

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

LORRANE AGUIAR RODRIGUES

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Salvia splendens* E *Pachyveria glauca* EM SUBSTRATOS DE BIOCÁRVÃO DE
LODO DE ESGOTO E CASCA DE ARROZ**

**Montes Claros
2017**

Lorrane Aguiar Rodrigues

PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Salvia splendens* E *Pachyveria glauca* EM SUBSTRATOS DE BIOCÁRVÃO DE LODO DE ESGOTO E CASCA DE ARROZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Reginaldo Arruda Sampaio

Coorientador: Elka Fabiana Aparecida Almeida

Montes Claros
Junho de 2017

A282p
2017

Rodrigues, Lorrane Aguiar.

Produção de mudas de *Salvia splendens* e *Pachyveria glauca* em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz / Lorrane Aguiar Rodrigues. Montes Claros, 2017.

92 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Regynaldo Arruda Sampaio.

Banca examinadora: Elka Fabiana Aparecida Almeida, Claudineia Ferreira Nunes, Leandro Silva de Oliveira.

Inclui referências

1. Lodo de esgoto. 2. Viveiros de mudas. 3. Substratos. I. Sampaio, Regynaldo Arruda. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 628.3

Lorrane Aguiar Rodrigues

Produção de mudas de *Salvia splendens* e *Pachyveria glauca* em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Profa. Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida
UFMG

Profa. Dra. Claudineia Ferreira Nunes
UFMG

Prof.Dr. Leandro Silva de Oliveira
UFMG

Prof. Dr. Reginaldo Arruda Sampaio
(Orientador)
UFMG

Montes Claros, 21 de Junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao meu bondoso Deus, por iluminar a minha vida e permitir-me concluir esta etapa tão importante. Sou grata pelas Suas infinitas bênçãos e pelas pessoas que colocou em meu caminho, as quais contribuíram para a execução deste trabalho.

Aos meus pais, Antônio Carlos e Jacqueline, e a minha irmã Patrícia, que sempre incentivaram meus estudos e também foram grandes incentivadores pela busca incessante de conhecimento.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e a seu corpo docente, pela oportunidade de realizar o mestrado em uma universidade tão conceituada.

Ao meu orientador, prof. Regynaldo Arruda Sampaio, por ter-me acolhido como orientanda no mestrado, além de ter compartilhado a sua experiência e conhecimento com humildade, simplicidade e paciência.

À prof. Elka Fabiana Aparecida Almeida, pela coorientação, ensinamentos, conselhos acadêmicos e profissionais durante a elaboração deste trabalho.

Ao prof. Fernando Colen, pela concessão de uso do Laboratório de Biodigestão, pelas valiosas sugestões e ensinamentos durante a pesquisa.

À Josiana Jussara, pela amizade a mim dispensada e por tornar esta etapa mais alegre e descontraída. Obrigada pela ajuda em diversos momentos, desde finais de semana, feriados até madrugadas em laboratório, pelo companheirismo e auxílio na condução dos experimentos.

À Maria Shirley, pela prestatividade e auxílio em diversos momentos da pesquisa.

Ao coordenador do viveiro de plantas ornamentais do ICA/UFMG, sr. Davi, bem como a toda equipe de funcionários do setor, com os quais tive o prazer de conviver diariamente: Sr. Adão, Hildon, Oziel, Neto, Cristino, Sr. Valdir, Cesar, Adriano, João e Willian. Agradeço pela cessão do espaço e auxílio na condução do experimento, pelos cafés, boa conversa e pela forma gentil com que sempre me trataram.

Aos funcionários do Laboratório de Resíduos, pelas informações e auxílio na realização das análises químicas.

Aos funcionários da Biblioteca do ICA/UFMG, sempre atenciosos e gentis. Agradecimento especial ao bibliotecário Josiel Santos, pelos treinamentos oferecidos e à bibliotecária Raquel, pelas revisões deste trabalho.

À Faculdade Santo Agostinho e seu corpo docente do curso de Engenharia Ambiental, que sempre contribuiu para os meus estudos, mesmo após o término de minha graduação, os quais até hoje contribuem para o meu aperfeiçoamento profissional e acadêmico. Em especial, agradeço à profa. Mônica Durães Braga, que pelo Grupo de Pesquisa SARHi, despertou em mim o interesse pelas pesquisas e pelo mundo acadêmico.

À Copasa, pela cessão do lodo de esgoto utilizado neste experimento.

Ao meu tio Leonardo, pela ajuda na coleta do lodo de esgoto.

Ao amigo David, pela amizade, ajuda e por sempre me incentivar com os estudos.

Aos amigos: Eloísa, Leiliane, Sandro, Fernando, Josiana e Pabulo, pela amizade, risadas, conselhos e boas conversas.

