de nutrientes, destacando-se principalmente na dose de 0 kg de N ha⁻¹, com acumulados de nutrientes duas vezes maiores (>100%) em relação às plantas cujas mudas foram desenvolvidas no substrato comercial. É possível notar também que nas doses de 50 e 100 kg de N ha⁻¹ os acúmulos de nutrientes foram bem próximos tanto nas alfaves do gongocomposto quanto do substrato comercial.

Quanto às características de produção comercial da alface, a altura das plantas e o diâmetro da cabeça fornecem informações importantes para seu acondicionamento pós-colheita, pois a principal forma de transporte se dá por meio de caixas plásticas ou de madeira (SALA; COSTA, 2012) com 20 unidades por caixa para o grupo crespa. Plantas com maiores alturas podem ser danificadas nos processos de acondicionamento e transporte, o que pode comprometer a qualidade comercial da alface (SUINAGA *et al.*, 2013). A altura da planta está associada à tolerância ao pendoamento (LUZ *et al.*, 2009), contudo não foram observadas mudanças no formato das plantas que indicassem início de pendoamento, considerando também que a cultivar Vera apresenta alto nível de resistência ao pendoamento precoce (SAKATA, 2020). As plantas oriundas de mudas produzidas com gongocomposto tiveram maior altura que as mudas com substrato comercial. Valores similares foram encontrados por Antunes *et al.* (2018) para alface Vera com mudas produzidas com gongocomposto de 180 dias.

Goulart *et al.* (2018) avaliaram o efeito da aplicação de Bokashi, esterco bovino, e da combinação destes, sobre o crescimento e produtividade de diferentes cultivares de alface nas condições de Seropédica-RJ, encontrando para cultivares do grupo crespa diâmetros variando entre 20 e 21 cm. Sousa *et al.* (2018), avaliando o desempenho de 14 cultivares do grupo de alface solta crespa sob adubação mineral em Jataí-GO, registrou valores de diâmetro de cabeça da cultivar Vera próximos aos encontrados neste trabalho para plantas oriundas do gongocomposto adubadas com 100 e 200 kg N ha⁻¹.

O número de folhas é de grande importância para o produtor, pois é o produto final que será comercializado ou processado. Ocorreram aumentos no número de folhas nas plantas desenvolvidas com gongocomposto do que nas originárias do substrato comercial, na dose de 200 kg de N ha⁻¹. Alfaves do grupo crespa apresentam entre 17 e 25 folhas por planta

(MENESES *et al.*, 2016; ANTUNES *et al.*, 2018; GOULART *et al.*, 2018; SOUSA *et al.*, 2018).

A massa fresca da alface que recebeu 200 kg de N ha⁻¹ com mudas formadas com gongocomposto foi de 363 g, superiores aos valores registrados por Antunes *et al.* (2018) com mudas da cultivar Vera com gongocomposto obtido em diferentes tempos de compostagem, em cultivo orgânico adubado com Bokashi. Mantovani *et al.* (2017) verificaram que a massa fresca da alface aumentou linearmente à medida em que se forneciam maiores doses de nitrogênio através de esterco bovino.

A produtividade estimada por área de terreno nas alfaces vindas de mudas com gongocomposto foram 34, 25 e 72% superiores às plantas com substrato comercial, nas doses de 50, 100 e 200 kg de N ha⁻¹, respectivamente. Embora inferiores ao gongocomposto com diferentes doses de adubação, os tratamentos sem adubação (comercial e gongocomposto) situam-se dentro da faixa de produtividade estimada por Freire *et al.* (2013), que para o estado do Rio de Janeiro está entre 15 a 20 Mg ha⁻¹ de alface fresca. As produtividades nas demais doses de adubação estão dentro da faixa prevista em sistema orgânico de produção, que é de 20 a 40 Mg ha⁻¹ (SOUZA; REZENDE, 2014), mas as plantas do gongocomposto na dose de 200 kg de N ha⁻¹ tiveram produtividade acima desta faixa. Antunes *et al.* (2018) obtiveram produtividade para a alface crespa Vera de 38 Mg ha⁻¹ em sistema orgânico adubado com 0,4 kg m⁻² de Bokashi, equivalente a 130 kg de N ha⁻¹, similar a produtividade obtida na dose de 100 kg de N ha⁻¹ como farelo de mamona para plantas originárias do gongocomposto.

No geral, as diferenças de crescimento nas alfaces não deveriam ser tão evidenciadas nas plantas que não receberam adubação nitrogenada para ambos os substratos, e mesmo que a qualidade das mudas do gongocomposto tenha sido melhor, esperava-se que o desenvolvimento fosse semelhante. No entanto, os valores da taxa de assimilação líquida, acúmulo de biomassa total, área foliar, área foliar específica e acúmulos de nutrientes foram maiores nas plantas oriundas do gongocomposto na dose de 0 kg de N ha⁻¹, demonstrando a melhor eficiência destas em se desenvolver no ambiente com apenas os nutrientes disponíveis do solo. A possível explicação para tais resultados baseia-se em dois possíveis efeitos proporcionados pelo gongocomposto desde a fase de produção das mudas e que se estenderam às condições de campo: o efeito químico, através da presença de substâncias húmicas (SH) – já que este composto orgânico apresenta baixa relação C/N, o que possibilitaria a polimerização do carbono em substâncias mais complexas, tais como as SH; e o efeito biológico, através da presença de bactérias promotoras de crescimento vegetal.

Pensando nos possíveis efeitos do melhor desenvolvimento das mudas de alface desenvolvidas no gongocomposto e que a campo representaram o tratamento de 0 kg de N ha⁻¹, as evidências atuais, Canellas *et al.* (2015) sugerem que os efeitos bioestimulantes das substâncias húmicas são marcados por modificações estruturais e fisiológicas nas raízes e brotações relacionadas à captação, na absorção e distribuição de nutrientes (eficiência no uso de nutrientes), além do poder em induzir alterações no metabolismo primário e secundário, tornando as plantas mais tolerantes ao estresse abiótico.

Quanto aos efeitos biológicos, as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas estão bem descritas e recomendadas para várias culturas em todo o mundo (CIPRIANO *et al.*, 2016). Elas podem promover o crescimento diretamente, facilitando a aquisição de recursos ou modificando os níveis de hormônios vegetais e indiretamente, reduzindo os efeitos inibitórios de vários agentes patogênicos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Existem diferentes promotores de crescimento em plantas atuando em seu crescimento e biocontrole. Gêneros como *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azospirillum*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Acetobacter*, *Bacillus megaterium*, *Azolla*, *Bacillus polymyxa*, *etc.*, são exemplos de bactérias promotoras de crescimento em plantas muito comuns que ajudam a melhorar substancialmente o rendimento das culturas e o crescimento total das plantas (MAHANTY *et al.*, 2017).

Como o desenvolvimento da alface foi progressivo à medida que se elevava as doses de nitrogênio, os possíveis efeitos das SH e das bactérias promotoras de crescimento se perderam, permanecendo apenas evidente na dose de 0 kg de N ha⁻¹. Nossa ideia se reforça na atuação dos microrganismos na promoção de crescimento, pois Correia *et al.* (2018) ao avaliarem a diversidade microbiana do trato intestinal do diplópode *Trigoniulus corallinus*, verificaram que o filo bacteriano *Proteobacteria* foi o maior em número de gêneros presentes. E dentro deste filo os autores encontraram a família Rhizobiaceae, que segundo Alves *et al.* (2014), alguns membros da família possuem a capacidade de estabelecer associações simbióticas com plantas hospedeiras e desenvolver o processo de fixação biológica de nitrogênio.

O húmus de minhoca já é reconhecido pelo seu grande potencial para ser utilizado na formulação de substratos utilizados na produção de mudas em sistemas orgânicos de produção, principalmente pela facilidade de acesso à matéria-prima proveniente de atividades pecuárias (STEFFEN *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Já os substratos formulados com resíduos provenientes da atividade de diplópodes são pouco conhecidos, entretanto também apresentam grande potencial para a produção de mudas de alface (Antunes *et al.*, 2016). Resultados de pesquisa, conforme demonstrado por Antunes *et al.* (2018) demonstram que é possível obter gongocompostos a partir de 90 dias, mas maiores tempos de processamento podem ser necessários para obtenção de substratos de melhor qualidade, pois à medida em que o tempo aumenta, o material orgânico vai se tornando mais estável e rico em nutrientes.

Quanto aos gongolos e ao processo de gongocompostagem, eles são facilmente achados para captura em áreas úmidas e com acúmulo de material vegetal (serrapilheira), onde atuam na sua decomposição. A maior restrição a estes animais bem como todo artrópode, é a limitação da umidade e temperaturas reduzidas, principalmente no inverno, quando estes animais praticamente desaparecem ou têm sua atividade biológica reduzida. Uma dificuldade a ser superada é quanto à sua reprodução, que diferente da minhoca, bem conhecida e de fácil condução, são necessários mais estudos nos gongolos para que seja atendida a necessidade de introdução destes animais nos anéis contendo os resíduos. Há reprodução durante o processo de gongocompostagem, gerando muitos filhotes, porém poucos chegam na fase adulta, talvez pelo fato ecológico da estratégia de vida dos artrópodes em geral de terem uma taxa de população alta no início do processo de colonização – conhecidos como estrategistas “r”.

A partir dos resultados deste trabalho, embora não tenhamos avaliado a parte microbiológica do gongocomposto e do solo em que as alfaces foram cultivadas, certamente ocorreu uma melhor interação planta-solo, com melhores aquisições de nutrientes, as quais promoveram melhores desempenhos agrônômicos e acúmulos de nutrientes na parte aérea das alfaces, reforçando a necessidade de estudar mais a fundo as propriedades químicas no que se refere às substâncias húmicas e às propriedades biológicas, referentes ao microbioma associado ao gongocomposto, que em conjunto ou isoladamente, estão proporcionando os ganhos vistos neste trabalho.

3.7 CONCLUSÕES

O gongocomposto apresenta características químicas e físicas favoráveis a utilização como substrato, conferindo padrão de qualidade comercial às mudas de alface crespa produzidas em bandejas em ambiente protegido, de tal forma que o crescimento das plântulas após o transplântio para condições de campo e as características fitotécnicas desta hortaliça em sistema de cultivo orgânico se mostram superiores às alcançadas com mudas oriundas de um substrato orgânico comercial.

A fertilização orgânica por ocasião do transplântio de mudas de alface promove aumento linear e proporcional às doses aplicadas nas características fitotécnicas, concentrações de macronutrientes essenciais e na produtividade de alface crespa cultivada em sistema orgânico de produção.

4 CAPÍTULO II

IDENTIFICAÇÃO DA COMUNIDADE BACTERIANA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E URBANOS

4.1 RESUMO

O produto oriundo da gongocompostagem é o húmus de gongolo, também denominado de gongocomposto, pois ele é produzido a partir da degradação dos resíduos vegetais processados por gongolos (diplópodes). Os excelentes resultados proporcionados pelo gongocomposto na produção de mudas de hortaliças e ornamentais nos permitiu concluir não se trata apenas da contribuição dos aspectos físicos, físico-químicos e químicos, mas também da influência biológica deste substrato orgânico aos vegetais, nunca antes estudada. Assim, o objetivo deste trabalho centrou-se na caracterização do microbioma bacteriano durante o processo completo de gongocompostagem a partir de resíduos agrícolas e urbanos utilizando o sequenciamento de alto rendimento e ferramentas de bioinformática. A diversidade alfa da comunidade microbiana variou significativamente durante a gongocompostagem, sendo maior aos 90 dias. A partir dos 120 dias ocorreram decréscimos dos índices de diversidade, os quais exibiram proximidades de valores entre si aos 150 e 180 dias. A análise de beta diversidade indicou que as estruturas da comunidade eram diferentes entre as fases da gongocompostagem, revelando que algumas das amostras ocuparam posições próximas e dividiram-se em dois grupos diferentes, um correspondendo às amostragens de 30-60-90 dias e outro às amostragens de 120-150-180 dias. Os *phyla* *Proteobacteria* e *Actinobacteria* que representam 70% do microbioma estão relacionados à degradação da lignocelulose. A classe *Alphaproteobacteria* e a sua ordem *Rhizobiales* são os taxa mais abundantes caracterizados por diversas espécies capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico. As ordens prevalentes do filo *Actinobacteria* são *Actinomycetales*, que predomina no início do processo e *Acidimicrobiales*, ao final. Além desses *phyla*, estão presentes *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Firmicutes* e *Acidobacteria*, em torno de 5% cada. O aumento da abundância relativa de *Acidobacteria* ao final do processo pode estar relacionado à maturidade do gongocomposto que aos 180 dias apresenta relação C/N igual a 15. Bactérias não classificadas predominam no final do processo, totalizando cerca de 55% da população total. Os gêneros mais abundantes foram *Streptomyces* (*Actinobacteria*) e *Bacillus* (*Firmicutes*), cerca de 4% cada. A estrutura e a sucessão do microbioma ao longo da gongocompostagem se aproximam do que é evidenciado na decomposição da serrapilheira. Esses resultados fornecem informações valiosas sem precedentes inéditas sobre a microbiota associada à gongocompostagem de resíduos agrícolas e urbanos pelos diplópodes da espécie *Trigoniulus corallinus* e como as diferentes comunidades microbianas são importantes na transformação da matéria orgânica bruta, além da influência desses microrganismos no desenvolvimento vegetal na fase de produção de mudas. A gongocompostagem pode representar uma biotecnologia útil à produção de mudas na horticultura a partir da reciclagem e transformação em materiais orgânicos bioestabilizados de resíduos agrícolas e urbanos, similarmente ao que ocorre com a serrapilheira em ambientes florestais.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos. *Trigoniulus corallinus*. Gongocomposto. Comunidades microbianas. Manejo de resíduos.

4.2 ABSTRACT

The product from millicomposting is millipede humus, which we also call millicompost, because it is produced from the degradation of plant residues processed by millipedes (diplopods). The excellent results provided by the millicompost in the production of vegetable and ornamental seedlings allowed us to conclude that it is not only about the contribution of physical, physical-chemical and chemical aspects, but also the biological influence of this organic substrate to plants, never studied before in the world. Thus, the objective of this work was focused on the characterization of the bacterial microbiome during the complete millicomposting process from agricultural and urban waste using high-throughput sequencing and bioinformatics tools. The alpha diversity of the microbial community varied significantly during gong composting, being greater at 90 days. As of the 120 days, there was a decrease in the diversity indexes, which showed similarities between the values at 150 and 180 days. The beta diversity analysis indicated that the community structures were different between the phases of the millicomposting, revealing that some of the samples occupied close positions and were divided into two different groups, one corresponding to the samples of 30-60-90 days and the other to samplings of 120-150-180 days. The *phyla* *Proteobacteria* and *Actinobacteria*, which represent 70% of the microbiome, are related to the degradation of lignocellulose. The *Alphaproteobacteria* class and its order *Rhizobiales* are the most abundant taxa characterized by several species capable of reducing atmospheric nitrogen. The prevalent orders of the phylum *Actinobacteria* are *Actinomycetales*, which predominates at the beginning of the process and *Acidimicrobiales*, at the end. In addition to these *phyla*, *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Firmicutes* and *Acidobacteria* are present, around 5% each. The increase in the relative abundance of *Acidobacteria* at the end of the process may be related to the maturity of the millicompost, which at 180 days has a C / N ratio of 15. Unclassified bacteria predominate at the end of the process, totaling around 55% of the total population. The most abundant genera were *Streptomyces* (*Actinobacteria*) and *Bacillus* (*Firmicutes*), about 4% each. The structure and succession of the microbiome along the millicomposting is close to what is evidenced in the decomposition of the litter. These results provide unprecedented valuable information about the microbiota during millicomposting of agricultural and urban residues by *Trigoniulus corallinus* diplopods and how the different microbial communities are important in the transformation of crude organic matter, in addition to the influence that these microorganisms have on plant development in the phase seedling production. Millicomposting can represent biotechnology for the production of seedlings in ecological horticultural systems based on the decomposition of agricultural and urban waste, similarly to what happens with litter in forest environments.

Keywords: Organic wastes. *Trigoniulus corallinus*. Millicompost. Microbial communities. Waste management.

4.3 INTRODUÇÃO

O descarte inadequado dos resíduos orgânicos pode levar a vários problemas ambientais, especialmente a poluição do solo e dos mananciais (RAVINDRAN *et al.*, 2021). Os diversos métodos de compostagem representam uma alternativa viável para o manejo da fração orgânica de resíduos agrícolas e urbanos que pode ser implementada em países em desenvolvimento, devido à sua facilidade de execução. Ademais, essa tecnologia caracteriza-se por custos reduzidos e permite o gerenciamento dos fluxos de resíduos, contribuindo para a redução da quantidade de matéria orgânica enviada aos aterros sanitários e tendo como produto final um composto orgânico que pode ser utilizado com segurança como corretivo de solo ou, se sua qualidade for suficientemente elevada, como substituto parcial ou total de materiais tradicionais utilizados na formulação de substratos destinados às produções de culturas sem solo (JARA-SAMANIEGO *et al.*, 2017).

Mundialmente, o principal componente dos substratos comerciais utilizados na produção de mudas é a turfa. No entanto, questões de ordem ambiental, econômica e de menor dependência de insumos externos pelos agricultores têm levado a necessidade de sua substituição parcial ou total por outros materiais de baixo custo, alta qualidade e que atenda as premissas da sustentabilidade (WATTHIER *et al.*, 2016). O húmus de minhoca é reconhecido pelo seu potencial para ser utilizado na formulação de substratos utilizados na produção de mudas em sistemas orgânicos de produção, principalmente pela facilidade de acesso à matéria-prima, esterco, proveniente de atividades pecuárias (STEFFEN *et al.*, 2010; OLIVEIRA; XAVIER; DUARTE, 2013). Já os substratos formulados com resíduos provenientes da atividade de diplópodes (gongocomposto) são pouco conhecidos, entretanto também apresentam potencial semelhante ao vermicomposto para a produção de mudas (THAKUR; APURVA; SINHA, 2011; ANTUNES *et al.*, 2016b).

O gongocomposto é um substrato de origem orgânica que advém do processo de gongocompostagem e consiste na transformação de resíduos vegetais lignocelulósicos em composto orgânico estável, o qual é mediado pela atividade biológica de diplópodes, organismos decompositores da fauna do solo, popularmente conhecidos como gongolos (ANTUNES; AZEVEDO; CORREIA, 2019b). Os estudos ainda são incipientes no mundo, com pesquisas pontuais na Índia (ASHWINI; SRIDHAR, 2006; RAMANATHAN; ALAGESAN, 2012; AMBARISH; SRIDHAR, 2013; SRIDHAR; AMBARISH, 2013) e no Brasil (ANTUNES *et al.*, 2016b; ANTUNES; AZEVEDO; CORREIA, 2019b; ANTUNES *et al.*, 2020, 2021), porém os resultados mostram a capacidade dos diplópodes em processar resíduos agrícolas e urbanos, gerando substratos e fertilizantes orgânicos que propiciam excelente qualidade no desenvolvimento de plantas.

As interações entre invertebrados saprófagos e microrganismos são essenciais à manutenção e funcionamento dos ecossistemas do solo, afetando diretamente a degradação da matéria orgânica e o ciclo dos nutrientes. A matéria orgânica que passa pelo sistema digestivo dos diplópodes é processada por uma variedade de bactérias e fungos evolutivamente diversos, os quais formaram ao longo de sua evolução associações complexas e hoje elas atuam na manutenção dos processos de decomposição da matéria orgânica e na ciclagem dos nutrientes no ecossistema do solo (AMBARISH; SRIDHAR, 2015; CORREIA *et al.*, 2018).

Microrganismos apresentam diversidade metabólica e podem colonizar uma grande variedade de ambientes naturais e antropogênicos, sendo capazes de influenciar nas propriedades físicas, físico-químicas e químicas dos nichos que eles ocupam. Por esse motivo, a compostagem e o seu microbioma ou comunidade microbiana associados tem merecido atenção especial em todo o mundo. Por meio de técnicas de sequenciamento de alto rendimento

é possível obter uma grande quantidade de informações relativa à sucessão das comunidades microbianas em diferentes processos de compostagem, vermicompostagem e de serrapilheira (CHEN *et al.*, 2018; BONANOMI *et al.*, 2019; BURESOVA *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2020; WU *et al.*, 2020; ZHONG *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021; BURESOVA *et al.*, 2021).

Embora existam muitos estudos sobre os microbiomas de compostagem e vermicompostagem, não há estudos até o momento sobre a dinâmica e/ou a funcionalidade dos microrganismos durante o processo de gongocompostagem. Sendo assim, neste estudo objetivamos identificar a dinâmica das comunidades microbianas durante a gongocompostagem ao longo de 180 dias.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Produção dos gongocompostos

A produção dos gongocompostos foi realizada no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA – “Fazendinha Agroecológica Km 47”), localizado em Seropédica, RJ, no período de maio a novembro de 2018. A altitude do local é de 33,0 m e o clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com chuvas concentradas entre novembro e março, temperatura média anual de 23,9 °C e precipitação anual média de 1.213 mm (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2014).

Foram utilizados nove anéis de concreto, com altura de 0,40 m e diâmetro de 0,35 m, com capacidade para receber 40 L de resíduos (Figura 9-A). No fundo dos anéis havia uma tela tipo sombrite para proteção contra a entrada de outros organismos ou até mesmo a saída dos gongolos e a base de pedra britada com camada de 10 cm auxiliava na drenagem caso ocorresse excessos de umidade (Figura 9-B).

Na primeira etapa, os resíduos foram quantificados, misturados e posteriormente depositados no interior dos anéis, sendo umedecidos em seguida para então receberem os gongolos e iniciar o processo de gongocompostagem (Figuras 9-C, 9-D e 9-E). Os resíduos que constituíram a mistura no processo de gongocompostagem foram: folhas de pata-de-vaca (*Bauhinia* sp.), aparas da grama *Paspalum notatum*, folhas de bananeira (*Musa* sp.) e aparas de papelão (≤ 4 cm). A proporção dos materiais foi de 16, 12, 8 e 4 litros, respectivamente.

Na segunda etapa, seis anéis de concreto receberam a quantidade de 0,20 L de diplópodes da espécie *Trigoniulus corallinus*, o que equivale a uma população de aproximadamente 360 indivíduos adultos (Figuras 9-F, 9-G, 9-H e 9-I). Estes diplópodes foram coletados manualmente em canteiros de minhocultura, em composteiras e em gramado contendo aparas recentes. Os anéis de concreto permaneceram cobertos com tela tipo sombrite, cuja função foi impedir que os gongolos ali existentes empreendessem fuga ao subir pela parede do anel ou ainda impedir a entrada de algo indesejado durante o processo de gongocompostagem (Figura 9-J).



Figura 9. A- anel de concreto com capacidade para receber 40 L de resíduos para gongocompostagem; B- Fundo do anel de concreto, com tela de proteção e camada de 10 cm de pedra britada; C- Mistura dos resíduos vegetais e papelão; D- adição da mistura de A- anel de concreto com capacidade para receber 40 L de resíduos para gongocompostagem; B- Fundo do anel de concreto, com tela de proteção e camada de 10 cm de pedra britada; C- Mistura dos resíduos vegetais e papelão; D- adição da mistura de resíduos no anel de concreto; E- umedecimento dos resíduos para posterior adição dos diplópodes; F e G- quantificação em volume dos diplópodes empregados na gongocompostagem; H e I- Adição dos diplópodes nos anéis contendo os resíduos vegetais e papelão; J- Anel de concreto coberto com tela tipo sombrite. Imagens: Luiz Fernando de Sousa Antunes, 2018.

No decorrer de todo o processo de gongocompostagem houve a necessidade de observar a umidade do material contido nos anéis, sendo que a manutenção desta umidade foi realizada com adição de água via mangueira, semanalmente ou quando necessário, a fim de mantê-la em torno dos 50-65%. Os três anéis restantes receberam os mesmos tratamentos supracitados, permanecendo apenas sem a adição dos diplópodes.

4.4.2 Obtenção das amostras

As amostras foram coletadas em seis momentos (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias), de acordo com a evolução do processo de gongocompostagem (Figura 10). Três amostras simples foram coletadas para cada anel, em três diferentes pontos a 20 cm de profundidade (posição mediana do anel), pois é onde se concentravam os diplópodes e conseqüentemente onde se concentrava o acúmulo de resíduos processados (gongocompostos). Obteve-se uma amostra composta para cada um dos três anéis a partir da mistura cuidadosa das três amostras simples, a qual foi utilizada para avaliação do microbioma, pH, condutividade elétrica e dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg).

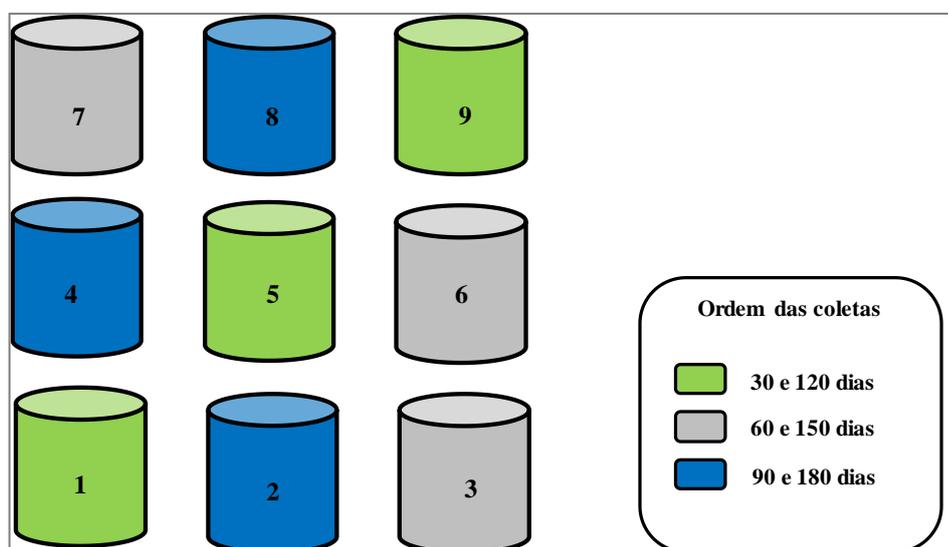


Figura 10. Disposição ao acaso dos anéis de concreto com capacidade para 40 L da mistura de resíduos para a gongocompostagem. As diferentes cores dos anéis indicam os dias em que ocorreram as avaliações.

4.4.3 Extração de DNA

Os compostos orgânicos oriundos do processo de gongocompostagem foram coletados, identificados e mantidos em um super freezer (-80 °C). Para a extração foram macerados 200 mg dos gongocompostos, seguidos da extração de DNA usando o *Kit* rápido de extração de DNA para Solo (MObio), de acordo com as instruções do fabricante.

4.4.4 Amplificação do gene rRNA 16S

O DNA dos gongocompostos foram purificados e submetidos à análise de sequenciamento em larga escala (NGS) através da tecnologia Illumina MiSeq, realizada pela Macrogen (Coréia, Seul). A região V3-V4 do gene 16S rDNA foi amplificada usando os

iniciadores 341F (CCTACGGGNGGCWGCAG) e 805R (GACTACHVGGTATCTAATCC) (HERLEMANN *et al.*, 2011), com amplificação de aproximadamente 440 pares de bases (pb).

4.4.5 Bioinformática e análise de dados

As sequências foram analisadas com o software Mothur (v. 1.43.0, <http://www.mothur.org>) (SCHLOSS *et al.*, 2009). As sequências “*forward*” e *reverse* foram agrupadas e ajustadas para remover sequências ambíguas e aquelas que tinham mais de oito homopolímeros. As sequências abaixo de 440 e acima de 443 (pb) foram excluídas. Posteriormente elas foram alinhadas usando o banco de dados do gene RNA ribossômico de Silva (v. 132, <http://www.arb-silva.de>) (QUAST *et al.*, 2012).

Sequências de caracteres desalinhados e colunas sem informações foram removidas. As sequências raras foram agrupadas com as sequências abundantes e as sequências quiméricas foram removidas (ROGNES *et al.*, 2016). A classificação foi realizada usando o *Ribosomal Database Project* (COLE *et al.*, 2009) ao nível de gênero, com 80% de auto inicialização. Usando o comando “*remove.lineage*”, as sequências de mitocôndrias, cloroplastos, arcs, eucariotos e domínios desconhecidos foram eliminadas. As unidades taxonômicas operacionais de sequência única (OTU) foram removidas e as amostras foram subamostradas aleatoriamente para o menor tamanho de amostra. Os dados de taxonomia e distribuição das OTU foram exportados e usados em outros programas.

As curvas de rarefação, os gráficos de diversidade alfa e os *heatmaps* foram gerados através do site *Microbiome Analyst* (DHARIWAL *et al.*, 2017; CHONG *et al.*, 2020). Os dados de diversidade beta, diagrama de Venn e análise de componentes principais foram gerados e plotados no software R (R CORE TEAM, 2015) usando os pacotes *Phyloseq* (v. 1.26.1) (MCMURDIE; HOLMES, 2013) e *ggplot2* (v. 3.2.1) (WICKHAM, 2009).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento dos dados brutos, um total de 299.770 leituras de 16S rRNA foram obtidas de amostras coletadas durante o processo de gongocompostagem, compreendendo 8.323 unidades taxonômicas operacionais (OTUs). Foram analisadas 18 amostras, contendo três repetições para cada um dos seis tempos de amostragem e cada amostra teve um número médio de 16.437 sequências. Foi realizada a filtragem manual, que consistiu na retirada das OTUs que continham contagens inferiores a 4 sequências em todas as 18 amostras, resultando em 49.623 sequências removidas (16,56% do total de 299.677 sequências obtidas inicialmente). No *Microbiome Analyst*, na opção *Data Filter*, foi adotado o padrão estabelecido pelo programa, onde o filtro de baixa contagem consistia em: contagem mínima = 4 e prevalência nas amostras = 20%; e para o filtro de baixa variância a porcentagem de remoção foi de 10% com base no intervalo interquantil¹. Como resultado, não foram removidas características de baixa abundância com base na prevalência e foram removidas 90 características de baixa variância com base no Iqr. O número de recursos que permaneceram após a etapa de filtragem de dados foi de 804 OTUs com um total de 250.054 sequências. A partir desses dados foram calculadas as curvas de rarefação, diversidades alfa e beta para cada tempo de amostragem da gongocompostagem: 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias.

A metodologia usada para filtrar nossos dados produziu curvas de rarefação satisfatórias (Figura 11) e uma estimativa de valores de cobertura cuja média foi de 99,29%, a qual revelou que as bibliotecas de OTUs eram suficientemente numerosas para capturar os OTUs mais comuns e que a probabilidade de encontrar uma nova OTU é quase zero (déficit de cobertura). Além disso, as curvas mostraram semelhanças no número de OTUs dentro de cada tempo de amostragem. Entre os tempos de amostragem, os números de OTUs variaram em torno de 650 a 800, sendo essas médias encontradas para os tempos de amostragem de 30 e 90 dias da gongocompostagem, respectivamente.

¹ O intervalo interquantil foi desenvolvido no âmbito da estatística a fim de avaliar o grau de espalhamento de dados (dispersão) em torno da medida de centralidade. Para entender o comportamento dos dados (sejam eles discretos ou contínuos) de uma forma mais precisa, busca-se o estudo sobre a dispersão de dados por meio de ferramentas que complementam uma análise geral como o desvio padrão e a variância (PINHEIRO *et al.*, 2014).

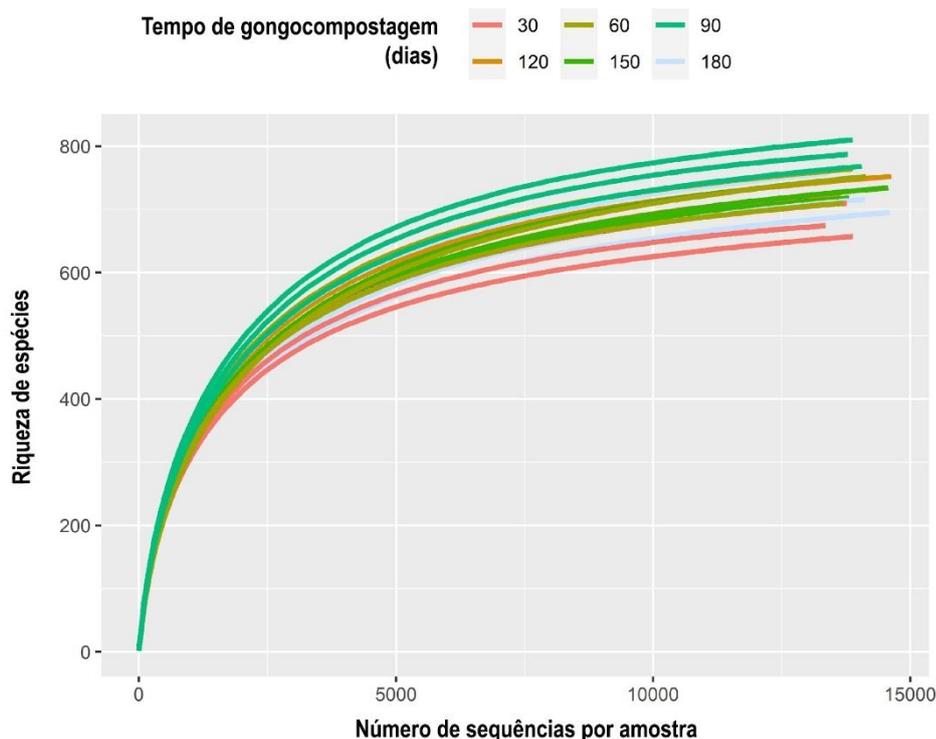


Figura 11. Curvas de rarefação correspondentes às diferentes fases amostradas do processo de gongocompostagem (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). As curvas de rarefação relacionam o o volume de sequências ao número estimado de grupos taxonômicos (*taxa*), determinado por Unidades Taxonômicas Operacionais (OTUs). O eixo Y mostra o número de leituras obtidas pelo sequenciamento do gene 16S rRNA. O eixo X mostra o número de unidades taxonômicas operacionais (OTUs) em um nível de 97% de similaridade (número estimado de espécies bacterianas).

Os índices obtidos para a determinação da diversidade alfa das comunidades microbianas apresentaram variações significativas do início ao final do processo de gongocompostagem (Figuras 12A, 12B e 12C). As OTUs observadas, riqueza taxonômica estimada pelo índice de Chao 1 e diversidade taxonômica estimada pelo índice de Shannon foram significativamente maiores aos 90 dias de gongocompostagem. Após os 120 dias houveram reduções nesses índices ecológicos, que foram semelhantes entre si aos 150 e 180 dias (Figuras 12B e 12C).

Até o momento não há pesquisas que avaliem o microbioma presente no processo de gongocompostagem. Na compostagem tradicional, os compostos já estabilizados, cujo tempo de obtenção é de aproximadamente 30 dias, apresentam maiores índices de diversidade do que nas fases iniciais do processo de decomposição e transformação da matéria orgânica, situando-se na faixa de 5,3 (WEI *et al.*, 2018; CHANG *et al.*, 2020; TRAN *et al.*, 2021). Os menores valores observados no início da compostagem podem ser atribuídos à presença da fase termofílica, uma vez que a alta temperatura (≥ 50 °C) exerce uma força seletiva, que além de poder eliminar os patógenos presentes nas pilhas, promove reduções na viabilidade de muitos microrganismos que não são resistentes as altas temperaturas (WANG *et al.*, 2019; JURADO *et al.*, 2020). Além disso, uma grande quantidade de matéria orgânica e água são consumidas durante o processo de compostagem, havendo ainda a competição entre os microrganismos por umidade e espaço, o que pode levar à diminuição da diversidade bacteriana (LIU *et al.*, 2020).

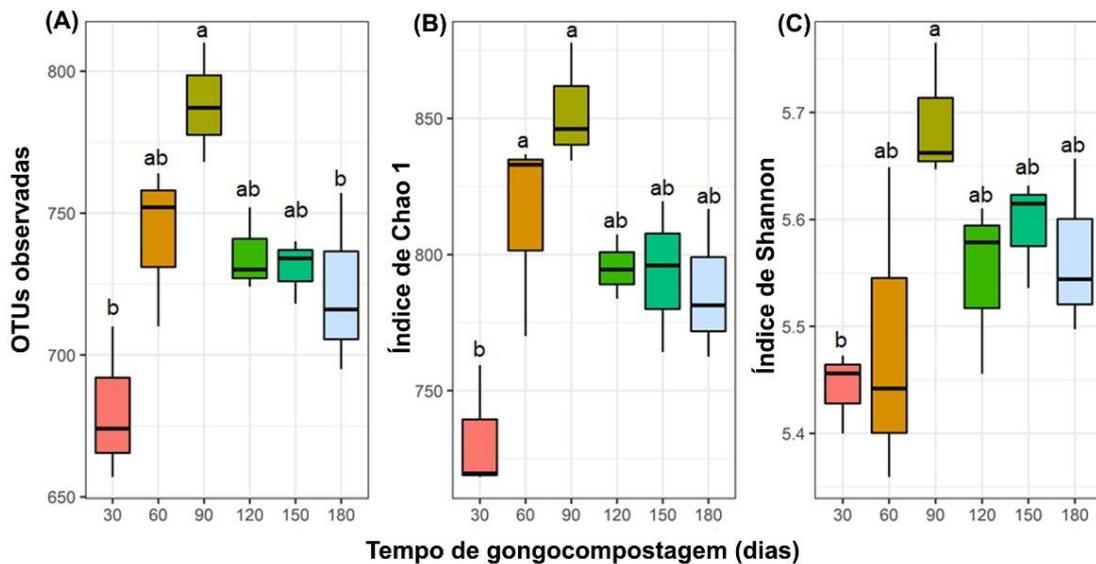


Figura 12. Composição da diversidade da comunidade bacteriana durante os 180 dias do processo de gongocompostagem. (A) Número de OTUs observadas, (B) riqueza taxonômica estimada (índice de Chao 1) e (C) diversidade taxonômica estimada (índice de Shannon). Médias seguidas de letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na vermicompostagem de resíduos vegetais e sólidos urbanos, observa-se que os índices de Shannon aumentam gradativamente a partir da fase ativa, durante a qual as minhocas processam os resíduos e modificam seu estado físico, bem como a composição microbiana, até que se alcance a maturação final do vermicomposto, cujo tempo varia de acordo com os resíduos utilizados (GÓMEZ-BRANDÓN; AIRA, 2010; CHEN *et al.*, 2018; BRANDÓN *et al.*, 2019; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019; SRIVASTAVA *et al.*, 2021).

Já na decomposição da serrapilheira, observa-se que os índices de Shannon apresentam-se em torno de 6 (BONANOMI *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019). Diferente do que se observou nos processos supracitados de compostagem e vermicompostagem, na gongocompostagem os índices de diversidade exibiram valores próximos, em torno de 5,4 (entre 30-60 dias), embora com diferenças significativas.

De forma similar à compostagem e vermicompostagem, na gongocompostagem observou-se um aumento dos índices de diversidade entre 30-90 dias, representando uma fase inicial ativa (30-60 dias), seguida de uma fase de maturação aos 90 dias. Após esse período observa-se a redução dos diplópodes sobreviventes no sistema em decorrência de dois fatores: o desenvolvimento ontogenético completo ou ainda pela restrição de resíduos a serem processados por eles, ocasionando a redução da atividade metabólica e posterior morte dos gongolos, já que não foi feita a adição contínua de resíduos durante o processo. Em termos de comunidade microbiana após os 90 dias de gongocompostagem, inicia-se o processo de estabilização do gongocomposto, mediada quase que exclusivamente por microrganismos, já que as densidades de gongolos observadas são mais baixas. É nessa fase que o gongocomposto torna-se eficiente como substrato destinado à produção de mudas de hortaliças e fruteiras (ANTUNES *et al.*, 2021). Como a gongocompostagem consiste no acúmulo de resíduos vegetais, tornando o ambiente semelhante à serrapilheira de ambientes florestais, local onde há a atividade decompositora dos diplópodes, é provável que as condições estabelecidas desde o

início do processo favoreceram a ocorrência de diferentes comunidades saprofíticas, que além de altamente diversas, conseguiram coexistir, consequência da especialização trófica que segue com o aumento da diversidade química da serapilheira fornecida durante a decomposição, associada à heterogeneidade estrutural e à formação de microhabitats dentro da serapilheira estabelecida (BONANOMI *et al.*, 2019). Segundo Wei *et al.* (2018), as condições ambientais diversas (temperatura, relação C/N e umidade) encontradas no composto tornam os nichos mais restritos, o que resulta na geração de uma comunidade bacteriana mais específica e homogênea em comparação com a comunidade primária observada na matéria-prima inicial utilizada no processo.

A beta diversidade foi obtida através de uma análise de coordenadas principais bidimensional elaborada para analisar as diferenças na composição da comunidade bacteriana durante os diferentes tempos da gongocompostagem (Figura 13). Os resultados das 18 amostras traçadas mostram que 77,6% da variabilidade nos dados pode ser explicada pelos dois componentes. A análise de coordenadas principais (ACP) separou a maioria dos estágios de gongocompostagem, fazendo com que as amostras nos diferentes tempos ocupassem posições diferenciadas no espaço 2D ao longo do processo no eixo 1. Dos 30 aos 90 dias de gongocompostagem as comunidades estão menos dispersas na coordenada principal 2 e a partir dos 120 dias observa-se maior dispersão de cada tempo amostral nesse mesmo eixo. Desta maneira, a evolução do microbioma bacteriano no processo de gongocompostagem está relacionada com a modificação da natureza do material utilizado até alcançar a maturação, confirmada pelas maiores proximidades entre os tempos finais de 150 e 180 dias de gongocompostagem (Figura 12). Segundo Zhong *et al.* (2020), o ecossistema da compostagem apresenta mecanismos de autopurificação para eliminar os microrganismos indesejáveis e desenvolve uma comunidade funcional para atender aos requisitos de biodegradação da matéria-prima.

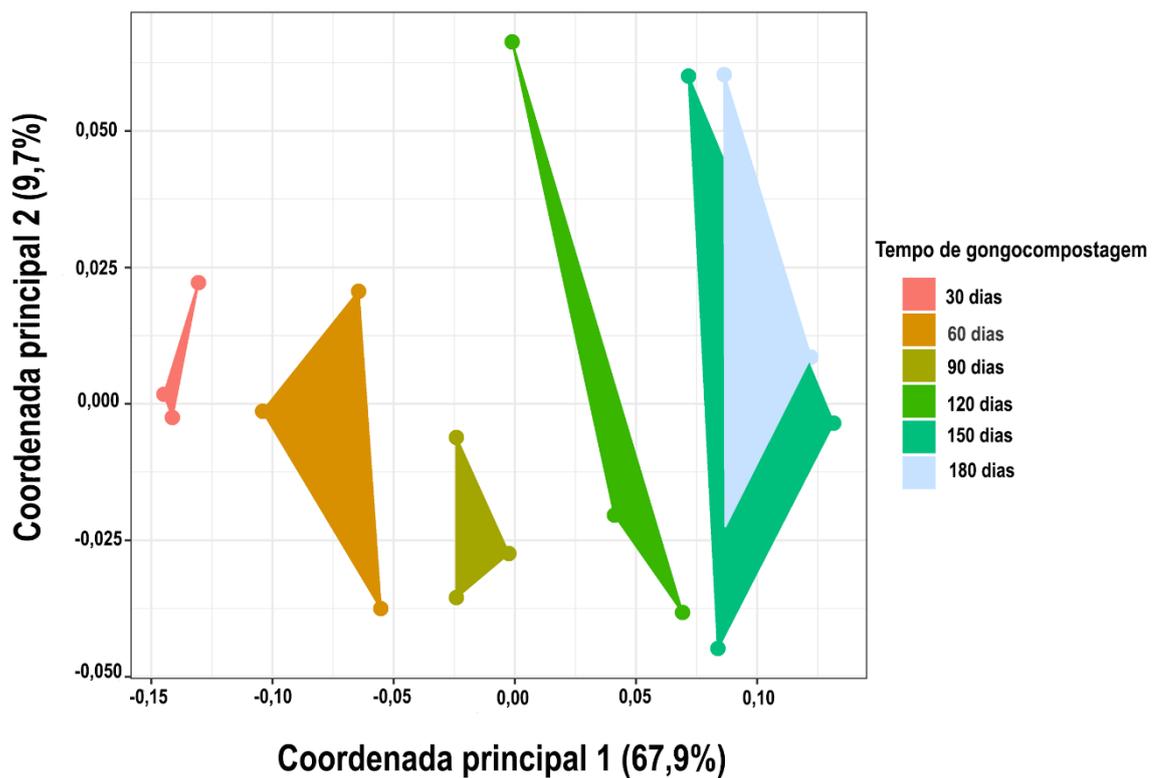


Figura 13. Análise das coordenadas principais (ACP) da diversidade β calculada pelo índice de Jensen-Shannon.

De um total de 894 OTUs, 756 estão presentes em todos os tempos de gongocompostagem (85%) (Figura 14). Destaca-se também outras 60 OTUs que ocorrem em todos os tempos, exceto aos 30 dias e correspondem a 6,7%. Em termos de riqueza, a gongocompostagem apresenta uma comunidade estável, sendo a diferença observada em função do número de sequências, que variou de acordo com os tempos da gongocompostagem.