E, por fim, agradeço também àqueles que, durante este período, colocaram diversos empecilhos. Nessas horas, refugiei-me em Cristo e fiz valer o que está escrito no livro de Salmos 3:2-5.

A todos aqueles que me ajudaram, de forma direta ou indireta, deixo aqui registrado o meu **MUITO OBRIGADA** e que Deus lhes retribua em dobro!

“O Senhor não vê como o homem: o homem vê a aparência, mas o Senhor vê o coração”.

1 Samuel 16:7

PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Salvia splendens* E *Pachyveria glauca* EM SUBSTRATOS DE BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO E CASCA DE ARROZ

RESUMO GERAL

A produção do lodo de esgoto, subproduto dos serviços de saneamento, tende a aumentar gradualmente em virtude do aumento da urbanização e do crescimento populacional. Diversos procedimentos têm sido adotados para o seu descarte: disposição em aterros sanitários, incineração, *landfarming*, aplicação na agricultura e em plantios florestais. O aumento da geração do lodo, bem como as dificuldades encontradas para a sua destinação final, tem motivado a pesquisa voltada ao desenvolvimento de tecnologias que promovam o aproveitamento correto deste resíduo. Dentre estes, grande atenção tem sido dada à pirólise do lodo, com vista a convertê-lo em subproduto de valor agregado. O biocarvão, subproduto da pirólise, tem potencial para fornecer benefícios como o armazenamento de carbono e melhoria das propriedades do solo, capaz de minimizar os impactos ambientais negativos, decorrentes da destinação final dos resíduos de biomassa, dando um fim nobre ao resíduo por meio de sua reinserção no meio ambiente. Uma das formas de utilização do biocarvão é como substrato, para produção de mudas diversas, pelas suas características benéficas como a melhoria das suas propriedades físicas. Dentro da horticultura, um dos segmentos que tem se expandido ultimamente é a floricultura, em função de sua rentabilidade. Neste setor, há grande demanda pelo uso de substratos agrícolas. O uso dos substratos para produção de mudas é de grande importância, pois a qualidade da muda depende, também, do substrato empregado em seu cultivo. A aplicação do biocarvão, na produção de mudas de espécies ornamentais, apresenta vantagens quanto às culturas agrícolas, uma vez que os produtos oriundos destas plantas não são comestíveis, minimizando os riscos de contaminação do homem, surgindo como alternativa promissora de gestão desse resíduo. Ainda, as plantas ornamentais se destacam por sua beleza, sendo bastante valorizadas no mercado nacional e internacional. Objetivou-se com este trabalho: 1) produzir biocarvão (BC) a partir do lodo de esgoto (LE) e casca de arroz (CA); 2) avaliar o crescimento e desenvolvimento de mudas de *Salvia splendens* e *Pachyveria glauca* em substratos compostos por doses crescentes de biocarvão. Os tratamentos corresponderam às misturas de biocarvão, nas seguintes proporções: 0% LE + 100% CA; 20% LE + 80% CA; 40% LE + 60% CA; 60% LE + 40% CA; 80% LE + 20% CA; e 100% LE + 0% CA e um tratamento controle constituído por substrato comercial Bioplant®. O delineamento estatístico do experimento foi em blocos casualizados, totalizando 7 tratamentos e 4 repetições. Foram obtidos os seguintes resultados: 1) as diferentes proporções de LE e CA nos substratos não influenciaram a velocidade de emergência e a porcentagem de sementes emergidas de *Salvia splendens*; 2) as proporções de LE e CA entre 20-80% proporcionaram plantas com qualidade igual ou superior ao substrato comercial, no que se refere à altura e diâmetro da planta, comprimento da inflorescência e número de flores; 3) substratos compostos por biocarvão somente de LE ou CA não são os mais adequados à produção de mudas; 4) a utilização de apenas BCCA ou o emprego de doses de BCLE até 20% do substrato favorece brotação mais rápida das estacas de *Pachyveria glauca*; 5) as misturas de BCCA+BCLE proporcionaram um meio de cultivo adequado à produção de mudas de *Pachyveria glauca*, uma vez que produziu mudas com características biométricas equivalentes ao tratamento controle e com aspecto ornamental apto para comercialização; 6) a conversão do LE em biocarvão, para uso como substrato agrícola, comprova-se como uma alternativa promissora para a destinação ambientalmente correta do resíduo.

Palavras-Chaves: Biossólido. Reciclagem de resíduos. Substratos orgânicos alternativos.