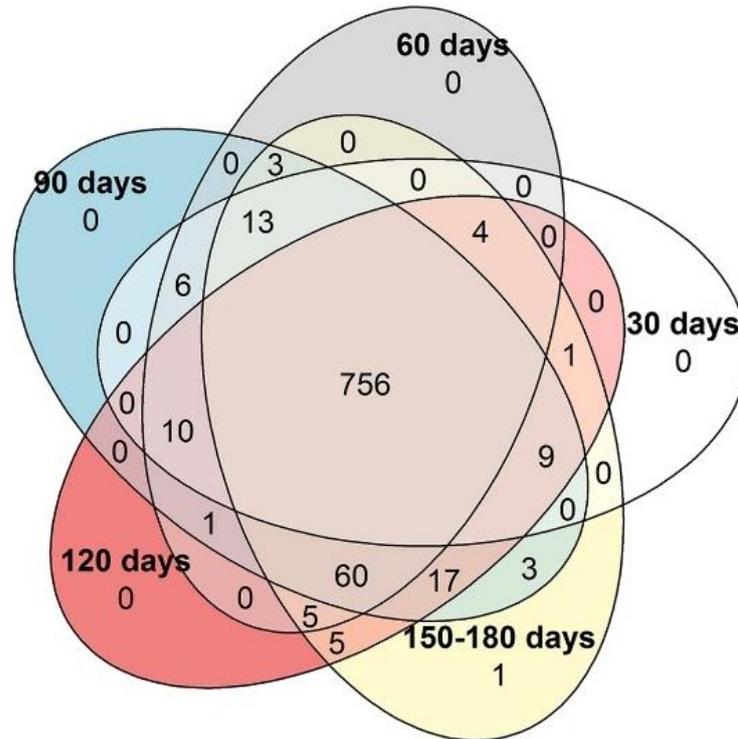


Figura 14. Diagrama de Venn com o número de OTUs compartilhadas ou não para cada tempo da gongocompostagem

Os *phyla Proteobacteria* e *Actinobacteria* totalizaram cerca de 70% da abundância relativa presente durante o processo de gongocompostagem, seguidos pelos *phyla Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Firmicutes* e *Acidobacteria*, os quais representaram cerca de 22% da abundância relativa (Figura 15). Os demais *phyla*, constituídos por *Candidatus Saccharibacteria*, *Chloroflexi*, *Verrucomicrobia*, *Chlamydiae*, *Gemmatimonadetes*, *Candidate division WPS-1*, *Parcubacteria* e *Armatimonadetes* totalizaram aproximadamente 5% da abundância relativa. Destaca-se também a presença de bactérias que permaneceram sem classificação taxonômica, cuja abundância relativa foi de 3,23%, sendo cerca de seis vezes maior ao final da gongocompostagem, quando comparada à abundância observada aos 30 dias iniciais do processo.

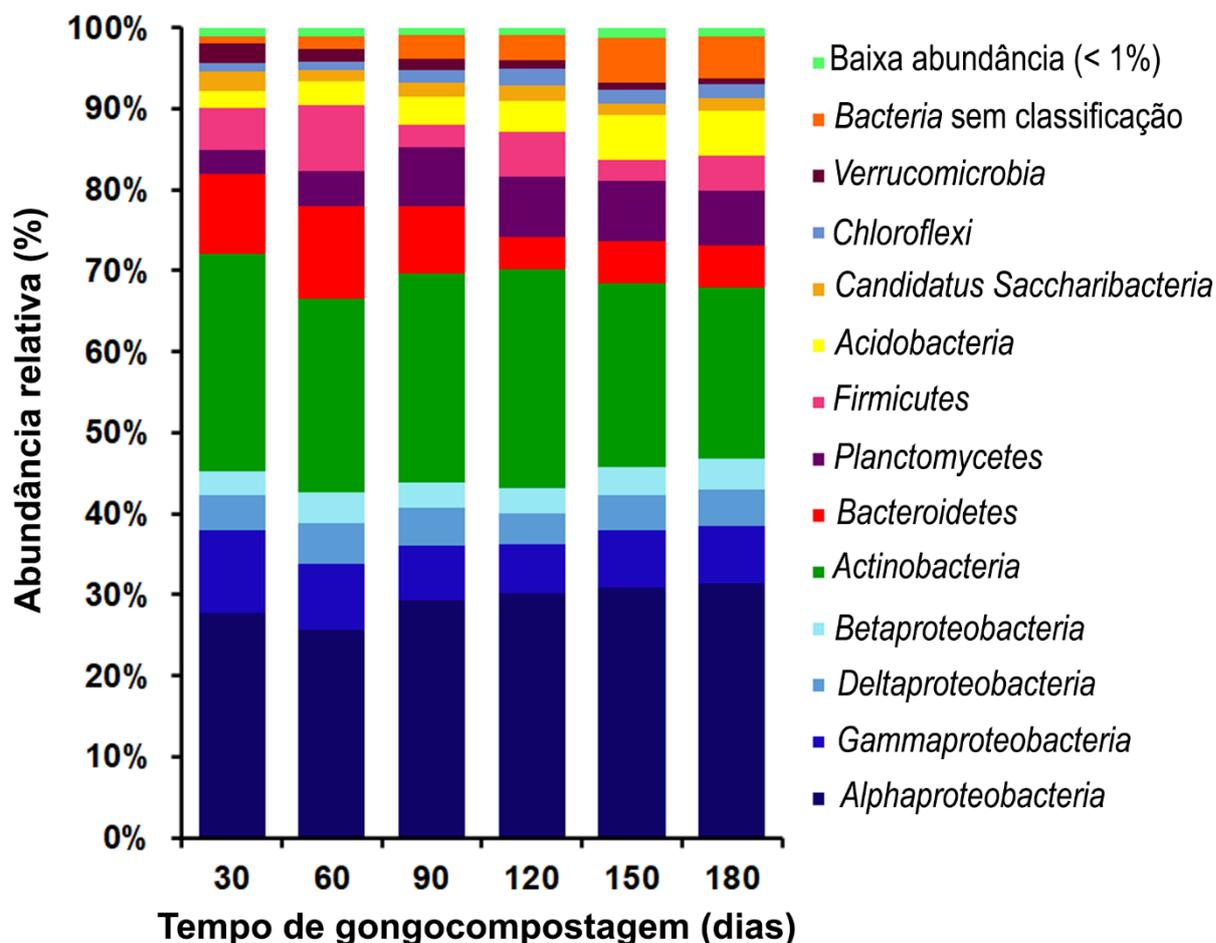


Figura 15. Abundância relativa a nível de filo da comunidade bacteriana presente durante o processo de gongocompostagem. Baixa abundância (< 1%): *Chlamydiae* (0,30%), *Gemmatimonadetes* (0,25%), *Candidate division WPS-1* (0,17%), *Parcubacteria* (0,09%) e *Armatimonadetes* (0,02%).

À medida em que o tempo de gongocompostagem avança é possível notar que o número de seqüências que foram identificadas a nível de gênero reduziu de 59% para 8%. É notório também que as bactérias sem classificação representam 55% do seu total nos tempos de 150 e 180 dias. Estes resultados indicam que no produto final – o gongocomposto, existe uma parte considerável da comunidade microbiana sem classificações taxonômicas conhecidas.

O filo *Proteobacteria* foi o mais abundante durante toda a gongocompostagem, com 44,6% de um total de 250.054 seqüências, distribuído em quatro classes: *Alphaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria* e *Betaproteobacteria*, das quais *Alphaproteobacteria* aumentou significativamente durante o processo, ao contrário da classe *Gammaproteobacteria* que mostrou uma redução nesse período (Figura 15 e Tabela 4). Na compostagem de resíduos vegetais durante a fase de maturação, a abundância relativa de *Proteobacteria* foi em torno de 40% (WEI *et al.*, 2018; CHANG *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021), semelhante ao observado para a gongocompostagem, enquanto a adição de esterco aos resíduos vegetais acarretou uma redução de cerca de 20% na abundância relativa (LIU *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2019). A abundância de *Proteobacteria* em diversos estudos de microbiomas bacterianos durante a vermicompostagem ou decomposição de serrapilheira foi similar aos resultados obtidos para a serrapilheira (BRANDÓN *et al.*, 2019; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019;

HABTEWOLD *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020). Porém, nos trabalhos de Bonanomi *et al.* (2019), Buresova *et al.* (2021) e Srivastava *et al.* (2021) houve uma redução de *Proteobacteria* ao final do período de cerca de 50 % para 20%. Na decomposição dos resíduos orgânicos, o filo *Proteobacteria* está positivamente associado à relação C/N, conteúdo de celulose, a fração relativa de C-O-alquil e, em menor extensão, a C-alquil (BONANOMI *et al.*, 2019). Na decomposição da serrapilheira de *Picea abies* (L.) Karst., popularmente conhecida como abeto-falso, observou-se uma redução da abundância relativa do filo *Proteobacteria* concomitantemente a um menor número de *taxa* associados, talvez pela acidez do material que o torna mais recalcitrante, e, portanto, mais resistente ao ataque microbiano (BURESOVA *et al.*, 2021).

Tabela 4. Comparação entre os diferentes tempos de gongocompostagem para cada filo bacteriano, considerando seus respectivos números de sequências.

Filo Classe	Tempo de gongocompostagem					
	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias	150 dias	180 dias
	Número de sequências					
<i>Alphaproteobacteria</i>	11402 b	10743 b	12232 a	12771 a	12718 a	13193 a
<i>Gammaproteobacteria</i>	4135 a	3373 b	2837 b	2576 b	2900 b	3023 b
<i>Deltaproteobacteria</i>	1770	2070	1948	1623	1787	1859
<i>Betaproteobacteria</i>	1213	1602	1310	1310	1434	1646
<i>Actinobacteria</i>	11058	10001	10760	11391	9352	8914
<i>Bacteroidetes</i>	4023 a	4747 a	3464 a	1681 b	2148 b	2149 b
<i>Planctomycetes</i>	1221 b	1781 b	3021 a	3197 a	2996 a	2856 a
<i>Firmicutes</i>	2101	3404	1132	2272	1134	1800
<i>Acidobacteria</i>	873 b	1207 b	1484 b	1667 b	2244 a	2361 a
<i>Candidatus Saccharibacteria</i>	960	582	716	799	549	650
<i>Chloroflexi</i>	445 b	464 b	606 b	831 a	736 a	774 a
<i>Verrucomicrobia</i>	1010 a	622 b	577 b	468 b	366 b	239 b
<i>Bacteria unclassified</i>	327 b	685 b	1235 b	1336 b	2243 a	2239 a

Letras diferentes na linha apresentam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott em um ou mais tempos da gongocompostagem.

Alphaproteobacteria foi a classe de *Proteobacteria* mais abundante durante a gongocompostagem, representando 29,2% do total, enquanto as abundâncias relativas de *Betaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria* e *Gammaproteobacteria* foram de 3,4, 4,4 e 7,5%, respectivamente. Porém em alguns estudos, o comportamento das classes de *Proteobacteria* não seguiram a tendência geral. Ao longo da decomposição da serrapilheira, *Alphaproteobacteria* apresentou inicialmente valores em torno de 10%, aumentando gradativamente ao longo do período para 20%, enquanto *Betaproteobacteria* mostrou o dobro da abundância relativa daquela encontrada para a gongocompostagem. Os valores para abundância relativa de *Gammaproteobacteria* e *Deltaproteobacteria* foram similares à gongocompostagem (HABTEWOLD *et al.*, 2020). Wang *et al.* (2020) observaram que a abundância relativa de *Alphaproteobacteria* foi em torno de 30% e o de *Gammaproteobacteria*, aproximadamente 7%, valores próximos aos observados para o processo de gongocompostagem. Exibindo um comportamento diferente, *Betaproteobacteria* alcançou valores médios em torno de 12% e *Deltaproteobacteria* apresentou um aumento gradativo atingindo cerca de 10% ao final do processo. Na vermicompostagem, a *Alphaproteobacteria*

apresentou abundância relativa em torno de 45% no início do processo, havendo uma redução considerável até o final do período quando foram obtidos valores em torno de 15% (SRIVASTAVA *et al.*, 2021). *Deltaproteobacteria* não diferiu do comportamento geral, porém *Gammaproteobacteria* apresentou valor inferior à dos demais estudos, em torno de 4% e *Betaproteobacteria* não foi observada.

Na decomposição da serrapilheira, *Proteobacteria* é sempre o taxa mais abundante, o que sugere que eles são generalistas e decompositores de polissacarídeos (BURESOVA *et al.*, 2019). *Alphaproteobacteria* e *Betaproteobacteria* possuem uma grande variedade de genes de degradação de lignocelulose (PANDIT *et al.*, 2016). *Alphaproteobacteria* e *Betaproteobacteria* são as principais classes envolvidas em diferentes tipos de decomposição de serrapilheira (SCHNEIDER *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2019). Membros do filo Proteobacteria são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico (BRANDÓN *et al.*, 2019), além de membros da família *Enterobacteriaceae* e de certas estirpes do gênero *Pseudomonas* que são diazotróficos associados (CARVALHO *et al.*, 2014).

O filo *Actinobacteria* não apresentou variações significativas ($p < 0,05$) ao longo da gongocompostagem (Tabela 4) e foi o segundo filo com maior número de sequências com abundância relativa de 24,6% (Figura 15). Diferentemente da gongocompostagem, na compostagem convencional é comum observar que as abundâncias de *Actinobacteria* sejam mais baixas tanto nas fases mesofílica quanto termofílica (LIU *et al.*, 2018; WEI *et al.*, 2018; ZHONG *et al.*, 2018; CHANG *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020). No entanto, em alguns estudos as abundâncias relativas de *Actinobacteria* foram semelhantes à gongocompostagem, como observado por Xu *et al.* (2021), representando 24,5% da comunidade microbiana na fase mesofílica da compostagem de 85% de resíduos de cozinha combinados com 15% de resíduos de jardim.

Em processos de vermicompostagem de resíduos vegetais e animais as abundâncias relativas de *Actinobacteria* também foram menores e variaram, aproximadamente, de 3-16% (BRANDÓN *et al.*, 2019; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2020). Entretanto, de forma semelhante aos resultados observados na gongocompostagem, na vermicompostagem de resíduos sólidos urbanos usando a minhoca *Eisenia fetida*, *Actinobacteria* foi o segundo maior filo com abundâncias relativas de 26,57%, 24,81% e 24,33%, no início, 42 dias e aos 84 dias, respectivamente (SRIVASTAVA *et al.*, 2021).

A presença do filo *Actinobacteria* em diferentes estádios de decomposição da serrapilheira variou de 8-18%, aproximadamente (BONANOMI *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019; HABTEWOLD *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020; BURESOVA *et al.*, 2021). No entanto, na serrapilheira de floresta de pinheiros, uma abundância relativa de 54% foi observada por Buresova *et al.* (2021) e na serrapilheira de *Sassafras tzumu*, cuja abundância foi de aproximadamente 21% (WANG *et al.*, 2020). Segundo Buresova *et al.* (2019), o filo bacteriano *Actinobacteria* está representado por decompositores selecionados que dominam em estágios caracterizados por alta proporção de matéria orgânica recalcitrante, como é observado na floresta de pinheiros. Zhao *et al.* (2016) concluíram que a inoculação do filo *Actinobacteria* poderia efetivamente aumentar a maturidade e estabilidade do composto durante a compostagem de esterco de galinha por diferentes métodos de inoculação, acelerando distintamente a degradação da matéria orgânica, especialmente celulose.

As sequências atribuídas ao filo *Bacteroidetes* representam 7,3% do total, mas não se distribuem igualmente ao longo do processo, reduzindo a metade ao longo do período (Figura 15; Tabela 4). Ao contrário, os processos de compostagem e vermicompostagem parecem ser mais dependentes da população de *Bacteroidetes*, correspondendo a um quarto das sequências, conforme pode ser estimado em diversos estudos (ZHONG *et al.*, 2018; WEI *et al.*, 2018; BRANDÓN *et al.*, 2019; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019; SUN *et al.*, 2019; CHANG *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021). No entanto, os resultados de uma compostagem de lodo de

esgoto e de uma vermicompostagem de resíduos sólidos urbanos mostraram abundâncias relativas de *Bacteroidetes* semelhantes aos resultados descritos para a gongocompostagem (LI *et al.*, 2020; SRIVASTAVA *et al.*, 2021). Além disso, durante a fase termofílica de um processo de compostagem convencional, as bactérias do filo *Bacteroidetes* tendem a representar uma pequena parte da comunidade bacteriana (LIU *et al.*, 2018; WEI *et al.*, 2018; ZHONG *et al.*, 2018; CHANG *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021).

Os dados da composição da comunidade microbiana do solo e da decomposição de serrapilheira obtidos em diferentes estudos revelam também uma baixa concentração de *Bacteroidetes*, variando em torno de 1% a 15% (BONANOMI *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019; HABTEWOLD *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020; BURESOVA *et al.*, 2021). Buresova *et al.* (2021) compararam as taxas de decomposição entre solos sob uma floresta de *Picea abies* L. Karst. e uma floresta de *Fagus sylvatica* L., onde encontraram uma maior abundância relativa de *Bacteroidetes*, *Firmicutes* e *Proteobacteria* relacionadas à esta última, cuja serrapilheira é menos recalcitrante.

Em outro estudo, dez espécies de plantas selecionadas de ecossistemas mediterrâneos e temperados mostraram diferenças entre a abundância relativa de *Bacteroidetes* em uma espécie de grama, onde o filo representou cerca de um terço da comunidade bacteriana (BONANOMI *et al.*, 2019). Esses autores sugeriram que a abundância de *Bacteroidetes* estava diretamente associada ao teor de celulose, mas negativamente ao teor de C lábil e à fração de C carboxílica. *Actinobacteria*, *Bacteroidetes* e, especialmente, *Firmicutes* tornaram-se mais abundantes nos estágios intermediários e tardios de decomposição (BONANOMI *et al.*, 2019).

O filo *Planctomycetes* representou 6% do total de sequências e sua abundância relativa elevou-se significativamente ($p < 0,05$) (Tabela 4). Em relação aos tempos de gongocompostagem, o filo correspondeu a 3% do total da comunidade aos 30 dias e 6,9% ao final do processo, aos 180 dias (Figura 15). O filo *Acidobacteria*, com abundância relativa total de 3,9%, seguiu o mesmo comportamento do filo *Planctomycetes*, com crescimento significativo ($p < 0,05$) à medida em que a gongocompostagem avançava, variando de 2,1% aos 30 dias de gongocompostagem para 5,9% ao final do processo, aos 180 dias (Figura 15). Li *et al.* (2020) relataram que *Planctomycetes* é considerado um filo decompositor da matéria orgânica que exhibe crescimento lento e sua presença, bem como do filo *Acidobacteria*, está associada ao valor de pH mais baixo encontrado no vermicomposto de esterco bovino, cujo valor foi semelhante ao resultado obtido neste trabalho (Tabela 1). Já no vermicomposto de resíduos de jardim, Li *et al.* (2020) observaram o valor de pH 8,5 e menores abundâncias destes *phyla*. Antunes *et al.* (2019) verificaram decréscimos nos valores de pH de gongocomposto obtidos aos 90, 120 e 180 dias (8,3; 7,7; 7,4, respectivamente), corroborando assim com as informações obtidas sobre a ascensão significativa da abundância relativa de *Planctomycetes* e *Acidobacteria*. Em processos de compostagem tradicional, o filo *Acidobacteria* apresentou maiores abundâncias relativas na fase de maturação do composto (SUN *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2019). Liu *et al.* (2018) observaram que a abundância relativa de *Acidobacteria* se elevou à medida em que houve a degradação da lignocelulose, indicando que o conteúdo de lignocelulose e a variação do conteúdo de húmus possuem correlação direta com a abundância deste filo bacteriano.

O filo *Candidatus Saccharibacteria* não apresentou diferenças significativas em sua abundância relativa, a qual foi de 1,7% no processo de gongocompostagem (Figura 15 e Tabela 4). Nos processos de decomposição, seja em compostagem ou na serrapilheira, este filo também apresentou baixas abundâncias relativas, cujos valores foram de, aproximadamente, 2,6 e 1,5%, respectivamente (CHANG *et al.*, 2020; BURESOVA *et al.*, 2021) e menores que 1% em vermicompostagem (LIU *et al.*, 2020). *Candidatus Saccharibacteria* está intimamente associado à degradação do amido ou açúcar (ZHANG *et al.*, 2020).

O filo *Chloroflexi* apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) de 1% aos 30 dias para 1,8% ao final da gongocompostagem (Tabela 4 e Figura 15). Na vermicompostagem de resíduos de jardim *versus* esterco bovino, Li *et al.* (2020) observaram que o filo *Chloroflexi* exibiu maior abundância relativa (10% aproximadamente) tanto na fase inicial quanto na fase final com a utilização do esterco bovino, em relação às fases inicial e final da vermicompostagem dos resíduos de jardim (abundância de aproximadamente 3%). Srivastava *et al.* (2021) ao trabalharem com resíduos sólidos urbanos misturados com esterco bovino (3:2 v / v), também verificaram elevação deste filo, que foi inicialmente de 6,76 para 12,17% no final do processo. Tais informações sugerem que o filo *Chloroflexi* pode estar associado à matéria-prima utilizada nos processos de estabilização da matéria orgânica e de acordo com Liu *et al.* (2018) sua dominância possivelmente está associada à formação de um ambiente de fermentação anaeróbia. Portanto, as baixas abundâncias na gongocompostagem podem ser reflexo da não utilização de esterco bovino e ausência de um ambiente anaeróbio fermentativo.

O filo *Verrucomicrobia* decresceu significativamente ($p < 0,05$) de 2,5% aos 30 dias para 0,6% ao final da gongocompostagem (Tabela 4 e Figura 15). Este filo não foi encontrado em processos de compostagem, no entanto, a abundância relativa observada na vermicompostagem é baixa (LI *et al.*, 2020; SRIVASTAVA *et al.*, 2021), sendo comparável aos nossos resultados. Brandón *et al.* (2019) observaram que a partir dos 28 dias ocorreu elevação da abundância relativa de *Verrucomicrobia* até o final da vermicompostagem, aos 91 dias (aproximadamente 6-7%). Já em serrapilheira de (*Fagus sylvatica* L.) monitorada por 29 meses, Buresova *et al.* (2021) registraram abundância relativa de 3% deste filo.

As relações entre as variáveis de tempo de gongocompostagem e a distribuição dos *phyla* podem ser visualizadas a partir da análise de componentes principais (ACP). A variabilidade dos dados foi explicada em 61,8% no componente principal 1 (CP1) e 17,7% no componente principal 2 (CP2), totalizando 79,5% da variabilidade total dos dados (Figura 16). Estes resultados estão de acordo com Rencher e Christensen (2012), os quais sugerem que o número de componentes principais utilizados na interpretação dos resultados deve explicar pelo menos 70% da variância total dos dados originais. Observa-se que há uma sucessão da comunidade microbiana durante o processo de gongocompostagem, onde aos 30 dias há maior influência dos *phyla Verrucomicrobia* de acordo com o CP1 e *Candidatus saccharibacteria* e *Actinobacteria* no CP2. Aos 60 dias ocorreu maior correlação com *Bacteroidetes*, *Gammaproteobacteria* e *Firmicutes* (CP1) e *Deltaproteobacteria* (CP2). Aos 90 dias é possível observar a existência de uma transição entre o início e o final da gongocompostagem, uma vez que não há a ocorrência de um filo dominante associado a esse período, ao mesmo tempo que se observa os maiores valores de diversidade (Figura 12-B e 12-C). Já aos 120 dias, observando-se o CP1, há uma maior correspondência com *Alphaproteobacteria*, *Chloroflexi* e *Planctomycetes*. Aos 150 e 180 dias ocorreram maiores influências do filo *Acidobacteria* e das bactérias sem classificação taxonômica, destacando-se ainda a maior correlação da classe *Betaproteobacteria* aos 180 dias de acordo com o CP2.

Durante a fase ativa da vermicompostagem foram observadas taxas rápidas de *turnover* de carbono associadas às bactérias copiotróficas especializadas em substratos abundantes e solúveis, tais como as pertencentes às classes *Gammaproteobacteria* e *Bacteroidia* (BRANDÓN *et al.*, 2019). Estes dados são semelhantes aos observados no processo de gongocompostagem para o período de 30-60 dias, sugerindo que há uma fase ativa associada à intensa atividade dos gongolos. Nas fases finais da vermicompostagem há o aparecimento de bactérias oligotróficas representadas pelos *phyla Acidobacteria* e *Planctomycetes*, havendo evidências do aumento da decomposição da lignina neste período (SAUVADET *et al.*, 2019). Durante a gongocompostagem observa-se a presença de *Planctomycetes* a partir dos 120 dias e a partir dos 150 dias de *Acidobacteria*.

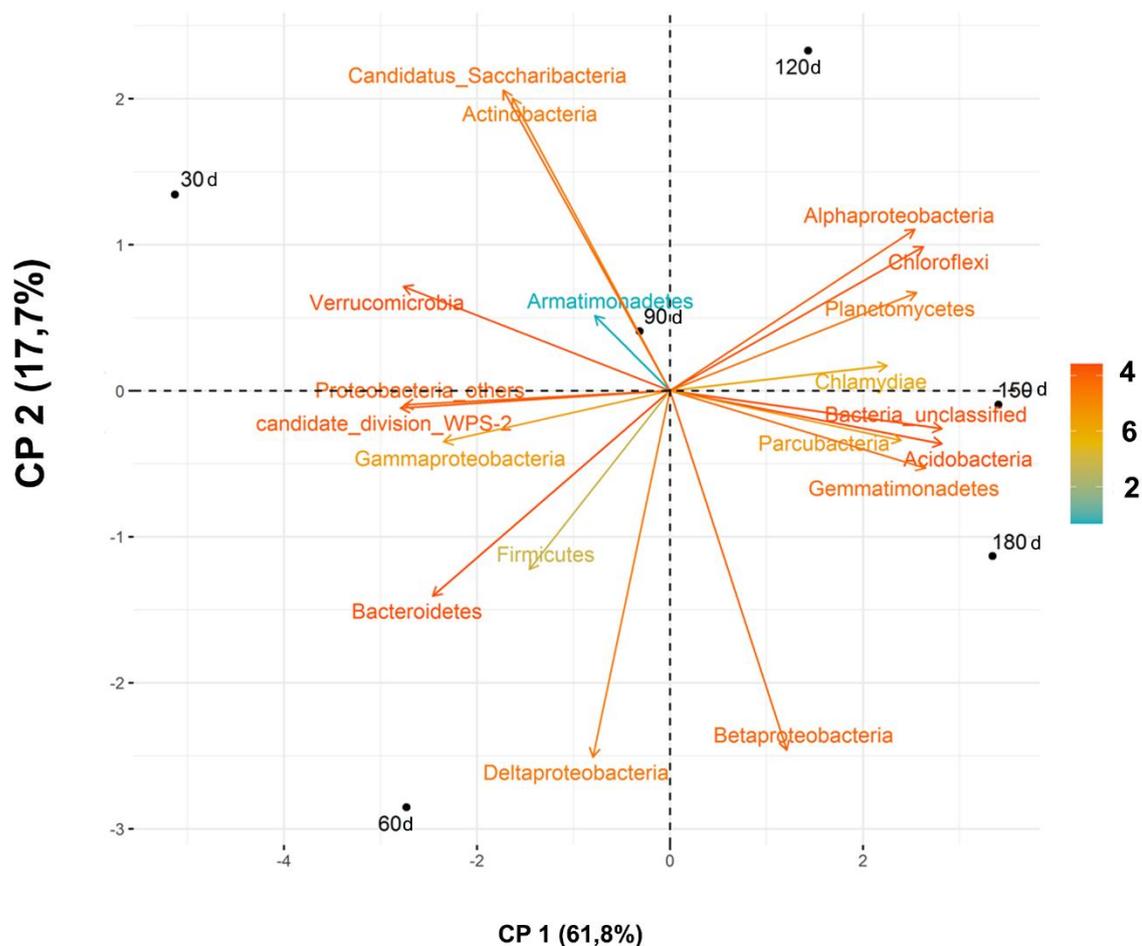


Figura 16. Análise de componentes principais e os grupos bacterianos associados aos diferentes tempos de gongocompostagem (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias).

A Figura 17 apresenta o *heatmap* baseado nos 33 *taxa* mais abundantes que compreendeu 176.978 sequências - 70% das sequências totais obtidas. O *heatmap* pode ser dividido em quatro grupos principais. O grupo A consiste de 11 *taxa* (70.109 sequências) que estão distribuídos, principalmente, ao final da gongocompostagem (150 e 180 dias), enquanto o grupo D apresenta 13 *taxa* (60.687 sequências) associadas ao início do processo (30 e 60 dias). Os dois grupos menores, B e C são compostos por quatro e cinco *taxa*, respectivamente. O grupo C com 25.835 sequências caracteriza os *taxa* relacionados aos 90 e 120 dias e o grupo B (20.347 sequências) é composto por *taxa* que estão distribuídos irregularmente ao longo do processo, pertencente aos *phyla* *Proteobacteria* e *Bacteroidetes*.

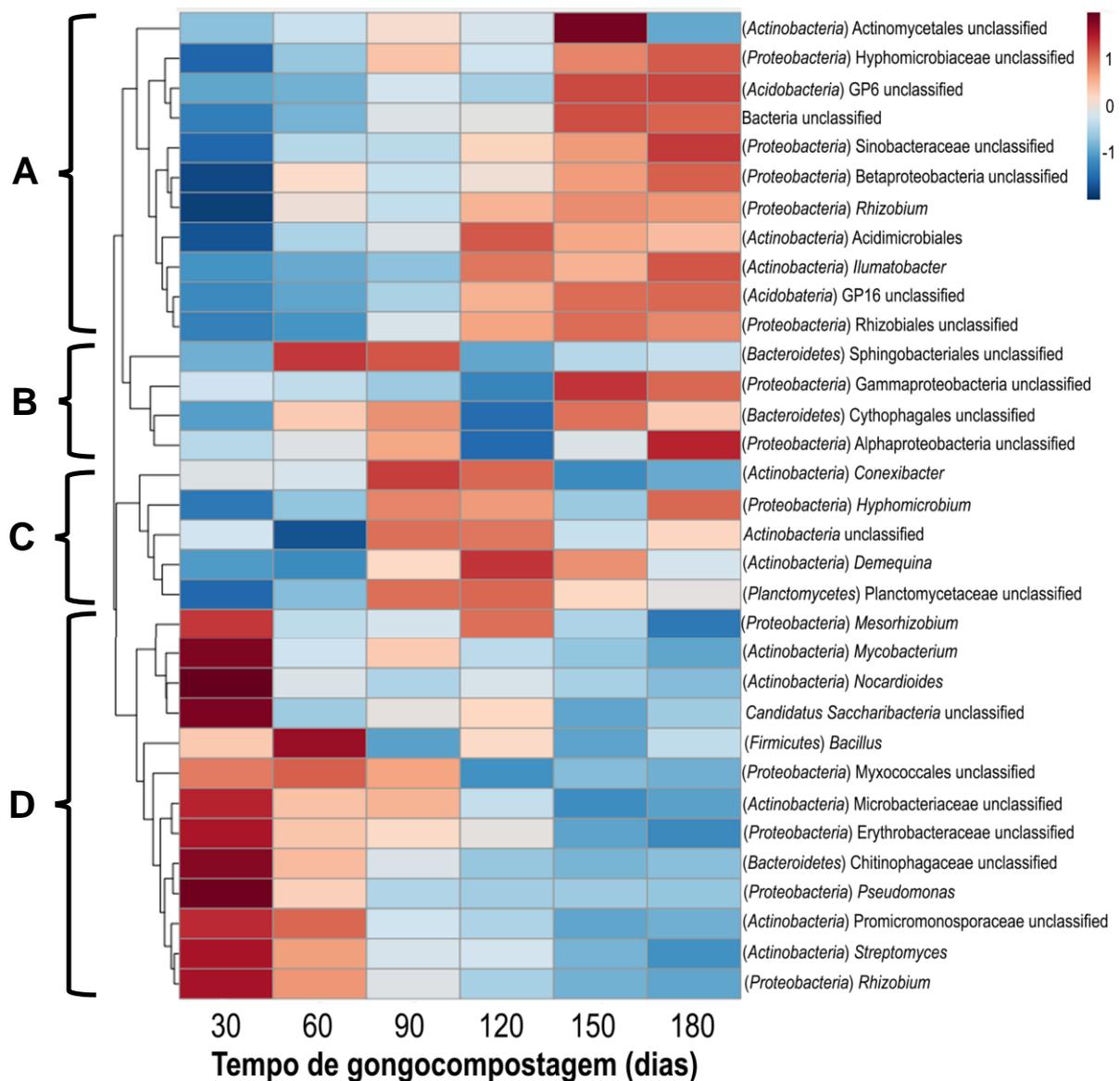


Figura 17. A abundância relativa da comunidade bacteriana durante o processo de gongocompostagem com base na análise da sequência de 16S rDNA. O mapa de calor da abundância de espécies se apresenta de seguinte maneira: grupos taxonômicos estão agrupados no eixo horizontal e as amostras representadas pelos 33 *taxa* mais abundantes seguem agrupadas no eixo vertical. Cores diferentes significam que a abundância relativa exibiu variações entre os tempos de gongocompostagem (as cores vermelhas representam abundâncias mais elevadas).

O filo *Proteobacteria* costuma ser o mais abundante nos processos de compostagem e decomposição da serrapilheira (BURESOVA *et al.*, 2019). Na gongocompostagem as classes *Gammaproteobacteria* e *Deltaproteobacteria* aparecem no início do processo (grupo D), sendo representadas pelo gênero *Pseudomonas* e pela ordem *Myxococcales*, respectivamente (Figura 17). A classe *Betaproteobacteria* por sua vez apresentou maior predomínio entre os tempos finais de 150 e 180 dias. A classe *Alphaproteobacteria* predomina ao final do processo, representando cerca de 19,6% das sequências, onde estão incluídos o gênero *Bradyrhizobium*,

a família *Hyphomicrobiaceae* e a ordem *Rhizobiales* (Quadro 1). *Rhizobiales* é o taxa que apresenta a maior abundância, 16,6 % do total. Além desses, encontra-se também a classe *Alphaproteobacteria* no início do processo (4,5%), representada pelos gêneros *Mesorhizobium*, *Rhizobium* e pela família *Erythrobacteraceae*, e também no grupo C (90-120 dias), representado pelo gênero *Hyphomicrobium*.

Quadro 1. Composição dos taxa pertencentes aos *phyla* *Actinobacteria* e *Proteobacteria* ocorrentes em cada período da gongocompostagem.

Filo	Tempo de gongocompostagem		
	30 e 60 dias	90 e 120 dias	150 e 180 dias
<i>Actinobacteria</i>	<i>Streptomyces</i> <i>Mycobacterium</i> <i>Microbacteriaceae_unclassified</i> <i>Promicromonosporaceae_unclassified</i> <i>Nocardioides</i>	<i>Conexibacter</i> <i>Actinobacteria_unclassified</i> <i>Demequina</i>	<i>Actinomycetales_unclassified</i> <i>Acidimicrobiales_unclassified</i> <i>Ilumatobacter</i>
<i>Proteobacteria</i>	<i>Myxococcales_unclassified</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Erythrobacteraceae_unclassified</i> <i>Rhizobium</i>	<i>Hyphomicrobium</i>	<i>Rhizobiales_unclassified</i> <i>Betaproteobacteria_unclassified</i> <i>Alphaproteobacteria_unclassified</i> <i>Hyphomicrobiaceae_unclassified</i> <i>Sinobacteraceae_unclassified</i> <i>Bradyrhizobium</i>

No estudo de vermicompostagem realizado por Brandon *et al.* (2019) foram encontrados 16,25% de taxa capazes de fixar o nitrogênio e conferir supressão de doenças às plantas. Esses autores fizeram a predição da metagenômica usando o programa PICRUSt (*Phylogenetic Investigation of Communities by Reconstruction of Unobserved States*) e obtiveram como resultado a aumento gradativo dos genes da fixação biológica de nitrogênio que alcançaram o nível mais alto no último dia da observação. Um padrão diferente foi observado por Srivastava *et al.* (2021), onde a ordem *Rhizobiales* foi muito abundante no início da vermicompostagem, sendo reduzida gradativamente e substituída por sequências do filo Firmicutes ao final do processo. Na vermicompostagem usando resíduos da indústria cervejeira, o enriquecimento do microbioma com *Paenibacillaceae* e *Enterobacteriaceae*, ambas da classe *Gammaproteobacteria*, *Chitinophagaceae* (*Bacteroidetes*) e *Comamonadaceae* (*Betaproteobacteria*) resultou na predição de uma alta abundância de genes envolvidos com a degradação da celulose e a fixação do nitrogênio atmosférico, além de uma alta taxa de utilização de amônia e nitrato (BUDRONI *et al.*, 2020).

A evolução da ordem *Rhizobiales* resultou em uma abundância de aproximadamente 5% ao final de um processo em escala real de compostagem de lodo de esgoto (MAHÓN *et al.*, 2020). A ordem *Rhizobiales* contém espécies fixadoras de nitrogênio que podem desempenhar um papel importante no ciclo do N, embora algumas espécies podemos ser patogênicas a humanos e plantas (GALITSKAYA *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2019).

Vale ressaltar que os genes de fixação não estão presentes exclusivamente no filo *Proteobacteria*. O sequenciamento dos genes *nifH* em amostras obtidas de compostagem de esterco de granja leiteira com palha de milho e adição de biochar mostrou que a comunidade diazotrófica dominante era caracterizada pelos filos *Proteobacteria*, *Actinobacteria* e *Firmicutes* (WU *et al.*, 2020). Observa-se em vários estudos de compostagem uma presença significativa de bactérias diazotróficas o que sugere a importância da atividade de fixação biológica de nitrogênio. A qualidade dos compostos e o processo de compostagem tem sido relatada como dependente da transformação do nitrogênio, incluindo a fixação biológica do nitrogênio, além dos processos de amonificação, nitrificação e denitrificação realizados por

microrganismos específicos (LEVY-BOOTH; PRESCOTT; GRAYSTON, 2014; YIN *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2020).

O filo *Actinobacteria* foi representado por três ordens, das quais 78,7% foi constituída por *Actinomycetales*, 14,5% por *Acidimicrobiales* e 6,8% por *Solirubrobacterales*. É possível notar que a ordem *Actinomycetales* foi prevalente nos primeiros 60 dias da gongocompostagem (gêneros *Mycobacterium*, *Nocardioides* e *Streptomyces*; famílias *Microbacteraceae* e *Promicromonosporaceae*). No início do processo encontra-se ainda a ordem *Sphingobacteriales* (*Actinobacteria*), constituída pela família *Chitinophagaceae*. No período entre 90-120 dias encontram-se o gênero *Demequina*, o qual pertence à ordem *Actinomycetales*, além de sequências não identificadas de *Actinobacteria*. Ao final do período observa-se as ordens *Acidimicrobiales*, *Actinomycetales* e o gênero *Ilumatobacter*.

A presença dos gêneros *Streptomyces* e *Mycobacterium* (4% e 1,9% do total de sequências, respectivamente) no período de 30 a 60 dias são exemplos da funcionalidade da microbiota bacteriana presente na gongocompostagem (Figura 17). O gênero *Streptomyces*, pertencente ao filo *Actinobacteria*, possui capacidade de degradar a lignina, além de uma variedade de substratos recalcitrantes, incluindo biopolímeros, gorduras e compostos aromáticos (VENTORINO *et al.*, 2016; BONANOMI *et al.*, 2019). Wei *et al.* (2019) ao inocularem bactérias com características de alta atividade enzimática celulósica do filo *Actinobacteria* (cepas dos gêneros *Streptomyces*, *Mycobacterium*), verificaram que houve a aceleração da degradação da celulose, hemicelulose e lignina na compostagem de palha de trigo, palha de milho, palha de arroz e palha de soja, representando um aumento de 34,3% na degradação da lignocelulose e 8,3% na atividade enzimática da pilha de compostagem. Awasthi *et al.* (2017) identificaram a presença gêneros abundantes de *Actinobacteria* na compostagem de resíduos da indústria de gelatina combinado com resíduos sólidos urbanos e serragem, tais como *Nocardioides* e *Streptomyces*. Os autores relatam que essas bactérias gram-positivas exibem proficiência robusta como antagonistas ao crescimento de muitos microrganismos patogênicos de plantas, destacando também ser crível que os produtos finais do seu estudo de compostagem possam ser mais aplicáveis à agricultura orgânica. Em nosso estudo observa-se que o gênero *Nocardioides* apresenta abundância elevada aos 30 dias, a qual decai posteriormente, mantendo-se estável com baixas variações até o final do processo (Figuras 14 e 15). Já para gênero *Demequina*, as maiores frequências ocorreram entre os 120-150 dias, representando 46,5% do seu total de sequências nesse período (Figura 17). De acordo com Peruzzi *et al.* (2017), as bactérias do gênero *Demequina* possuem enzimas que estão envolvidas na degradação do amido em glicose e dextrina e a sua abundância está associada a maiores conteúdos de resíduos vegetais. Wei *et al.* (2018) destacam que a dominância deste gênero sugere a presença de uma comunidade seleta categorizada por características celulolíticas típicas e pela capacidade de ataque aos substratos insolúveis formados ao final do processo de compostagem. Essas informações corroboram com os resultados deste trabalho, confirmando que a diminuição após 120 dias deste gênero sugere que a maturidade do gongocomposto tende a ser alcançada após este período.

A maior abundância de *Conexibacter* ocorreu entre os 90 e 120 dias, com 47,5% do seu total de sequências, bem como de *Actinobacteria* sem classificação, que exibiu 41% (Figura 17). *Conexibacter* é um gênero de bactérias benéficas que podem ser encontradas em todas as amostras de solo. As bactérias deste gênero são estritamente aeróbicas e podem reduzir o nitrato a nitrito, sugerindo que elas atuam no processo de nitrificação, particularmente em estados de limitação de oxigênio. Além do seu papel no ciclo do nitrogênio do solo, as bactérias do gênero *Conexibacter* também foram caracterizadas como sacarolíticas, ou seja, elas recebem seu carbono e energia principalmente da hidrólise de carboidratos (JIEN *et al.*, 2021).

Wu *et al.* (2020) observaram maiores proporções de *Streptomyces* no composto constituído por caule de milho, esterco bovino e 10% de biochar de arroz, indicando que a

possibilidade de maior contribuição para a fixação de nitrogênio (WU *et al.*, 2020). *Streptomyces* pertencente ao filo *Actinobacteria*, foi relatado como bactéria fixadora de nitrogênio de vida livre (DAHAL *et al.*, 2017). *Streptomyces* foi o gênero mais abundante após 180 dias de decomposição da serrapilheira de diversas espécies vegetais e não foi encontrado na serrapilheira de espécies fixadoras de nitrogênio (*Coronilla emerus* (L.) e *Robinia pseudoacacia* (L.)), independentemente de seu conteúdo nas frações aromáticas (BONANOMI *et al.*, 2019). O aparecimento de *Streptomyces* no início da gongocompostagem pode estar ligado a três fatores: o primeiro seria sobre a idade das folhas de pata de vaca (*Bauhinia sp.*), coletadas sob o solo após o período de senescência; o segundo pelo fato do gênero *Bauhinia* não ser uma leguminosa fixadora de N, corroborando com os resultados destacados pelos autores supracitados e o terceiro seria em decorrência das bactérias que habitam o intestino dos diplópodes, sendo as do filo *Actinobacteria* o segundo filo mais abundante, no qual estão incluídas as famílias: *Promicromonosporaceae*, *Cellulomonadaceae* e *Streptomycetaceae* (BYZOV, 2006), prevalecendo essa última, que provavelmente foi inoculada aos coprólitos que constituíram a análise temporal da gongocompostagem.

A ordem *Cytophagales* apresenta uma distribuição irregular, já a ordem *Sphingobacteriales* apresenta um maior predomínio entre 60-90 dias. Em outro estudo, dez espécies de plantas selecionadas de ecossistemas mediterrâneos e temperados mostraram diferenças entre a abundância relativa de *Bacteroidetes* e em uma espécie de grama, onde o filo representou cerca de um terço da comunidade bacteriana (BONANOMI *et al.*, 2019). Esses autores sugeriram que a abundância de *Bacteroidetes* estava diretamente associada ao teor de celulose, mas negativamente ao teor de C lábil e à fração de C carboxílica. *Actinobacteria*, *Bacteroidetes* e especialmente *Firmicutes* tornaram-se mais abundantes nos estágios intermediários e tardios de decomposição. As ordens *Cytophagales* e *Sphingobacteriales*, também seguem um padrão semelhante durante o processo de gongocompostagem (Figura 17).

Considerando que a mistura dos resíduos utilizados para o processo de gongocompostagem resultam em uma relação C/N média de 63, presume-se que após a ação inicial de fragmentação conferida pela alimentação dos gongolos, a maior superfície específica criada nos diferentes resíduos utilizados torna-se alvo das atividades microbianas com sucessões pronunciadas para alguns entre os diversos grupos taxonômicos identificados durante os 180 dias da gongocompostagem.

4.6 CONCLUSÕES

A gongocompostagem apresenta uma alta diversidade, cerca de 5,5 pelo índice de Shannon.