**SEEDLING PRODUCTION OF *Salvia splendens* AND *Pachyveria glauca* IN BIODIVERSE
SUBSTRATES OF SEWAGE SLUDGE AND NUTS OF RICE**

GENERAL ABSTRACT

The production of sewage sludge, a byproduct of sanitation services, tends to increase gradually as a result of increased urbanization and population growth. Several procedures have been adopted for disposal: disposal in landfills, incineration, landfarming, application in agriculture and in forest plantations. The increase in sludge generation, as well as the difficulties encountered for its final destination, has motivated the research focused on the development of technologies that promote the correct use of this residue. Among these, great attention has been given to the pyrolysis of sludge, with a view to converting it into added-value by-products. Biochar, a byproduct of pyrolysis, has the potential to provide benefits such as carbon storage and improved soil properties, which can minimize the negative environmental impacts resulting from the final disposal of biomass residues, giving a noble end to the waste through its reinsertion into the environment. One of the ways of using biochar is as a substrate for the production of various seedlings, due to its beneficial characteristics like slow release of nutrients and improvement of their physical properties. Within horticulture, one of the segments that has been expanding lately is floriculture, due to its profitability. In this sector, there is great demand for the use of agricultural substrates. The use of substrates for the production of seedlings is of great importance, since the quality of seedling also depends on the substrate used in its cultivation. The application of biochar in the production of ornamental plant seedlings has advantages over agricultural crops, since the products from these plants are not edible, minimizing the risks of contamination of man, appearing as a promising alternative for the management of this residue. Still, ornamental plants stand out for their beauty, being highly valued in the national and international market. The objective of this work was: 1) to produce biochar (BC) from sewage sludge (LE) and rice husk (CA); 2) to evaluate the growth and development of saplings of *Salvia splendens* and *Pachyveria glauca* on substrates composed of increasing doses of biochar. The treatments corresponded to the biochar in the following proportions: 0% LE + 100% CA; 20% LE + 80% CA; 40% LE + 60% CA; 60% LE + 40% CA; 80% LE + 20% CA; And 100% LE + 0% CA, and a control treatment consisting of Bioplant® commercial substrate. The statistical design of the experiment was in randomized blocks, totaling 7 treatments and 4 replicates. The following results were obtained: 1) the different proportions of LE and CA in the substrates did not influence the emergence speed and the percentage of emerged seeds of *Salvia splendens*; 2) the proportions of LE and CA between 20-80% provided plants with a quality equal to or higher than the commercial substrate, with respect to plant height and diameter, inflorescence length and number of flowers; 3) substrates composed of biochar only from LE or CA are not the most suitable for seedling production; 4) the use of BCCA only or the use of BCLE doses up to 20% of the substrate favors faster sprouting of *Pachyveria glauca* cuttings; 5) BCCA + BCLE mixtures provided a suitable culture medium for the production of *Pachyveria glauca* seedlings, since it produced seedlings with biometric characteristics equivalent to the control treatment and with ornamental appearance suitable for commercialization; 6) the conversion of LE into biochar for use as an agricultural substrate proves to be a promising alternative for the environmentally correct disposal of the residue.

Keywords: Biosolids. Waste recycling. Alternative organic substrates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – <i>Salvia splendens</i>	23
Figura 2 – <i>Pachyveria glauca</i>	24
4 ARTIGOS.....	31
Figura 1: Localização da área experimental	35
Figura 2 – Mudanças de <i>Salvia splendens</i> aos 40 dias após a semeadura.....	40
Figura 3 – Mudanças de <i>Salvia splendens</i> transplantadas para recipientes plásticos, aos 60 dias após a semeadura.....	40
Figura 4 – Avaliação do diâmetro do coleto (A) e altura da parte aérea (B) de <i>Salvia splendens</i>	41
Figura 5 – Equações de regressão para as variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/DC (RHDC) de mudas de <i>Salvia splendens</i> , produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de BCCA e BCLE, aos 60 dias. ns, ** = não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente	44
Figura 6 - Mudanças de <i>Salvia splendens</i> produzidas em substratos compostos por biochar de lodo de esgoto (BCLE) e biochar de casca de arroz (BCCA). Nota: T1 = 100%BCCA; T2 = 80%BCCA + 20%BCLE; T3 = 60% BCCA + 40% BCLE; T4 = 40% BCCA + 60% BCLE; T5 = 20% BCCA + 80% BCLE; T6 = 100% BCLE; T7 = Substrato comercial	45
Figura 7 – Análise de regressão de matéria seca de raiz, matéria seca parte aérea, matéria seca da inflorescência e matéria seca total sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante. Nota: BCLE = biocarvão de lodo de esgoto	47
Figura 8 – Análise de regressão para as variáveis número de folhas, número de flores, comprimento da inflorescência, diâmetro de coleto e Índice de Qualidade de Dickson sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante	49
Figura 9 – Análise de regressão para o conteúdo de macronutrientes na parte aérea de <i>Salvia splendens</i> sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante	52
Figura 10 – Análise de regressão para o conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea de <i>Salvia splendens</i> sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante	54
Figura 11 – Mudanças de <i>Salvia splendens</i> aos 150 dias (final do experimento).....	55
6 Artigo 2 – Produção de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> por meio de estaquia em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz	63
Figura 1 – Estacas de <i>Pachyveria glauca</i> dispostas na bandeja com os diferentes tratamentos de BCCA/BCLE. Fonte: da autora (2016)	65
Figura 2 – Mudanças de <i>Pachyveria glauca</i> , transplantadas aos 75 dias.....	66