Proteobacteria e *Actinobacteria* representam em torno de 70% do total de sequências.

A ordem *Actinomycetales* que predomina no início do processo é uma ordem de *Actinobacteria*.

Alphaproteobacteria e *Rhizobiales* são a classe e a ordem, respectivamente, mais abundantes de *Proteobacteria* que aumentam gradativamente à medida que o gongocomposto se torna mais estável e estão relacionadas à fixação do nitrogênio atmosférico.

Bactérias não classificadas predominam no final do processo, totalizando cerca de 55% desse grupo.

A estrutura e sucessão do microbioma ao longo da gongocompostagem é similar ao que é evidenciado nas pesquisas que avaliam a decomposição da serrapilheira.

5 CAPÍTULO III

SUBSTRATOS ORGÂNICOS À BASE DE GONGOCOMPOSTO COMBINADOS COM DIFERENTES FONTES DE RESÍDUOS VEGETAIS DESTINADOS À PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJÁ AMARELO

5.1 RESUMO

A utilização de substratos orgânicos sustentáveis de qualidade reconhecida é imprescindível na produção de mudas de espécies frutíferas. O presente trabalho consistiu em formular diferentes substratos orgânicos sustentáveis à base de gongocomposto combinado com diferentes proporções de resíduos orgânicos localmente disponíveis, como a fibra de coco (*Cocos nucifera*) em pó e aparas de *Gliricidia sepium* e de *Pennisetum purpureum*. Os substratos orgânicos utilizados na produção de mudas de *Passiflora edulis* foram: S1- gongocomposto; S2- substrato comercial, S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; (S5) 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; (S6) 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco. Aos 56 dias após a semeadura, avaliou-se os parâmetros fitotécnicos massa seca da parte aérea massa seca de raízes, altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, volume de raízes, área foliar, vigor de muda e estabilidade do torrão. Os teores de N, P, K, Ca e Mg acumulados na parte aérea das mudas foram determinados após este período. Os substratos orgânicos que proporcionaram a obtenção de mudas com maiores valores de biomassa e área foliar, e maiores vigor de muda e estabilidade do torrão, foram S1 > S6 > S5. Os demais substratos (S2, S3 e S4) apresentaram mudas com parâmetros morfológicos semelhantes entre si. Além disso, houve maior acúmulo de P, K Ca e Mg na parte aérea das mudas desenvolvidas nos substratos S1 > S6 > S5. Os substratos S6 e S5 representam novas opções de substratos sustentáveis, sendo eficazes na produção de mudas de maracujá amarelo com excelentes taxas de crescimento vegetativo.

Palavras-chave: Gongocompostagem. Resíduos vegetais. Formulação de substratos. Mudas de qualidade. Fruticultura.

5.2 ABSTRACT

The use of sustainable organic substrates of recognized quality is essential in the production of seedlings of fruit species. In view of the above, the present work aimed of formulating different sustainable organic substrates based on millicompost combined with different proportions of locally available organic waste, such as coconut fiber (*Cocos nucifera*) powder, gliricidia (*Gliricidia sepium*) and elephant grass shavings (*Pennisetum purpureum*) for the production of *Passiflora edulis* seedlings. The organic substrates used were as follows: S1- millicompost; S2- commercial substrate and substrates formulated based on millicompost: S3- 25% millicompost + 25% gliricidia + 25% elephant grass + 25% coconut fiber; S4- 50% millicompost+ 50% elephant grass; (S5) 50% millicompost+ 50% gliricidia; (S6) 50% millicompost+ 50% coconut fiber. At 56 days after sowing, the following morphological parameters were evaluated: shoot dry mass (SDM); root dry mass (RDM); plant height (PH); number of leaves (NL); stalk diameter (SD); root volume (RV); leaf area in cm² (LA); seedling vigor (SV) and clod stability (CS). The nutrient contents (N, P, K, Ca and Mg) accumulated in the shoot dry mass of the seedlings were determined after this period. The organic substrates that provided seedlings with significantly higher parameters ($P < 0.05$) of SDM, RDM, PH, NL, SD, RV, LA, SV and CS were as follows: S1 > S6 > S5. The other substrates (S2, S3 and S4) presented seedlings with morphological parameters similar to each other. In addition, there was a greater accumulation of P, K Ca and Mg ($P < 0.05$) in the shoot dry mass of the seedlings developed on the substrates S1 > S6 > S5. The substrates S6 and S5 represent two new options of sustainable substrates, being effective in the production of yellow passion fruit seedlings with excellent vegetative growth rates.

Keywords: Millicomposting. Organic wastes. Formulation of substrates. Quality seedlings. Fruticulture.

5.3 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca na fruticultura com uma produção comercial de inúmeras espécies, estando o maracujá amarelo-azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) entre as mais importantes delas. O gênero *Passiflora* reúne cerca de 400 espécies, das quais 120, até então catalogadas, são nativas do Brasil. Ademais, o Brasil é líder mundial na produção e consumo de maracujá, favorecido pelas condições climáticas e hídricas que contribuem para o desenvolvimento desta cultura (BORGES; TONON; SILVA, 2019).

Segundo o Censo Agropecuário do ano de 2018, foram colhidas no Brasil 602.651 toneladas de maracujá em 42.731 hectares, estimando assim, um rendimento médio por hectare de 14,10 toneladas. O valor da produção atingiu 1.014.599 milhões de reais, destacando-se a região Nordeste com 58,37%, seguida pelas regiões Sudeste (18,10%), Sul (11%), Norte (8,55%) e Centro-Oeste (3,96%) (IBGE, 2018).

Para a obtenção de um estande de plantas uniforme é imprescindível a utilização de mudas de boa qualidade, uma vez que mudas com qualidade inferior comprometem o desempenho final da planta, levando a danos na produção e retardando o ciclo produtivo (COSTA *et al.*, 2018). Considerando que a produção de mudas apresenta dois critérios essenciais: o custo de aquisição e a disponibilidade do material destinado à produção de substratos (MENEGHELLI *et al.*, 2017), a qualidade do substrato é de grande importância. Este deve reunir propriedades físicas, químicas e biológicas adequadas, de modo a fornecer os nutrientes necessários para o pleno desenvolvimento da planta (ANTUNES; AZEVEDO; CORREIA, 2019a; KATO *et al.*, 2018).

A população do planeta está em crescimento e com isso também crescem as práticas da agricultura intensiva para que se produzam mais alimentos. Isso também promove o rápido aumento no volume e diversidade de resíduos oriundos da biomassa agrícola, que em escala global representam 140 bilhões de toneladas a cada ano (SINGHANIA; PATEL; PANDEY, 2017). Portanto, promover a utilização dos resíduos agrícolas disponíveis nas fazendas como substratos para a produção de mudas representa uma fonte economicamente viável de nutrientes, reduzindo os custos gerados pela aquisição de substratos ou matérias-primas para sua formulação, além de minimizar o impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado (MENEGHELLI *et al.*, 2017).

O bom gerenciamento da compostagem combinado com o uso de resíduos adequados é capaz de produzir compostos com propriedades apropriadas para o uso como substrato renovável, promovendo o desenvolvimento adequado de mudas. Considerando que o principal objetivo comercial da atividade hortícola é a produção de mudas padronizadas e saudáveis, o substrato deve apresentar propriedades físicas, físico-químicas e químicas com baixa variabilidade (PASCUAL *et al.*, 2018).

Pensando no aprimoramento da ciclagem de nutrientes dentro das propriedades rurais, a gongocompostagem apresenta-se como uma alternativa multifuncional à agricultura familiar, seja ela de sistema convencional ou orgânico, onde os resíduos agrícolas podem ser transformados em compostos orgânicos de qualidade para serem utilizados como substrato na produção de mudas (ANTUNES *et al.*, 2020).

Diferente da compostagem clássica, a qual apresenta fases diferenciadas de temperatura (mesofílica e termofílica), a gongocompostagem consiste em um processo de compostagem sem variação térmica, baseada na atividade dos diplópodes - popularmente conhecidos como gongolos ou piolhos-de-cobra, que atuam de forma eficaz no processo de transformação dos resíduos vegetais em matéria orgânica estável. Isso é possível devido ao tipo de aparelho bucal destes animais, constituído por um par de mandíbulas e um par de maxilas, permitindo que eles

tritarem os resíduos vegetais (serrapilheira) de relações Carbono/Nitrogênio (C/N) superiores a 35 em fragmentos menores (AQUINO; CORREIA, 2005), acelerando o processo de decomposição dos resíduos devido ao aumento da sua superfície de contato, além de proporcionar condições mais adequadas para a atuação de outros organismos da meso e microfauna, que contribuirão secundariamente ao processo.

O produto final da gongocompostagem é o húmus de gongolo (gongocomposto), um composto orgânico estável de relação C/N < 20, que apresenta qualidade para uso como substrato. Embora ele ainda seja pouco conhecido na comunidade científica e rural, os resultados das pesquisas demonstram que o gongocomposto proporciona a obtenção de mudas de excelente qualidade devido às suas características físicas e químicas adequadas ao desenvolvimento vegetal (ANTUNES *et al.*, 2018b; ANTUNES; AZEVEDO; CORREIA, 2019c).

É na agricultura familiar que são encontrados a maioria dos pomares, muitas vezes situados em pequenas áreas. Tal fato demanda a necessidade de pesquisas que possam beneficiar e favorecer o pequeno produtor. No decorrer dos anos, a cultura do maracujá tem se mostrado como alternativa de renda para os pequenos e médios produtores rurais, devido ao valor dos frutos comercializados, colhidos em um prazo relativamente curto quando comparado com outras fruteiras de produção mais tardia (SANTOS *et al.*, 2017).

Não foram encontradas em literatura pesquisas que relatem o uso do gongocomposto e quais são seus benefícios na produção de mudas de maracujá. Diante do exposto, o presente trabalho consistiu em (1) formular diferentes substratos orgânicos à base de gongocomposto combinado com diferentes proporções de resíduos orgânicos localmente disponíveis, tais como: a fibra de coco em pó, as podas de galhos e folhas de gliricídia e o capim picado, com o intuito de buscar a maximização do uso do gongocomposto na propriedade rural; (2) caracterizar as propriedades físicas, físico-químicas e químicas e (3) avaliar a eficiência destes substratos formulados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Produção do gongocomposto

O gongocomposto foi produzido em uma gongocomposteira localizada em ambiente aberto próximo a uma pequena mata de capoeira (Figura 20), no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, Brasil. Os resíduos vegetais oriundos de jardins, tais como podas de árvores utilizadas em paisagismo urbano (*Ficus sp.*, *Khaya ivorensis* (A. Chev.) e *Syzygium cumini* (L.)) e aparas de grama que constituíram a gongocomposteira foram acumulados em uma pilha de aproximadamente 1,50 m de altura. Os gongolos (diplópodes) atuantes no processo de gongocompostagem (Figura 18) pertenciam às espécies *Trigoniulus corallinus* (Gervais, 1847), originário do Sudeste Asiático, facilmente encontrado em áreas antropizadas ricas em materiais orgânicos e com umidade, e *Rhinocricus padbergi* (Verhoeff, 1938), nativo da Mata Atlântica, conhecido como gongolo gigante. O gongocomposto foi obtido 120 dias após o início do processo de gongocompostagem, sendo retirado e peneirado em malha de 2 mm (Figura 18) a fim de torná-lo homogêneo para uso como substrato.



Figura 18. Esquema do processo de gongocompostagem e obtenção do gongocomposto.

5.4.2 Condições experimentais

O experimento com mudas de maracujá foi conduzido em casa de vegetação nas dependências da Embrapa Agrobiologia, localizada no município de Seropédica-RJ, no período de 27 de maio a 6 de julho de 2019. A altitude do local é de 33 m e o clima é classificado como tropical úmido (Aw), com precipitação anual média de 1213 mm concentradas no período de novembro a março e temperatura média anual de 24,5 °C (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2014).

Os substratos foram formulados a partir de fontes orgânicas renováveis: fibra de coco em pó adquirida comercialmente; folhas e hastes de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e capim

elefante (*Pennisetum purpureum*). Estes dois últimos resíduos foram processados em uma picadeira de modo a obter partículas de ± 2 cm de diâmetro e em seguida foram espalhados sobre uma lona, formando uma camada de 10 cm, onde permaneceram à sombra por 30 dias, sendo revirados a cada 10 dias para acelerar o processo de secagem. Os valores de pH, condutividade elétrica (CE), relação C/N e conteúdo de nutrientes dos resíduos estão contidos na Tabela 5.

Tabela 5. Relação C/N e teores dos macronutrientes presentes nos resíduos empregados na formulação de diferentes substratos com a adição do gongocomposto.

Resíduo orgânico	pH	CE (dS m ⁻¹)	Relação C/N	N	P	K	Ca	Mg
				----- (g kg ⁻¹) -----				
Capim	11,15	1,56	36,57	9,92	4,12	32,17	3,95	1,66
Fibra de coco	5,96	0,90	63,40	6,46	4,63	12,33	12,06	2,96
Gliricídia	9,20	1,04	30,15	13,44	1,88	18,65	12,53	2,88

Valores obtidos de acordo com a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017)

Os tratamentos consistiram em seis substratos orgânicos: S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco (Figura 19). As formulações foram feitas com base em partes por volume (v:v), as quais foram quantificadas e adicionadas em betoneira para melhor homogeneização das partículas e posterior uso.



Figura 19. Substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo. (S1) gongocomposto; (S2) Substrato comercial; (S3) 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; (S4) 50% de gongocomposto + 50% capim; (S5) 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; (S6) 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

5.4.3 Análises das propriedades físicas, físico-químicas e químicas dos substratos

As características físicas avaliadas nos substratos orgânicos foram as seguintes: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de retenção de água e densidade volumétrica (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Para caracterizar os substratos quanto às suas características físico-químicas, as análises de pH foram realizadas em solução de água destilada (5:1 v/v) e a condutividade elétrica foi determinada no mesmo extrato aquoso obtido para a medição do pH, de acordo com o método descrito por Brasil (2008). Quanto às propriedades químicas, foram encaminhadas amostras de cada substrato ao Laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia, para determinação dos teores totais e disponíveis de N, P, K, Ca e Mg.

Os teores totais de N, Ca, Mg, K e P foram avaliados por meio de digestão da amostra, conforme o método descrito por Teixeira *et al.* (2017). Os teores disponíveis de N, Ca, Mg, K e P foram avaliados por meios de extração. Para Ca e Mg utilizou-se solução extratora de KCl 1,0 M e para K e P utilizou-se solução extratora Mehlich 1, conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017). A extração do N foi realizada por meio de solução de KCl 1,0 M e a digestão foi realizada com adição de Liga de Devarda, conforme metodologia descrita por Liao (1981).

5.4.4 Avaliações morfológicas das mudas de maracujá

Os substratos, na quantidade de 500 mL, foram alocados em sacos de polietileno preto com dimensões de 10 x 20 cm, onde fez-se a semeadura do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.), utilizando duas sementes em cada recipiente. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos (substratos) e quatro repetições, cada qual constituído por oito mudas, totalizando 192 unidades experimentais (mudas).

Após a germinação, fez-se o desbaste deixando apenas uma plântula mais vigorosa por recipiente e aos 56 dias após a semeadura, avaliou-se os seguintes parâmetros fitotécnicos: massa seca da parte aérea (MSPA); massa seca de raízes (MSR); altura das plantas (AP), aferida com régua a partir do colo até ápice da planta (gema terminal); número de folhas (NF); diâmetro caulinar (DC), medido a 1 cm de altura do substrato, com o auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm; volume de raízes (VR), obtido através do deslocamento da coluna d'água contida em uma proveta graduada de 50 mL; área foliar (AF), obtida através do medidor de área foliar LICOR (LI-3000); vigor de muda (VM) e estabilidade do torrão (ET). A parte aérea e as raízes das plantas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e mantidas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por 72 h e posteriormente aferidas suas respectivas massas em balança de precisão (0,01 g).

Foram determinados os teores de macronutrientes totais (N, P, K Ca e Mg) contidos na parte aérea das plantas coletadas aos 56 dias após a semeadura, obtidos a partir da moagem das massas secas das plantas em moinho de facas Willey (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Para estabelecer as quantidades de cada nutriente acumulado na parte aérea das plantas, multiplicou-se o valor dos teores de cada nutriente (g kg^{-1}) pela massa seca da parte aérea da planta, obtendo-se os dados de acúmulo de macronutrientes em mg planta^{-1} .

O vigor das mudas (VM) é uma metodologia adaptada de Antunes *et al.* (2018), classificando como: Nota 1: ótimo vigor, número de folhas ≥ 7 , altura superior a 25 cm, pode apresentar folhas cotiledonares fotossinteticamente ativas, ausência visual de deficiência nutricional; Nota 2: vigor bom, número de folhas ≥ 6 , altura entre 20 e 25 cm e amarelecimento inicial e/ou ausência das folhas cotiledonares e/ou amarelecimento de duas folhas verdadeiras; Nota 3: vigor regular, número de folhas ≤ 5 , altura entre 15 a 20 cm; amarelecimento

pronunciado de duas ou mais folhas verdadeiras; Nota 4: vigor ruim, deficiência nutricional bem destacada, expressa por problemas na altura da muda (< 15 cm).

A estabilidade do torrão (ET) é uma metodologia adaptada de Antunes *et al.* (2018), classificando como: Nota 1: ótima estabilidade, o torrão é retirado da sacola plástica com coesão de 90% e as perdas máximas de substratos são inferiores a 10%, preservando a integridade do sistema radicular; Nota 2: estabilidade boa, o torrão apresenta coesão quando retirado da sacola entre 70 e 90% e as perdas de substrato situam-se entre 10 e 30%, deixando parcialmente exposto o sistema radicular; Nota 3: estabilidade regular, o torrão retirado da sacola plástica apresenta coesão entre 50 e 70% e há perdas de substrato entre 30 e 50%, deixando nitidamente o sistema radicular exposto; Nota 4: estabilidade baixa, o torrão é retirado da sacola apresentando menos de 50% de coesão e as perdas de substrato são superiores a 50%, deixando o sistema radicular exposto na proporção das perdas, o que causará prejuízos no estabelecimento da muda a campo.

5.4.5 Análises estatísticas

Para a análise estatística dos dados gerados, verificou-se a homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Bartlett e a normalidade pelo Teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância com teste F e posterior aplicação do teste de agrupamentos de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), com auxílio do programa estatístico Rbio (BHERING, 2017).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Propriedades físicas dos substratos orgânicos

Os percentuais de macroporos diferiram entre os substratos, sendo que o S1-gongocomposto apresentou maior macroporosidade, seguido pelo substrato comercial. Os demais substratos registraram percentuais variando de 8 a 18% (Tabela 6). Quanto à microporosidade, o gongocomposto apresentou o menor percentual, seguido pelo substrato comercial e S6. Para os demais substratos (Tabela 6), a faixa de microporosidade variou de 69 a 80%. Já a porosidade total apresentou percentuais cuja faixa variou de 71 a 90%. A capacidade de retenção de água (CRA) foi maior para três dos quatro substratos formulados (S3, S4 e S5) e o S6 registrou a menor CRA (Tabela 6). A densidade volumétrica (DV) foi diferente entre os substratos, sendo que o gongocomposto (S1) apresentou a maior DV. Os demais substratos apresentaram DV variando entre 0,18 a 0,27 kg m⁻³ (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC), porosidade total (POT), capacidade de retenção de água à tensão de 10 cm de coluna d'água (CRA_{10 cm}) e densidade volumétrica (DV) dos diferentes substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo.

Substratos	MAC	MIC	POT	CRA _{10 cm}	DV
	----- (%) -----			(mL 50 cm ³)	(g cm ⁻³)
S1	43,45	39,64	83,09	37,14	0,40
S2	27,48	58,33	85,81	35,55	0,21
S3	8,84	80,75	89,59	41,18	0,19
S4	15,36	75,56	90,92	42,67	0,27
S5	18,07	69,48	87,55	39,41	0,25
S6	10,11	61,16	71,27	30,84	0,18

S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

Gonçalves e Poggiani (1996) consideram a faixa de 35- 45% como sendo a adequada para macroporosidade. No entanto, apenas o gongocomposto atendeu a este parâmetro, pois o substrato comercial apresentou macroporosidade considerada média (20-40%) pelos autores e todos os substratos formulados apresentaram macroporosidade inferior à faixa proposta, variando de 8 a 18%. Quanto à microporosidade, Gonçalves e Poggiani (1996) avaliam como adequada a faixa compreendida entre 45-55%, no entanto, nenhum dos seis substratos avaliados alcançaram esta faixa, onde o gongocomposto ficou dentro da faixa considerada média (25-50%) e os demais substratos permaneceram dentro da faixa considerada alta (>55%). A microporosidade é responsável pela retenção de água no substrato (MAGGIONI *et al.*, 2014) e segundo Sá *et al.* (2020), os substratos produzidos a partir de resíduos orgânicos apresentam predominância de microporos, corroborando com os resultados obtidos para os substratos S3, S4, S5 e S6 (Tabela 6).

A porosidade total é de extrema importância para o crescimento das plantas (KÄMPF, 2005), visto que a alta concentração de raízes formadas nos recipientes exige elevado fornecimento de oxigênio e rápida remoção do gás carbônico formado, cujos percentuais

recomendados variam de 50 a 80% (PASCUAL *et al.*, 2018), estando dentro desta faixa apenas o substrato S6 (Tabela 6).

Gonçalves e Poggiani (1996) consideram como níveis adequados de capacidade de retenção de água (CRA), valores entre 20 - 30 mL 50 cm⁻³. Deste modo, apenas o substrato S6 se enquadra na faixa adequada. Todos os demais substratos apresentaram CRA alta (>30 mL 50 cm⁻³), conforme o estabelecido por estes autores. Tais resultados são decorrentes da alta microporosidade observada nos substratos S2 a S6 (Tabela 6). A maior CRA torna-se uma vantagem com o uso de compostos orgânicos em relação ao uso de solo, pois diminui a frequência dos turnos de rega (SÁ *et al.*, 2020).

A densidade volumétrica dos compostos orgânicos destinados ao uso como substrato orgânico deve situar-se na faixa de 0,30 a 0,75 g cm⁻³ (PASCUAL *et al.*, 2018). Já Fermino (2014), com maior especificidade, estabeleceu como referência para substratos utilizados em bandejas, valores de densidade volumétrica entre 0,10 e 0,30 g cm⁻³. Desse modo, todos os substratos podem ser utilizados em bandejas, exceto o S1 – gongocomposto, acima do referencial de acordo com o último autor supracitado. Como o gongocomposto foi produzido a céu aberto e sobre o solo, no momento de sua retirada pode ter ocorrido a adição de solo, o que fez com que ele se tornasse mais denso em relação a resultados anteriores, cuja densidade foi de 0,29 g cm⁻³ em produção protegida (ANTUNES *et al.*, 2020).

A densidade volumétrica é de extrema importância para interpretar outras propriedades do substrato, tais como porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água (FERMINO, 2014). Além disso, o conhecimento do valor da densidade serve como parâmetro para o manejo da irrigação e na análise de nutrientes (com referência à massa da amostra) em cultivos em recipientes, tornando-se indispensável para a interpretação dos laudos e recomendações práticas (FERMINO; KÄMPF, 2012).

5.5.2 Propriedades físico-químicas

Os valores de pH dos substratos orgânicos variaram de 4,64 (S2) a 9,06 (S5) (Tabela 7). Segundo Ludwig *et al.* (2014), mais importante que os próprios teores de nutrientes do substrato, é o valor de seu pH, pois o mesmo afeta principalmente a absorção dos macro e micronutrientes. Valores de pH abaixo de 5,8 podem levar a planta à toxicidade, já que aumenta a disponibilidade de ferro e manganês, além de reduzir a disponibilidade de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro (STÖCKER *et al.*, 2016), enquanto que em valores de pH acima de 6,5 pode-se esperar deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre (KRATZ *et al.*, 2014). Sendo assim, apenas o gongocomposto (S1) e o substrato S6 permaneceram na faixa proposta pelos autores supracitados.

Tabela 7. Valores de pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo.

Substratos	pH	CE (dS m ⁻¹)
S1	5,87	0,94
S2	4,64	0,39
S3	8,19	0,81
S4	8,78	0,99
S5	9,06	1,06
S6	6,50	0,66

S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

A matéria-prima que compõe o substrato exerce influência direta nos valores do pH. A casca de *Pinus* é naturalmente ácida e o valor de pH do substrato S2 corrobora com os resultados obtidos por Ludwig *et al.* (2020), cujos valores variaram entre 4,5 e 4,6 em substrato à base de casca de pinus com diferentes granulometrias. Quanto aos substratos S3, S4 e S5, a predominância de capim elefante e gliricídia ocasionaram a elevação dos valores de pH, tornando os meios de cultivo mais alcalinos. Isso se deve à constituição química destas matérias-primas, cuja principal forma de nitrogênio está na forma de N protéico (SILVA *et al.*, 2013). Provavelmente por terem sido apenas secos ao ar e não compostados, não ocorreu a acidificação induzida pela transformação de N-amônio (NH_4^+) em N-nitrato (NO_3^-) (LEAL *et al.*, 2013). Valores mais elevados de pH, especialmente nos substratos S4 e S5, cujas proporções de capim elefante e gliricídia foram de 50%, favoreceram as taxas de produção de amônio NH_4^+ através da mineralização do N presente na forma orgânica. É provável que o processo de nitrificação não tenha sido tão expressivo e por isso a redução do pH não foi observada nestes substratos. Outro fator que contribuiu para os valores de pH mais elevados decorrem dos valores de pH do capim elefante (11,15) e da gliricídia (9,20) (Tabela 5), corroborando com os resultados observados por Silva *et al.* (2013), ao avaliarem a qualidade de compostos orgânicos produzidos com diferentes proporções de ramos triturados de gliricídia e capim elefante.

A condutividade elétrica (CE) dos substratos orgânicos variou de $0,39 \text{ dS m}^{-1}$ (S2) a $1,06 \text{ dS m}^{-1}$ (S5) (Tabela 7). A CE indica a concentração de sais presentes na solução (água destilada + substrato) e fornece uma estimativa de salinidade presente nos substratos, permitindo também inferir de maneira prática que os substratos S5, S4 e S1 apresentaram maiores aportes de nutrientes. Segundo Minami e Salvador (2010), valores de CE acima de $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ são considerados muito altos para substratos, valores de $2,25$ a $3,39 \text{ dS m}^{-1}$ são altos, valores de $1,8$ a $2,24 \text{ dS m}^{-1}$ são ligeiramente altos, valores de $0,5$ a $1,79 \text{ dS m}^{-1}$ são moderados, valores entre $0,15$ e $0,49 \text{ dS m}^{-1}$ são baixos e valores inferiores a $0,14 \text{ dS m}^{-1}$ são considerados muito baixos. Deste modo, todos os substratos apresentaram CE moderada, exceto o S2, que exibiu uma CE considerada baixa.

Segundo Minami e Salvador (2010), valores de CE acima de $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ são considerados muito altos para substratos, valores de $2,25$ a $3,39 \text{ dS m}^{-1}$ são altos, valores de $1,8$ a $2,24 \text{ dS m}^{-1}$ são ligeiramente altos, valores de $0,5$ a $1,79 \text{ dS m}^{-1}$ são moderados, valores entre $0,15$ e $0,49 \text{ dS m}^{-1}$ são baixos e valores inferiores a $0,14 \text{ dS m}^{-1}$ são considerados muito baixos. Deste modo, todos os substratos apresentaram CE moderada, exceto o S2, que exibiu uma CE considerada baixa.

5.5.3 Propriedades químicas

Os teores totais e disponíveis e a proporção da forma disponíveis de N, Ca, Mg, P e K dos substratos avaliados estão apresentados na Tabela 8. Observa-se em relação aos teores de N, que geralmente é o nutriente mais demandado pelas mudas, variou de $10,40 \text{ g kg}^{-1}$ (S2) a $18,50 \text{ g kg}^{-1}$ (S1). O gongocomposto (S1) apresentou os maiores conteúdos disponíveis de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), exceto para o nitrogênio (N), cujo conteúdo foi maior no substrato comercial (S2). Quanto aos substratos formulados à base de gongocomposto, S5 e S6 foram os que apresentaram maior disponibilidade de N, Ca e Mg (Tabela 8).

De acordo com Pereira *et al.* (2020), não existem informações atuais sobre os níveis adequados de nutrientes contidos em substratos para plantas, no entanto, Gonçalves e Poggiani (1996) estabeleceram escalas de valores para a interpretação das características químicas de substratos, tais como os níveis adequados dos macronutrientes P, K, Ca e Mg.

Tabela 8. Teores totais, teores disponíveis e proporção dos teores disponíveis de macronutrientes dos substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo.

Substratos	N	P	K	Ca	Mg
	Teores totais (g kg ⁻¹)				
S1	18,50	1,71	1,39	25,00	2,90
S2	10,40	2,15	2,46	5,23	1,24
S3	13,91	2,45	14,24	17,65	2,67
S4	14,87	2,43	10,75	22,81	3,52
S5	17,32	2,22	7,93	26,31	4,75
S6	13,15	1,71	7,09	19,42	2,92

Substratos	N	P	K	Ca	Mg
	Teores disponíveis (g kg ⁻¹)				
S1	3,15	4,42	6,83	57,01	11,18
S2	3,88	1,57	2,02	4,78	1,06
S3	2,35	1,76	12,88	9,88	2,04
S4	2,37	2,06	13,03	10,39	1,92
S5	2,72	1,50	8,25	11,42	2,32
S6	2,55	1,37	8,34	11,81	2,20

Substratos	N	P	K	Ca	Mg
	Proporção de nutriente disponível (%)				
S1	17	100	100	100	100
S2	37	73	82	91	85
S3	17	72	90	56	76
S4	16	85	100	46	55
S5	16	68	100	43	49
S6	19	80	100	61	75

S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

O substrato é essencial na cadeia produtiva das hortaliças que são cultivadas através de mudas e para que se produza mudas de qualidade, ele deve conter propriedades químicas adequadas para o bom desenvolvimento vegetal. O nitrogênio é o nutriente que influencia na maioria dos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, tais como a síntese proteica e a fotossíntese, sendo o nutriente mais limitante à produção de biomassa (YONG *et al.*, 2010), fundamental na fase de produção de mudas. A proporção de N disponível foi maior no substrato comercial (S2) e nos demais substratos os percentuais variaram de 16 a 19% (Tabela 8).

O fósforo apresenta funções estruturais importantes ao desenvolvimento vegetal, participando da fotossíntese, respiração, divisão e crescimento celular e especialmente no fornecimento de energia (ATP), proporcionando maior crescimento e desenvolvimento inicial das plantas, principalmente do sistema radicular (BERTI *et al.*, 2017). Os teores de fósforo considerados adequados variam na faixa de 0,4 a 0,8 g kg⁻¹ (GONÇALVES; POGGIANI,

1996), embora os teores disponíveis tenham ficado muito acima desta faixa para todos os substratos, com destaque para o gongocomposto (S1), o qual apresentou teor disponível 2,8 vezes maior que no substrato comercial (Tabela 8).

Segundo Gonçalves e Poggiani (1996), considera-se adequado para potássio teores entre 1,17 a 3,91 g kg⁻¹. Nesse caso, apenas o substrato comercial (S2) ficou dentro da faixa tida como adequada e os demais substratos apresentaram teores disponíveis superiores à faixa proposta pelos autores, principalmente para S3 e S4 (Tabela 8), devido aos tipos de matérias-primas empregadas (Tabela 5), ricas neste nutriente. Ao contrário do nitrogênio e do fósforo, o potássio não apresenta função estrutural, contudo está associado à maior resistência das plantas quando submetidas a condições adversas, como baixa disponibilidade de água e temperaturas extremas, por conta de sua função na abertura e fechamento dos estômatos (BERTI *et al.*, 2017). No entanto, nenhuma destas condições adversas foi registrada ao longo do desenvolvimento das mudas de maracujá.

Os níveis de cálcio considerados adequados variam de 2 a 4 g kg⁻¹ (GONÇALVES; POGGIANI, 1996) e neste trabalho todos os substratos apresentaram teores disponíveis acima do considerado adequado, variando de 4,78 a 11,81 g kg⁻¹ entre os substratos S2 a S6 (Tabela 8). Entretanto, o gongocomposto (S1) exibiu conteúdo de cálcio 4,8 vezes maior em relação ao substrato S2, o qual apresentou o segundo maior conteúdo para este nutriente. O cálcio é um elemento fundamental na permeabilidade das membranas e manutenção da integridade celular, sendo exigido para a divisão e expansão das células. É componente da parede celular e lamela média, e ainda serve como ativador de algumas enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, como a alfa-amilase (GARRONE *et al.*, 2016).

Quanto aos teores de magnésio disponível, excetuando-se o gongocomposto (S1), todos os demais substratos exibiram conteúdos de Mg abaixo da faixa considerada adequada, que de acordo com Gonçalves e Poggiani (1996) varia de 6 a 12 g kg⁻¹. Dentre as funções do magnésio destaca-se o seu papel na composição da molécula de clorofila, participando de vários processos, como fotossíntese, respiração, síntese de carboidratos e proteínas (SILVA *et al.*, 2017).

Dias *et al.* (2010) afirmam que o maior tempo de compostagem promove a diminuição do teor de matéria orgânica (MO) do composto, sendo o teor de carbono um ótimo parâmetro para avaliar o grau de humificação dos compostos orgânicos. Schmitz, Souza e Kämpf (2002) relatam que de 50 a 60% da matéria orgânica é constituída por carbono e os teores ideais de carbono orgânico para substratos usados em recipientes devem ficar acima de 25%, desta maneira, todos os substratos utilizados neste trabalho se enquadram, apresentando conteúdos variando de 27 a 38% (Tabela 9).

Tabela 9. Conteúdo de carbono orgânico e relação carbono/nitrogênio (C/N) dos substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto utilizados na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo.

Substratos	C orgânico (%)	Relação C/N
S1	33	18,06
S2	38	36,86
S3	34	24,17
S4	28	18,74
S5	30	17,07
S6	31	23,78

S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de glicírdia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de glicírdia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

A relação carbono/nitrogênio (C/N) nos auxilia na caracterização dos substratos, sinalizando como os compostos orgânicos se encontram no final do processo de compostagem (DA ROS *et al.*, 2015), ademais, ela é indispensável quando não se tem outros tipos de análises mais robustas para averiguar a estabilidade do composto. A instrução normativa nº 61 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2020) destaca que a relação C/N não pode ser superior a 20 e o teor de nitrogênio total deve ser no mínimo de 5,0 g kg⁻¹ para compostos orgânicos. Assim sendo, apenas os substratos S2, S3 e S6 exibiram relações C/N acima de 20, resultado decorrente de suas formulações, já que o substrato S2 foi constituído por casca de pinus, corroborando com os resultados encontrados por Antunes *et al.* (2019), que também observaram alta relação C/N para esse tipo de substrato. Quanto aos demais substratos, formulados com uma mistura de capim, gliricídia fibra de coco e gongocomposto (S3) e gongocomposto combinado com fibra de coco (S6), permaneceram fora da faixa recomendada em decorrência da relação C/N da fibra de coco ser 63, enquanto que as relações C/N do capim e da gliricídia apresentam a metade desse valor (Tabela 5). Em relação aos teores de nitrogênio, todos os substratos avaliados apresentaram níveis acima do mínimo recomendado pela instrução normativa.

5.5.4 Parâmetros morfológicos das mudas de maracujá

Os substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto proporcionaram a obtenção de mudas de maracujá amarelo com características morfológicas significativamente diferentes ($p < 0,05$) para todos os parâmetros fitotécnicos avaliados (Figura 20).

A massa seca de parte aérea variou de 0,51 g a 1,65 g (Figura 20-A), a qual foi significativamente maior nos substratos S1 (gongocomposto), S6 (50% gongocomposto + 50% de fibra de coco) e S5 (50% gongocomposto + 50% de gliricídia). Estes substratos também proporcionaram os maiores valores de massa seca de raízes, estatisticamente superiores aos demais substratos (Figura 20-B). Os valores de massas secas encontrados nos substratos supracitados foram semelhantes aos encontrados por Dantas *et al.* (2015), no entanto, os autores utilizaram solo enriquecido com esterco bovino na concentração de 50%. A produção de matéria seca está associada ao acúmulo de nutrientes extraídos pela planta durante seu desenvolvimento, assim é possível saber qual substrato forneceu maiores quantidades de nutrientes às mudas de maracujá. Além disso, a massa seca de parte aérea é um importante parâmetro de crescimento, associado diretamente com a produtividade da cultura a campo (AZEVEDO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2013).

A altura das plantas variou de 19,95 a 42,84 cm (Figura 20-C), sendo significativamente maiores nas mudas cultivadas nos substratos S1 (gongocomposto), S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco) e S5 (50% de gongocomposto + 50% de gliricídia). Embora os substratos S3 (25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco) e S4 (50% de gongocomposto + 50% capim) tenham proporcionado a obtenção de mudas com alturas inferiores aos demais, elas se equiparam aos resultados obtidos por Cordeiro *et al.* (2019), para mudas de maracujá produzidas em substrato comercial avaliadas aos 60 dias após a semeadura. De acordo com Bertani *et al.* (2019), as mudas oriundas do sistema convencional são desenvolvidas em tubetes e levadas para o campo aproximadamente 30 dias após a semeadura, estando menos vigorosas e com altura média de 15 a 30 cm.

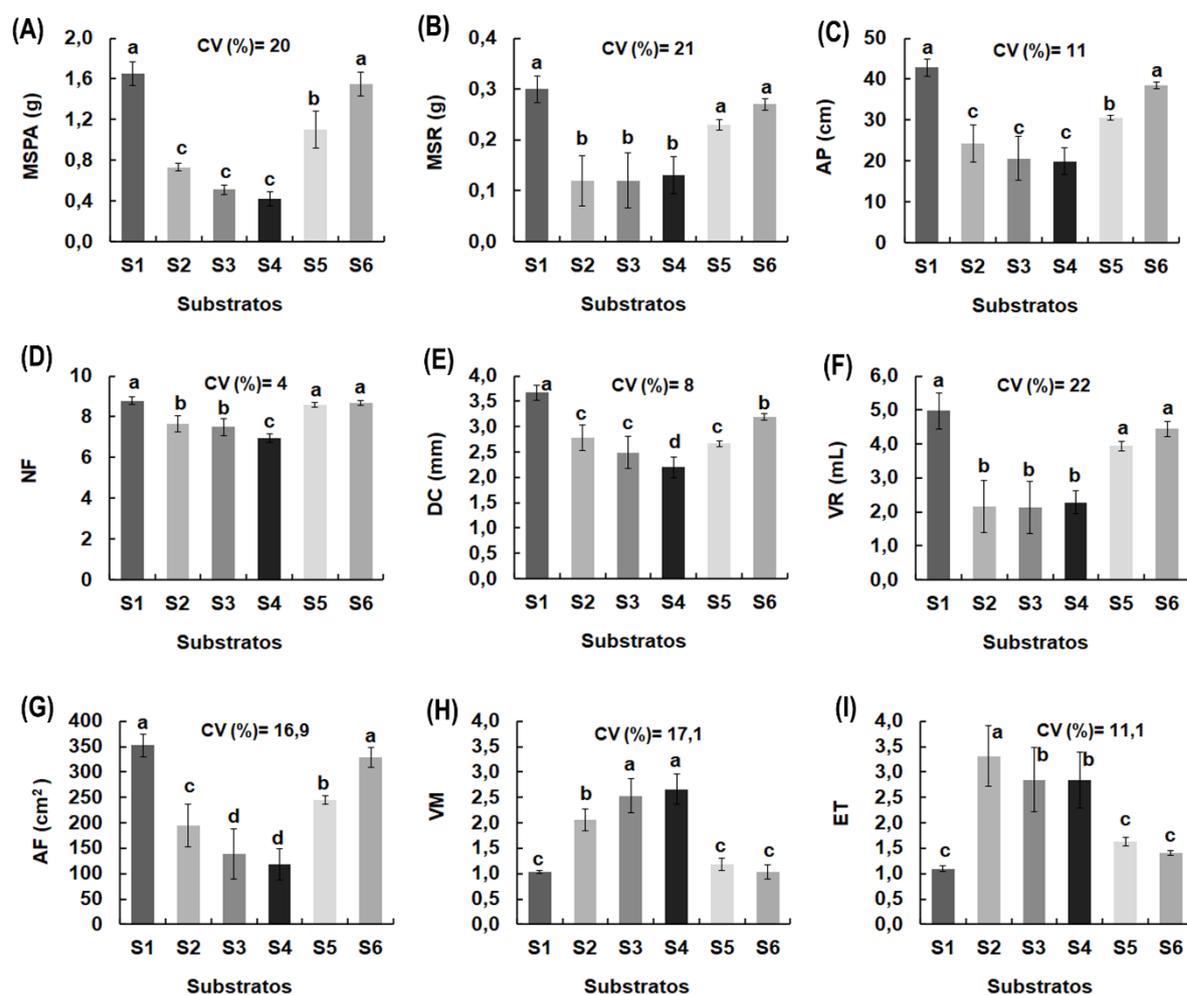


Figura 20. Valores de massa seca de parte aérea (A), massa seca de raízes (B), altura de planta (C), número de folhas (D), diâmetro do caule (E), volume de raízes (F), área foliar (G), nota do vigor de muda (H) e nota da estabilidade do torrão (I) das mudas de maracujá amarelo azedo produzidas nos diferentes substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto. Colunas sobrepostas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

O maior número de folhas foi observado nas mudas desenvolvidas nos substratos S1 (gongocomposto), S5 (50% de gongocomposto + 50% de gliricídia) e S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco), as quais foram significativamente maiores que dos demais substratos (Figura 20-D). Nossos resultados corroboram com os encontrados por Dantas *et al.* (2015), ao utilizarem solo enriquecido com esterco bovino na concentração de 50%. O número de folhas é um bom indicativo do vigor das mudas, refletindo no desempenho sob condições de cultivo, pois mudas mais vigorosas apresentam menores índices de mortalidade e são mais aptas para o estabelecimento (MIYAKE *et al.*, 2017).

Os maiores diâmetros do caule (> 3 mm) foram observados nas mudas de maracujá oriundas dos substratos S1 (gongocomposto) e S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco) (Figura 20-E). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por CORDEIRO *et al.*, (2019), ao produzirem mudas de *Passiflora edulis* em substrato formulado com 80% de caule de babaçu decomposto e 20% de solo + areia (1:1). O substrato que é capaz de proporcionar às mudas um equilíbrio entre o crescimento do diâmetro do caule e a altura, também proporciona maior robustez e maior resistência às condições adversas encontradas no campo, resultando em uma maior taxa de sobrevivência e consequentemente, na redução dos custos de replantio, decorrentes da ação dos ventos fortes (AZEVEDO *et al.*, 2020; SMIDERLE *et al.*, 2020).

O volume de raízes (Figura 20-F) variou entre os substratos e foi significativamente maior nas mudas provenientes dos substratos S1 (gongocomposto), S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco) e S5 (50% de gongocomposto + 50% de gliricídia). Cordeiro *et al.* (2019), ao produzirem mudas de *Passiflora edulis* em substrato formulado com 80% de caule de babaçu decomposto e 20% de solo + areia (1:1), obtiveram volume de raízes semelhantes ao registrado para o substrato S6. Os resultados de volume de raiz são relevantes, ao se considerar que a maior quantidade de raízes propicia maior quantidade de nutrientes que serão absorvidos no intervalo entre o transplante e a formação de novas raízes, influenciando diretamente o desempenho final das plantas (AZEVEDO *et al.*, 2020).

A área foliar das mudas cultivadas nos substratos S1 (gongocomposto), S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco) e S5 (50% de gongocomposto + 50% de gliricídia) foram significativamente maiores em relação aos demais substratos (Figura 20-G). As áreas foliares reduzidas observadas nos substratos S2 (substrato comercial, S3 (25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco) e S4 (50% de gongocomposto + 50% capim) estão relacionadas ao menor número de folhas e menor limbo foliar, podendo também ser explicada pelo desfavorecimento destes substratos, principalmente no que se refere aos valores de pH (Tabela 7). Souza *et al.* (2014) ressaltam a importância das folhas na produção biológica do vegetal, considerando a área foliar como um índice de produtividade. Ademais, ela influencia principalmente na capacidade fotossintética, especialmente no desenvolvimento do compartimento vegetativo da planta (MIYAKE *et al.*, 2017).

A qualidade das mudas que serão transferidas aos campos de produção pode ser expressa pelo vigor de muda e estabilidade do torrão. Embora muitos trabalhos utilizem o índice de qualidade de Dickson (IQD), nós consideramos que a avaliação visual de acordo com parâmetros morfológicos pré-determinados, é, além de prática, inovadora e de fácil transferência metodológica aos produtores. Assim sendo, as melhores notas de vigor de muda e estabilidade do torrão foram proporcionadas pelos substratos S1 (gongocomposto), S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco) e S5 (50% de gongocomposto + 50% de gliricídia), onde as mudas receberam nota 1, mostrando a eficiência destes substratos em produzir mudas de qualidade (Figuras 20-H e 20-I). Já os demais substratos proporcionaram a obtenção de mudas com tamanho, morfologia e estrutura do torrão inferiores (Figura 21).

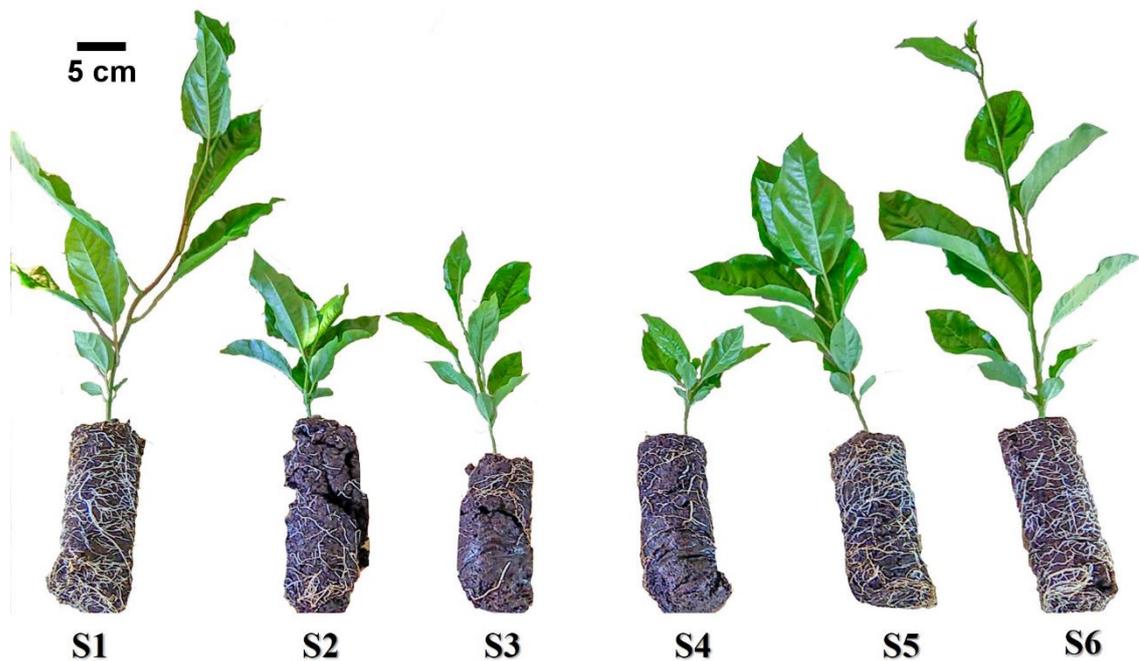


Figura 21. Diferenças nítidas entre as mudas de maracujá amarelo azedo aos 56 dias após a semeadura, que foram desenvolvidas nos diferentes substratos orgânicos: S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

Segundo Menegaes *et al.* (2017), o substrato utilizado para a produção de mudas tem relação direta com a formação e estabilidade do torrão, propiciando condições ideais para o desenvolvimento radicular. Além disso, a sua integridade é imprescindível para o estabelecimento bem sucedido das mudas no campo, pois um torrão instável promove o rompimento e exposição do sistema radicular, deixando a planta mais vulnerável ao dessecamento e morte, demandando ações de replantio ou ainda, tornando mais tardio o seu desenvolvimento.

Os conteúdos de nutrientes acumulados na parte aérea das mudas de maracujá foram significativamente influenciados pelos diferentes substratos (Figura 22). Os substratos S1 (gongocomposto), S6 (50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco) e S5 (50% de gongocomposto + 50% de gliricídia) promoveram os maiores acúmulos de nutrientes, que seguiram a seguinte ordem: $K > N > Ca > P > Mg$. Cordeiro *et al.* (2019), ao avaliarem diferentes proporções de caule de babaçu decomposto combinados com solo e areia (1:1), registraram resultados semelhantes apenas para o acúmulo de nitrogênio ($50 \text{ mg planta}^{-1}$) nos substratos com 100% de caule de babaçu decomposto e no substrato comercial.

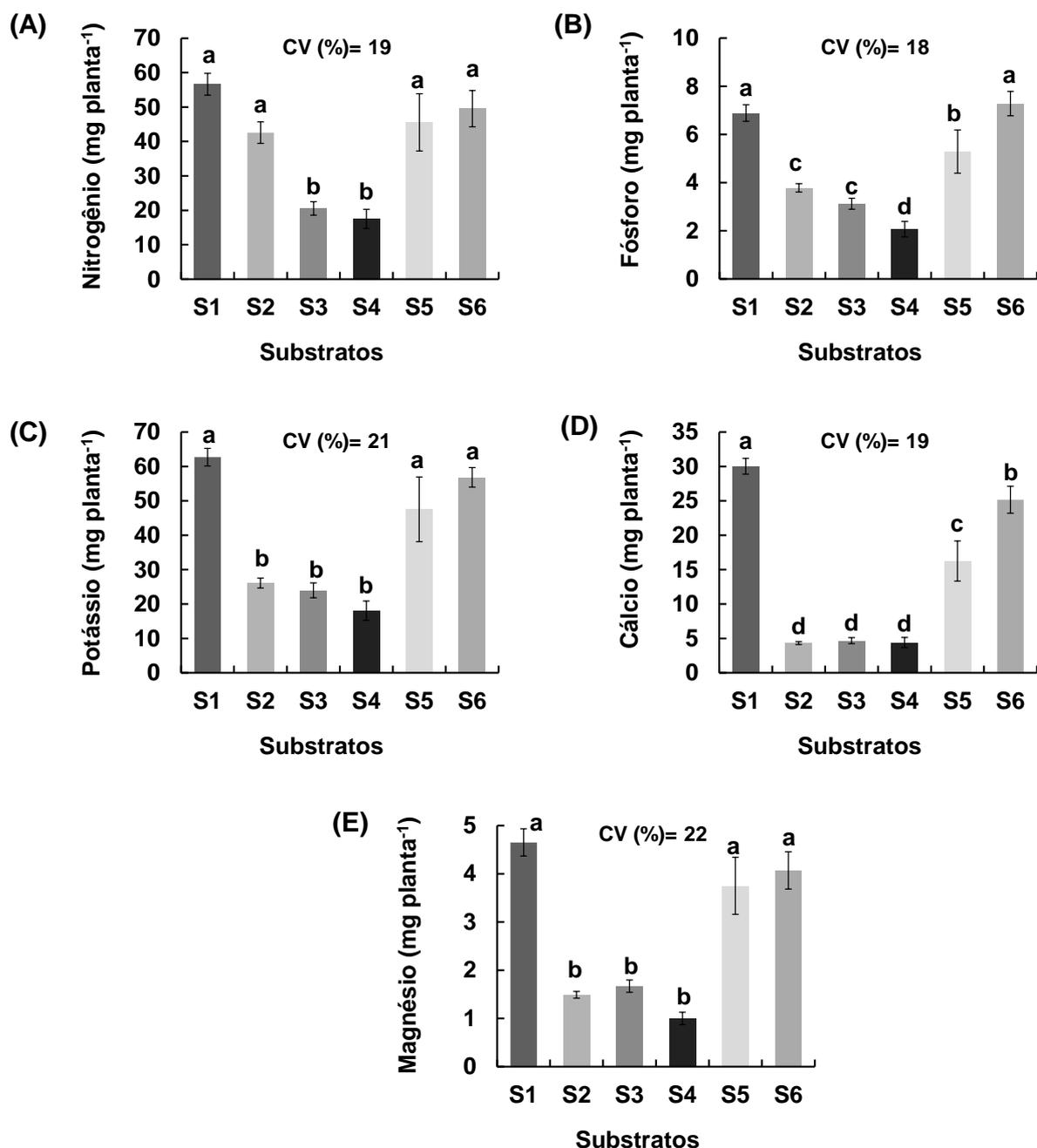


Figura 22. Conteúdos de nutrientes acumulados na parte aérea das mudas de maracujá amarelo azedo produzidas nos diferentes substratos orgânicos formulados à base de gongocomposto. Médias seguidas pela mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). S1- gongocomposto; S2- substrato comercial; S3- 25% de gongocomposto + 25% de gliricídia + 25% de capim + 25% fibra de coco; S4- 50% de gongocomposto + 50% capim; S5- 50% de gongocomposto + 50% de gliricídia; S6- 50% de gongocomposto + 50% de fibra de coco.

No geral, estes resultados confirmam a importância do uso de um composto orgânico de qualidade na composição dos substratos formulados destinados à produção de mudas do gênero *Passiflora*. A matéria orgânica melhora as propriedades físicas e químicas dos substratos e aumenta a disponibilidade de macronutrientes, micronutrientes e reguladores de crescimento

das plantas, no entanto, o composto representa de longe o constituinte mais profundamente investigado dos meios de cultivo (PASCUAL *et al.*, 2018).

Pesquisas conduzidas na Índia por Ramanathan e Alagesan (2012) demonstraram que o gongocomposto gerado aos 60 dias, oriundo de restos de flores, foi o substrato que proporcionou a maior de altura de plantas, número de folhas, área foliar, número e peso de frutos em pimentas cultivadas em vaso, em relação às plantas desenvolvidas no vermicomposto proveniente dos resíduos de flores. No Brasil, Antunes *et al.* (2016) verificaram que o conteúdo de cálcio, magnésio e fósforo, bem como as características físico-químicas e físicas do gongocomposto gerado por diplópodes da espécie *Trigoniulus corallinus* foram eficientes na produção de mudas de alface.

Cabe destacar que é a primeira vez em que são produzidas mudas de maracujá no gongocomposto. Os resultados confirmam sua capacidade em promover excelente desenvolvimento de mudas da espécie *Passiflora edulis*. Ante ao rendimento de 30% na produção deste composto, conseguimos alcançar excelência no seu uso através da combinação bem sucedida com a fibra de coco em pó e com a *Gliricidia sepium* picada e seca ao ar por 30 dias, disponibilizando assim duas novas opções de substratos aos produtores de mudas. Isso é importante, já que o cultivo do maracujá, em sua grande maioria, é realizado por agricultores familiares, que buscam fontes alternativas de cultivo e de baixo custo (SANTOS *et al.*, 2020).

No entanto, pesquisas futuras deverão investigar as influências das substâncias húmicas e da comunidade microbiana presentes no gongocomposto, bem como nos substratos formulados, principalmente a mistura de 50% de gongocomposto e 50% fibra de coco em pó (S6), que embora apresente menores quantidades de nutrientes disponíveis em relação ao gongocomposto (S1), foi eficiente em produzir mudas semelhantes em morfologia e conteúdo de nutrientes na parte aérea.

5.6 CONCLUSÕES

O gongocomposto demonstrou grande eficiência na produção de mudas de maracujazeiro amarelo azedo, reunindo características físicas, físico-químicas e químicas desejáveis a um bom substrato.

Os substratos formulados à base de 50% de gongocomposto com fibra de coco (S6) e 50% de gongocomposto com 50% de *Gliricidia sepium* (S5) são adequados à produção de mudas de maracujá e permitem a maximização de uso do gongocomposto como substrato.

O gongocomposto utilizado puro ou combinado com estes resíduos supracitados, representam uma alternativa viável de produção de substratos orgânicos sustentáveis, principalmente para o pequeno produtor, permitindo o reaproveitamento de resíduos orgânicos da propriedade e região, além da economia na aquisição de insumos.

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A utilização dos resíduos agrícolas e urbanos é viável à obtenção de composto orgânico estável, através do processo de gongocompostagem.

O gongocomposto é eficaz na produção de mudas de alface e seu desempenho agrônômico se destaca quando se compara ao desenvolvimento de mudas oriundas de substrato comercial.

Informações sem precedentes sobre a microbiota bacteriana da gongocompostagem foram obtidas e permitem hoje compreender melhor a dinâmica invisível dos processos de decomposição dos resíduos utilizados por essa biotecnologia amiga do meio ambiente.

O gongocomposto pode ser utilizado puro ou formulado com outras matérias-primas na produção de mudas de maracujá. Isso representa mais que uma descoberta, mas opções de substratos que irão garantir a obtenção de mudas saudáveis e vigorosas para o produtor rural.

A gongocompostagem é o início de muitas outras pesquisas que permitirão trazer mais descobertas e benefícios, os quais deverão alcançar toda a sociedade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBARISH, C. N.; SRIDHAR, K. R. Production and Quality of Pill-Millipede Manure: A Microcosm Study. **Agricultural Research**, v. 2, n. 3, p. 258–264, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40003-013-0075-5>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- AMBARISH, C. N.; SRIDHAR, K. R. Microbial dynamics in food, intestine and fecal pellets of two endemic pill-millipedes (Arthrosphaera: Sphaerotheriida) of the Western Ghats. **Journal of Agricultural Technology**, v. 11, p. 637–648, 2015. Disponível em: http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v11_n3_15_march/4_IJAT_2015_C.N.%20Ambarish%20and%20K.R.%20Sridhar-%20Biosciences-FM.pdf
- ANTUNES, L. F. D. S.; NOGUEIRA SCORIZA, R.; GALVÃO DA SILVA, D.; FERNANDES CORREIA, M. E. CONSUMO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E URBANOS PELO DIPLÓPODE *Trigoniulus corallinus*. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 162, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6192>
- ANTUNES, L. F. de S.; AZEVEDO, G.; CORREIA, M. E. F. Produção de Mudanças de Girassol Ornamental E Seu Desenvolvimento Em Vasos Utilizando Como Substrato O Gongocomposto. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 299–314, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2698>
- ANTUNES, L. F. de S.; SCORIZA, R. N.; FRANÇA, E. M.; SILVA, D. G. da; CORREIA, M. E. F.; LEAL, M. A. de A.; ROUWS, J. R. C. Desempenho agrônômico da alface crespa a partir de mudas produzidas com gongocomposto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 8, n. 3, p. 57–65, 2018 a.
- ANTUNES, L. F. de S.; SCORIZA, R. N.; SILVA, D. G. da; CORREIA, M. E. F. Production and efficiency of organic compost generated by millipede activity. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 815–819, 2016 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150714>
- ANTUNES, L. F. S.; AZEVEDO, G.; CORREIA, M. E. F. Produção de mudas de girassol ornamental e seu desenvolvimento em vasos utilizando como substrato o gongocomposto. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 299–314, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2698>. Acesso em: 20 out. 2020.
- ANTUNES, L. F. S.; CORREIA, M. E. F.; SILVA, M. S. R. A.; SILVA, D. G. Millicomposting: composting based on the use of diplopods aiming at the production of organic substrates. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 3, p. 1019–1038, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n3p1019-1038>. Acesso em: 12 out. 2020.
- ANTUNES, L. F. S.; SIVA, D. G.; CORREIA, M. E. F.; LEAL, M. A. A. Avaliação química de substratos orgânicos armazenados e sua eficiência na produção de mudas de alface. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 139–155, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2680>. Acesso em: 29 out. 2020.

ANTUNES, L. F. S.; SOUZA, R. G.; VAZ, A. F. S.; FERREIRA, T. S.; CORREIA, M. E. F. Evaluation of millicomposts from different vegetable residues and production systems in the lettuce seedling development. **Organic Agriculture**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00342-y>. Acesso em: 23 mar. 2021.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F. **Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo**: Embrapa Agrobiologia. Documentos, 201. Seropédica-RJ: Embrapa Agrobiologia, 2005. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=626880&biblioteca=vazio&busca=626880&qFacets=626880&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 28 dez. 2020.

ASHWINI, K. M.; SRIDHAR, K. R. Breakdown of plantation residues by pill millipedes (*Arthrosphaera magna*) and assessment of compost quality. **Current Science**, v. 90, n. 7, p. 954–959, 2006.

AWASTHI, M. K.; LI, J.; KUMAR, S.; AWASTHI, S. K.; WANG, Q.; CHEN, H.; WANG, M.; REN, X.; ZHANG, Z. Effects of biochar amendment on bacterial and fungal diversity for co-composting of gelatin industry sludge mixed with organic fraction of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, v. 246, Special Issue on Biochar: Production, Characterization and Applications – Beyond Soil Applications, p. 214–223, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.068>. Acesso em: 11 dez. 2020.

AZEVEDO, J. M. A.; JÚNIOR, E. A. S.; CRUZ, J. F.; SOUZA, E. B.; LIMA, M. O.; AZÊVEDO, H. S. F. S. Mudras agroecológica de maracujá-amarelo utilizando manipueira, urina de vaca e biofertilizante de amendoim forrageiro / Agroecological seedlings of yellow passion fruit using manure, cow urine and forage peanut biofertilizer. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 35521–35536, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-187>. Acesso em: 29 dez. 2020.

BERTANI, R. M. de A.; SILVA, S. P.; DEUS, A. C. F.; ANTUNES, A. M.; FISCHER, I. H. Doses de nitrogênio no desenvolvimento de mudas altas de maracujá-amarelo. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 29–35, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v6i1.2403>. Acesso em: 29 dez. 2020.

BERTI, C. L. F.; KAMADA, T.; SILVA, M. P.; MENEZES, J. F.; OLIVEIRA, A. C. S. Crescimento de mudas de baru em substrato enriquecido com nitrogênio, fósforo e potássio. **Agronomic Crop Journal**, v. 26, n. 2, p. 191–202, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n2p191-202>. Acesso em: 26 ago. 2020.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>. Acesso em: 29 dez. 2020.

BONANOMI, G.; DE FILIPPIS, F.; CESARANO, G.; LA STORIA, A.; ZOTTI, M.; MAZZOLENI, S.; INCERTI, G. Linking bacterial and eukaryotic microbiota to litter chemistry: Combining next generation sequencing with ¹³C CPMAS NMR spectroscopy. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 129, p. 110–121, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.013>. Acesso em: 3 maio. 2021.

BORGES, J. D.; TONON, D. S.; SILVA, D. J. Produção e comercialização do maracujá-azedo em Tangará da Serra/MT, Brasil: desafios, fragilidades e oportunidades. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 10–24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0002>. Acesso em: 28 dez. 2020.

BRANDÓN, M. G.; AIRA, M.; KOLBE, A. R.; ANDRADE, N.; PÉREZ-LOSADA, M.; DOMÍNGUEZ, J. Rapid Bacterial Community Changes during Vermicomposting of Grape Marc Derived from Red Winemaking. **Microorganisms**, v. 7, n. 10, p. 473, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7100473>. Acesso em: 1 abr. 2021.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Instrução Normativa SDA Nº 31 de 23 de outubro de 2008**. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo da Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. , 2008.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Instrução Normativa Instrução Normativa n. 61, de 08 de julho de 2020**. Regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. , 2020.

BUDRONI, M.; MANNAZZU, I.; ZARA, S.; SABA, S.; PAIS, A.; ZARA, G. Composition and functional profiling of the microbiota in the casts of *Eisenia fetida* during vermicomposting of brewers' spent grains. **Biotechnology Reports**, v. 25, p. e00439, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00439>. Acesso em: 15 maio. 2021.

BURESOVA, A. *et al.* Litter chemical quality and bacterial community structure influenced decomposition in acidic forest soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 103, p. 103271, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103271>. Acesso em: 1 abr. 2021.

BURESOVA, A.; KOPECKY, J.; HRDINKOVA, V.; KAMENIK, Z.; OMELKA, M.; SAGOVA-MARECKOVA, M. Succession of Microbial Decomposers Is Determined by Litter Type, but Site Conditions Drive Decomposition Rates. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. 24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.01760-19>. Acesso em: 28 abr. 2021.

BYZOV, B. A. Intestinal Microbiota of Millipedes. *In*: KÖNIG, H.; VARMA, A. (org.). **Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. (Soil Biology).p. 89–114. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/3-540-28185-1_4. Acesso em: 14 maio. 2021.

CARVALHO, T. L. G.; BALSEMÃO-PIRES, E.; SARAIVA, R. M.; FERREIRA, P. C. G.; HEMERLY, A. S. Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 19, p. 5631–5642, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru319>

CHANG, F.; JIA, F.; LV, R.; ZHEN, L.; LI, Y.; WANG, Y. Changes in structure and function of bacterial and fungal communities in open composting of Chinese herb residues. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 66, n. 3, p. 194–205, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjm-2019-0347>

- CHEN, Y.; CHANG, S. K. C.; CHEN, J.; ZHANG, Q.; YU, H. Characterization of microbial community succession during vermicomposting of medicinal herbal residues. **Bioresource Technology**, v. 249, p. 542–549, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.021>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- CHONG, J.; LIU, P.; ZHOU, G.; XIA, J. Using MicrobiomeAnalyst for comprehensive statistical, functional, and meta-analysis of microbiome data. **Nature Protocols**, v. 15, n. 3, p. 799–821, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41596-019-0264-1>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- COLE, J. R.; WANG, Q.; CARDENAS, E.; FISH, J.; CHAI, B.; FARRIS, R. J.; KULAM-SYED-MOHIDEEN, A. S.; MCGARRELL, D. M.; MARSH, T.; GARRITY, G. M.; TIEDJE, J. M. The Ribosomal Database Project: improved alignments and new tools for rRNA analysis. **Nucleic Acids Research**, v. 37, n. Database, p. D141–D145, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/nar/gkn879>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- CORDEIRO, K. V.; COSTA, N. A.; ANDRADE, H. A. F.; OLIVEIRA-NETO, E. D.; ROCHA, B. R. S.; MACHADO, N. A. F.; ALBANO, F. G.; FURTADO, M. B.; SILVA-MATOS, R. R. S. Inclusion of Babassu Decomposed Stem Substrates on the Pattern of the Vegetative Growth of Passion Fruit Seedlings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 21, p. 2777–2786, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1679163>. Acesso em: 4 jan. 2021.
- CORREIA, D. S.; PASSOS, S. R.; PROENÇA, D. N.; MORAIS, P. V.; XAVIER, G. R.; CORREIA, M. E. F. Microbial diversity associated to the intestinal tract of soil invertebrates. **Applied Soil Ecology**, v. 131, p. 38–46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.07.009>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- COSTA, F. M.; ANJOS, G. L.; CAMILO, G. B. da M.; OLIVEIRA, U. C.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo em diferentes composições de substrato e ambiente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 141–150, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA17230>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- COSTA, L. A. de M.; COSTA, M. S. S. M.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H.; MACCARI, S. Avaliação de substratos para a produção de mudas de tomate e pepino. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 675–682, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000500011>. Acesso em: 29 dez. 2020.
- DA ROS, C. O.; REX, F. E.; RIBEIRO, I. R.; KAFER, P. S.; RODRIGUES, A. C.; SILVA, R. F.; SOMAVILLA, L. Uso de Substrato Compostado na Produção de Mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 549–558, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.115714>. Acesso em: 29 out. 2020.
- DAHAL, B.; NANDAKAFLE, G.; PERKINS, L.; BRÖZEL, V. S. Diversity of free-Living nitrogen fixing Streptomyces in soils of the badlands of South Dakota. **Microbiological Research**, v. 195, p. 31–39, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.11.004>. Acesso em: 23 nov. 2020.
- DANTAS, A. H.; SILVA, R. M.; GARCIA, K. G. V.; AGUIAR, A. V. M.; CARDOSO, E. A. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo sob adubação orgânica. **AGROPECUÁRIA**

CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO, v. 11, n. 1, p. 59–64, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.30969/acsa.v11i1.613>. Acesso em: 6 jan. 2021.

DHARIWAL, A.; CHONG, J.; HABIB, S.; KING, I. L.; AGELLON, L. B.; XIA, J. MicrobiomeAnalyst: a web-based tool for comprehensive statistical, visual and meta-analysis of microbiome data. **Nucleic Acids Research**, v. 45, n. W1, p. W180–W188, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/nar/gkx295>. Acesso em: 23 mar. 2021.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; HIGASHIKAWA, F. S.; ROIG, A.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 4, p. 1239–1246, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.024>. Acesso em: 29 dez. 2020.

DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M.; KOLBE, A. R.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; PÉREZ-LOSADA, M. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 9657, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46018-w>. Acesso em: 19 mar. 2021.

FERMINO, M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análise**. Guaíba: Agrolivros, 2014.

FERMINO, M. H.; KÄMPF, A. N. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 75–79, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000100013>. Acesso em: 29 dez. 2020.

GALITSKAYA, P.; BIKTASHEVA, L.; SAVELIEV, A.; GRIGORYEVA, T.; BOULYGINA, E.; SELIVANOVSKAYA, S. Fungal and bacterial successions in the process of co-composting of organic wastes as revealed by 454 pyrosequencing. **PLOS ONE**, v. 12, n. 10, p. e0186051, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186051>. Acesso em: 14 maio. 2021.

GARRONE, R. F.; CAMPOS, A. G.; SILVEIRA, C. P.; LAVRES JUNIOR, J.; GARRONE, R. F.; CAMPOS, A. G. de; SILVEIRA, C. P.; LAVRES JUNIOR, J. Produção de biomassa, diagnose nutricional e absorção de nitrogênio e cálcio durante crescimento inicial do pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 22–31, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160003>. Acesso em: 29 dez. 2020.

GÓMEZ-BRANDÓN, M.; AIRA, M. Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes. *In*: INSAM, H.; FRANKE-WHITTLE, I.; GOBERNA, M. (ed.). **Microbes at Work**. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2010. p. 93–114. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_5

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. *In*: IN: SOLO-SUELO- CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO.1996, Águas de Lindóia: SLCS/SBCS. **Resumos expandidos**. Águas de Lindóia: SLCS/SBCS: [s. n.], 1996.

HABTEWOLD, J. Z.; HELGASON, B. L.; YANNI, S. F.; JANZEN, H. H.; ELLERT, B. H.; GREGORICH, E. G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal

than bacterial communities. **European Journal of Soil Biology**, v. 98, p. 103190, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103190>. Acesso em: 9 abr. 2021.

HERLEMANN, D. P.; LABRENZ, M.; JÜRGENS, K.; BERTILSSON, S.; WANIEK, J. J.; ANDERSSON, A. F. Transitions in bacterial communities along the 2000 km salinity gradient of the Baltic Sea. **The ISME Journal**, v. 5, n. 10, p. 1571–1579, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.41>. Acesso em: 23 mar. 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário de 2018. Número de estabelecimentos agropecuários e Quantidade produzida, por produtos da horticultura - resultados preliminares 2017.**: Censo Agropecuário de 2018. Número de estabelecimentos agropecuários e Quantidade produzida, por produtos da horticultura - resultados preliminares 2017. [S. l.]: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6619>.

JARA-SAMANIEGO, J.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; PAREDES, C.; LÓPEZ, M.; LÓPEZ-LLUCH, D. B.; GAVILANES-TERÁN, I.; MORAL, R. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 1349–1358, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>. Acesso em: 2 nov. 2020.

JIEN, S.-H.; KUO, Y.-L.; LIAO, C.-S.; WU, Y.-T.; IGALAVITHANA, A. D.; TSANG, D. C. W.; OK, Y. S. Effects of field scale in situ biochar incorporation on soil environment in a tropical highly weathered soil. **Environmental Pollution**, v. 272, p. 116009, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116009>. Acesso em: 16 abr. 2021.

JÚNIOR, J. F. O.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O.; SOUZA, J. C.; SOUZA, M. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140–149, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2014.030>

JURADO, M. M.; CAMELO-CASTILLO, A. J.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; LÓPEZ, M. J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A.; ESTRELLA-GONZÁLEZ, M. J.; SÍLES-CASTELLANO, A. B.; MORENO, J. Integral approach using bacterial microbiome to stabilize municipal solid waste. **Journal of Environmental Management**, v. 265, p. 110528, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110528>. Acesso em: 16 fev. 2021.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agrolivros, 2005. v. 2

KATO, D. S.; SILVA, C. M.; HIGUCHI, M. T.; BAUCHROWITZ, I. M.; NETO, J. S.; SHIMIZU, G. D.; OLIVEIRA, A. F. Produção de mudas de maracujá amarelo submetidas a doses crescentes de adubação de liberação lenta. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 34, n. esp., p. 310–320, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistatestes/article/view/510>. Acesso em: 28 dez. 2020.

KRATZ, D.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis para produção de mudas de Mimosa scabrella. **FLORESTA**, v. 45, n. 2, p. 393–408, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v45i2.31249>. Acesso em: 29 dez. 2020.

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. S. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1195–1200, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100010>. Acesso em: 29 dez. 2020.

LEVY-BOOTH, D. J.; PRESCOTT, C. E.; GRAYSTON, S. J. Microbial functional genes involved in nitrogen fixation, nitrification and denitrification in forest ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 75, p. 11–25, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.021>. Acesso em: 15 maio. 2021.

LI, Y.; BEZEMER, T. M.; YANG, J.; LÜ, X.; LI, X.; LIANG, W.; HAN, X.; LI, Q. Changes in litter quality induced by N deposition alter soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 130, p. 33–42, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.025>. Acesso em: 30 abr. 2021.

LI, Y.; YANG, X.; GAO, W.; QIU, J.; LI, Y. Comparative study of vermicomposting of garden waste and cow dung using *Eisenia fetida*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 9, p. 9646–9657, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07667-x>. Acesso em: 30 mar. 2021.

LIAO, C. F. H. Devarda's Alloy Method for Total Nitrogen Determination. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 5, p. 852–855, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050005x>. Acesso em: 28 dez. 2020.

LIU, L.; WANG, S.; GUO, X.; ZHAO, T.; ZHANG, B. Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting. **Waste Management**, v. 73, p. 101–112, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.026>. Acesso em: 1 mar. 2021.

LIU, X.; LIU, C.; GAO, W.; XUE, C.; GUO, Z.; JIANG, L.; LI, F.; LIU, Y. Impact of biochar amendment on the abundance and structure of diazotrophic community in an alkaline soil. **Science of The Total Environment**, v. 688, p. 944–951, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.293>. Acesso em: 15 maio. 2021.

LIU, Y.; DING, L.; WANG, B.; HE, Q.; WAN, D. Using the modified pine wood as a novel recyclable bulking agent for sewage sludge composting: Effect on nitrogen conversion and microbial community structures. **Bioresource Technology**, v. 309, p. 123357, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123357>. Acesso em: 14 out. 2020.

LUDWIG, F.; FERNANDES, D. M.; GUERRERO, A. C.; BÔAS, R. L. V. Características dos substratos na absorção de nutrientes e na produção de gérbera de vaso. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 184–189, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200011>

LUDWIG, F.; FERNANDES, D. M.; GUERRERO, A. C.; FERREIRA, G. A.; POHLMANN, V. Neutralização da acidez em substrato de casca de pinus com diferentes granulometrias. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 6, n. 1, p. 1–8, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.61.01-08>. Acesso em: 29 dez. 2020.

MAGGIONI, M. S.; ROSA, C. B. C. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; SILVA, E. F.; ROSA, Y. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; VASCONCELOS, A. A. Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 10–17, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100002>

MAHANTY, T.; BHATTACHARJEE, S.; GOSWAMI, M.; BHATTACHARYYA, P.; DAS, B.; GHOSH, A.; TRIBEDI, P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 4, p. 3315–3335, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>

MAHÓN, R.; GÓMEZ-SILVÁN, C.; ANDERSEN, G. L.; CALVO, C.; ARANDA, E. Assessment of bacterial and fungal communities in a full-scale thermophilic sewage sludge composting pile under a semipermeable cover. **Bioresource Technology**, v. 298, p. 122550, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122550>. Acesso em: 21 dez. 2020.

MCMURDIE, P. J.; HOLMES, S. phyloseq: An R Package for Reproducible Interactive Analysis and Graphics of Microbiome Census Data. **PLoS ONE**, v. 8, n. 4, p. e61217, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061217>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MENEGAES, J. F.; ZAGO, A. P.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L. Enraizamento de estacas de forrações ornamentais em diferentes concentrações de ácido indolbutírico. **Nativa**, v. 5, n. 5, p. 311–315, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v5i5.4468>. Acesso em: 29 dez. 2020.

MENEGHELLI, L. A.; MONACO, P. A.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, C. M.; ALMEIDA, K. M.; MENEGHELLI, L. A.; MONACO, P. A.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, C. M.; ALMEIDA, K. M. Agricultural residues as a substrate in the production of eggplant seedlings. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 527–533, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170409>. Acesso em: 28 dez. 2020.

MINAMI, K.; SALVADOR, E. D. **Substrato para plantas**. Piracicaba-SP: Degaspari, 2010.

MIYAKE, R. T. M.; CRESTE, J. E.; NARITA, N.; GUERRA, W. E. X. Substrato e adubação nitrogenada na produção de mudas de maracujazeiro amarelo em condições protegidas. **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**, v. 13, n. 1, p. 57–65, 2017. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1453>. Acesso em: 6 jan. 2021.

OLIVEIRA, J. R.; XAVIER, F. B.; DUARTE, N. de F. Húmus de minhoca associado a composto orgânico para a produção de mudas de tomate. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v5n22013508>. Acesso em: 23 mar. 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O.; SOUZA, J. C.; SOUZA, M. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140–149, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2014.030>. Acesso em: 30 out. 2020.

PANDIT, P. D.; GULHANE, M. K.; KHARDENAVIS, A. A.; PUROHIT, H. J. Mining of hemicellulose and lignin degrading genes from differentially enriched methane producing

microbial community. **Bioresource Technology**, v. 216, p. 923–930, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.021>. Acesso em: 3 maio. 2021.

PASCUAL, J. A.; CEGLIE, F.; TUZEL, Y.; KOLLER, M.; KOREN, A.; HITCHINGS, R.; TITTARELLI, F. Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 3, p. 35, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>. Acesso em: 30 out. 2020.

PEREIRA, C. M. S.; ANTUNES, L. F. S.; AQUINO, A. M.; LEAL, M. A. A. Substrato à base de esterco de coelho na produção de mudas de alface. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 58–65, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i1.8018>. Acesso em: 30 out. 2020.

PERUZZI, E.; FRANKE-WHITTLE, I. H.; KELDERER, M.; CIAVATTA, C.; INSAM, H. Microbial indication of soil health in apple orchards affected by replant disease. **Applied Soil Ecology**, v. 119, p. 115–127, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.003>. Acesso em: 16 abr. 2021.

PINHEIRO, J. I. D.; CARVAJAL, S. R.; CUNHA, S. B.; GOMES, G. C. **Probabilidade e estatística**. 1. ed. São Paulo-SP: Campus, 2014.

QUAST, C.; PRUESSE, E.; YILMAZ, P.; GERKEN, J.; SCHWEER, T.; YARZA, P.; PEPLIES, J.; GLÖCKNER, F. O. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. **Nucleic Acids Research**, v. 41, n. D1, p. D590–D596, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/nar/gks1219>. Acesso em: 23 mar. 2021.

RAMAKRISHNA, W.; YADAV, R.; LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, v. 138, n. October 2018, p. 10–18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>

RAMANATHAN, B.; ALAGESAN, P. Evaluation of millicompost versus vermicompost. **Current Science**, v. 103, p. 140–143, 2012.

RENCHER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. **Methods of Multivariate Analysis**. 3. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2012.

ROGNES, T.; FLOURI, T.; NICHOLS, B.; QUINCE, C.; MAHÉ, F. VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. **PeerJ**, v. 4, p. e2584, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.2584>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SÁ, F. P.; BELNIAKI, A. C.; PANOBIANCO, M.; GABIRA, M. M.; KRATZ, D.; LIMA, E. A. D.; WENDLING, I.; MAGALHÃES, W. L. E. Peach palm residue compost as substrate for *Bactris gasipaes* self-sustaining seedlings production. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 9, n. 2, p. 183–192, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2020.1891396.1030>. Acesso em: 26 ago. 2020.

SANTOS, C. V. dos; RODRIGUES, W. Z.; APARECIDO, C. F. F.; CARVALHO, J. B. de. Influência de misturas no desenvolvimento de mudas do maracujazeiro azedo. **Revista Funec Científica - Multidisciplinar**, v. 9, n. 11, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.24980/rfcm.v9i11.3705>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SANTOS, V. A.; RAMOS, J. D.; LAREDO, R. R.; SILVA, F. O. R.; CHAGAS, E. A.; PASQUAL, M. Produção e qualidade de frutos de maracujazeiro-amarelo provenientes do cultivo com mudas em diferentes idades. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 33–40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711612017033>. Acesso em: 28 dez. 2020.

SAUVADET, M.; FANIN, N.; CHAUVAT, M.; BERTRAND, I. Can the comparison of above- and below-ground litter decomposition improve our understanding of bacterial and fungal successions? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 132, p. 24–27, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.01.022>. Acesso em: 13 maio. 2021.

SCHLOSS, P. D. *et al.* Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 23, p. 7537–7541, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.01541-09>

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 937–944, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000600005>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SCHNEIDER, T.; KEIBLINGER, K. M.; SCHMID, E.; STERFLINGER-GLEIXNER, K.; ELLERSDORFER, G.; ROSCHITZKI, B.; RICHTER, A.; EBERL, L.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; RIEDEL, K. Who is who in litter decomposition? Metaproteomics reveals major microbial players and their biogeochemical functions. **The ISME Journal**, v. 6, n. 9, p. 1749–1762, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.11>. Acesso em: 3 maio. 2021.

SILVA, L. G. F.; BARROS, B.; SANTOS, J. V. G.; MANZOLI, V. Q.; SALLES, R. A.; OLIVEIRA, F. A.; BERILLI, S. S. Efeito da adubação foliar com diferentes fontes de magnésio no desenvolvimento de mudas do mamão. **Anais da 30ª Semana Acadêmica do Curso de Agronomia do CCAE/UFES - SEAGRO**, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/seagro/article/view/17510>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SILVA, V. M.; RIBEIRO, P. H.; TEIXEIRA, A. F. R.; SOUZA, J. L. Qualidade de compostos orgânicos preparados com diferentes proporções de ramos de gliricídia (*Gliricidia sepium*). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 1, 2013. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/12891>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; PANDEY, A. 10 - Biotechnology for Agricultural Waste Recycling. *In*: WONG, J. W.-C.; TYAGI, R. D.; PANDEY, A. (org.). **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**. [S. l.]: Elsevier, 2017. p. 223–240. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63664-5.00010-1>. Acesso em: 28 dez. 2020.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G.; MENEGATTI, R. D.; SILVA, T. J. Different substrates for seedling production of Euterpe Oleracea Mart. **Advances in Horticultural Science**, v. 34, n. 1, p. 35–42, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13128/ahsc-7651>. Acesso em: 5 jan. 2021.

SOUZA, G. S.; SILVA, J. S.; OLIVEIRA, U. C.; NETO, R. B. S.; SANTOS, A. R. Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de plantas de alecrim cultivadas sob telas coloridas. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18010>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SRIDHAR, K. R.; AMBARISH, C. N. Pill millipede compost: a viable alternative to utilize urban organic solid waste. **Current Science**, v. 104, n. 11, p. 1543–1547, 2013. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24092479>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SRIVASTAVA, V.; SQUARTINI, A.; MASI, A.; SARKAR, A.; SINGH, R. P. Metabarcoding analysis of the bacterial succession during vermicomposting of municipal solid waste employing the earthworm *Eisenia fetida*. **Science of The Total Environment**, v. 766, p. 144389, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144389>. Acesso em: 23 mar. 2021.

STEFFEN, G.; ANTONIOLLI, Z.; STEFFEN, R.; MACHADO, R. Casca de arroz e esterco bovino como substratos para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de tomate e alface. **Acta Zoologica Mexicana**, v. 26, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262898>

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, D. R. da; KUNDE, R. J.; ARAÚJO, T. B. G. SUBSTRATOS ALTERNATIVOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*) EM SISTEMA ORGÂNICO. **REVISTA DA JORNADA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**, 2016.

SUN, Y.; MEN, M.; XU, B.; MENG, Q.; BELLO, A.; XU, X.; HUANG, X. Assessing key microbial communities determining nitrogen transformation in composting of cow manure using illumina high-throughput sequencing. **Waste Management**, v. 92, p. 59–67, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.007>. Acesso em: 6 abr. 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017.

THAKUR, P. C.; APURVA, P.; SINHA, S. K. Comparative study of characteristics of biocompost produced by millipedes and earthworms. **Advances in Applied Science Research**, v. 2, n. 3, p. 94–98, 2011. Disponível em: <https://www.imedpub.com/articles/comparative-study-of-characteristics-of-biocompost-produced-by-millipedes-and-earthworms.pdf>

TRAN, H. T.; LIN, C.; BUI, X. T.; ITAYAMA, T.; DANG, B. T.; CHERUIYOT, N. K.; HOANG, H. G.; VU, C. T. Bacterial community progression during food waste composting containing high dioctyl terephthalate (DOTP) concentration. **Chemosphere**, v. 265, p. 129064, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129064>. Acesso em: 1 mar. 2021.

VENTORINO, V.; IONATA, E.; BIROLO, L.; MONTELLA, S.; MARCOLONGO, L.; DE CHIARO, A.; ESPRESSO, F.; FARACO, V.; PEPE, O. Lignocellulose-Adapted Endo-Cellulase Producing *Streptomyces* Strains for Bioconversion of Cellulose-Based Materials. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02061>. Acesso em: 14 abr. 2021.

WANG, J.; LIU, Z.; XIA, J.; CHEN, Y. Effect of microbial inoculation on physicochemical properties and bacterial community structure of citrus peel composting. **Bioresource Technology**, v. 291, p. 121843, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121843>. Acesso em: 29 abr. 2021.

WANG, W.; ZHANG, Q.; SUN, X.; CHEN, D.; INSAM, H.; KOIDE, R. T.; ZHANG, S. Effects of mixed-species litter on bacterial and fungal lignocellulose degradation functions during litter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 141, p. 107690, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107690>. Acesso em: 9 abr. 2021.

WATTHIER, M.; SILVA, M. A. S.; SCHWENGBER, J. E.; FONSECA, F. D.; NORMBERG, A. PRODUÇÃO DE MUDAS E CULTIVO A CAMPO DE BETERRABA EM SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 51–57, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v6i2.328>. Acesso em: 23 mar. 2021.

WEI, H.; WANG, L.; HASSAN, M.; XIE, B. Succession of the functional microbial communities and the metabolic functions in maize straw composting process. **Bioresource Technology**, v. 256, p. 333–341, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.050>. Acesso em: 11 dez. 2020.

WEI, Y.; WU, D.; WEI, D.; ZHAO, Y.; WU, J.; XIE, X.; ZHANG, R.; WEI, Z. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. **Bioresource Technology**, v. 271, p. 66–74, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.081>. Acesso em: 14 abr. 2021.

WICKHAM, H. **ggplot2 - Elegant Graphics for Data Analysis**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9780387981413>. Acesso em: 23 mar. 2021.

WU, X.; SUN, Y.; DENG, L.; MENG, Q.; JIANG, X.; BELLO, A.; SHENG, S.; HAN, Y.; ZHU, H.; XU, X. Insight to key diazotrophic community during composting of dairy manure with biochar and its role in nitrogen transformation. **Waste Management**, v. 105, p. 190–197, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.010>. Acesso em: 23 nov. 2020.

XU, J.; JIANG, Z.; LI, M.; LI, Q. A compost-derived thermophilic microbial consortium enhances the humification process and alters the microbial diversity during composting. **Journal of Environmental Management**, v. 243, p. 240–249, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.008>. Acesso em: 1 mar. 2021.

XU, Z.; MA, Y.; ZHANG, L.; HAN, Y.; YUAN, J.; LI, G.; LUO, W. Relating bacterial dynamics and functions to gaseous emissions during composting of kitchen and garden wastes. **Science of The Total Environment**, v. 767, p. 144210, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144210>. Acesso em: 26 fev. 2021.

YIN, Y.; GU, J.; WANG, X.; ZHANG, K.; HU, T.; MA, J.; WANG, Q. Impact of copper on the diazotroph abundance and community composition during swine manure composting. **Bioresource Technology**, v. 255, p. 257–265, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.120>

YONG, J. W. H.; NG, Y. F.; TAN, S. N.; CHEW, A. Y. L. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. **Photosynthetica**, v. 48, n. 2, p. 208–218, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0026-3>. Acesso em: 29 dez. 2020.

ZHANG, S.; XIA, S.; SANG, W.; YUAN, J.; GUO, W. Evaluation of functional microbes in explaining biofilter performance during start-up1. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 123503, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123503>. Acesso em: 7 abr. 2021.

ZHANG, W.; YANG, K.; LYU, Z.; ZHU, J. Microbial groups and their functions control the decomposition of coniferous litter: A comparison with broadleaved tree litters. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 133, p. 196–207, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.009>. Acesso em: 3 maio. 2021.

ZHAO, Y.; LU, Q.; WEI, Y.; CUI, H.; ZHANG, X.; WANG, X.; SHAN, S.; WEI, Z. Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 196–203, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.117>. Acesso em: 29 abr. 2021.

ZHONG, X.-Z.; LI, X.-X.; ZENG, Y.; WANG, S.-P.; SUN, Z.-Y.; TANG, Y.-Q. Dynamic change of bacterial community during dairy manure composting process revealed by high-throughput sequencing and advanced bioinformatics tools. **Bioresource Technology**, v. 306, p. 123091, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123091>. Acesso em: 16 nov. 2020.

ZHONG, X.-Z.; MA, S.-C.; WANG, S.-P.; WANG, T.-T.; SUN, Z.-Y.; TANG, Y.-Q.; DENG, Y.; KIDA, K. A comparative study of composting the solid fraction of dairy manure with or without bulking material: Performance and microbial community dynamics. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 443–452, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.116>. Acesso em: 25 jan. 2021.

ZHOU, G.; QIU, X.; ZHANG, J.; TAO, C. Effects of seaweed fertilizer on enzyme activities, metabolic characteristics, and bacterial communities during maize straw composting. **Bioresource Technology**, v. 286, p. 121375, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121375>. Acesso em: 14 dez. 2020.