Figura 3 – Equações de regressão para as variáveis índice de velocidade de brotação (A) e altura de planta (B) de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> , produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 75 dias após o plantio	68
Figura 4 – Equações de regressão para as variáveis altura de planta (A), número de folhas por planta (B) e comprimento da raiz pivotante (C) de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> produzidas em substratos compostos por diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 150 dias após o plantio	70
Figura 5 – Equações de regressão para as variáveis massa fresca radicular (A) e aérea (B), massa seca parte aérea (C) e total (D) de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 150 dias após o plantio.....	73
Figura 6 - Mudas de <i>Pachyveria glauca</i> produzidas em substratos compostos por BCLE e BCCA. Nota: T1 = 100%BCCA; T2 = 80%BCCA + 20%BCLE; T3 = 60% BCCA + 40% BCLE; T4 = 40% BCCA + 60% BCLE; T5 = 20% BCCA + 80% BCLE; T6 = 100% BCLE; T7 = Substrato comercial	74
Figura 7 – Equações de regressão para o conteúdo de macronutrientes na parte aérea de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> , produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de BCCA e BCLE, aos 150 dias após o plantio. Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t	77
Figura 8 – Equações de regressão para o conteúdo de micronutrientes na parte aérea de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> , produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de BCCA e BCLE, aos 150 dias após o plantio.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologias de pirólise e parâmetros dos processos	19
Tabela 2 – Distribuição geográfica da produção de flores e plantas ornamentais em Minas Gerais	22
4 ARTIGOS.....	31
Tabela 1 – Caracterização química e físico-química da matéria-prima e do biochar	37
Tabela 2 – Tratamentos compostos por diferentes proporções de biocarvão de casca de arroz (BCCA) e biocarvão de lodo de esgoto (BCLE) utilizados no experimento.	39
Tabela 3 - Análise química da mistura solo/esterco utilizada na produção de mudas de Sálvia	41
Tabela 4 – Porcentagem de germinação e emergência de sementes de <i>Salvia splendens</i> em substratos com diferentes proporções de BCCA e BCLE	42
Tabela 5 – Valores médios de altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/DC de mudas de <i>Salvia splendens</i> produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 60 dias	43
Tabela 6 – Valores médios de matéria seca de raiz (MSR), matéria seca parte aérea (MSPA), matéria seca da inflorescência (MSI) e matéria seca total (MST) das plantas sob tratamentos com diferentes proporções de biochar de lodo de esgoto (BCLE) e biochar de casca de arroz (BCCA), aos 90 dias após o transplante	46
Tabela 7 – Valores médios do número de folhas (NF), número de flores (NFL), comprimento da inflorescência (CI), altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação H/DC e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) sob tratamentos com diferentes proporções de biochar de lodo de esgoto (BCLE) e biochar de casca de arroz (BCCA), aos 90 dias após o transplante	48
Tabela 8 – Médias do conteúdo de macronutrientes na parte aérea de <i>Salvia splendens</i>	51
Tabela 9 – Médias do conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea de <i>Salvia splendens</i>	53
(Continua).....	53
Tabela 9 – Médias do conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea de <i>Salvia splendens</i>	54
(Conclusão)	54
Tabela 10 – Análise do solo utilizado no experimento, sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, ao término do experimento.....	56
Tabela 11 – Análise do solo utilizado no experimento, sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, ao término do experimento.....	57
6 Artigo 2 – Produção de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> por meio de estaquia em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz	63
Tabela 1 – Caracterização química e física da matéria-prima e do <i>biochar</i>	66

Tabela 2 - Tratamentos utilizados no experimento	64
Tabela 3 - Análise química da mistura solo/esterco utilizada no experimento	66
Tabela 4 – Valores médios da velocidade de brotação (IVB), emergência (E), altura (H) e número de folhas (NF) de <i>Pachyveria glauca</i> , aos 75 dias, em função dos tratamentos com biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE) e do substrato comercial	67
Tabela 5 – Valores médios de altura (H), número de folhas (NF) e comprimento da raiz principal (CR) de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> , produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 150 dias de plantio.....	69
Tabela 6 – Valores médios de massa fresca das raízes (MFR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE)	72
Tabela 7 – Médias dos conteúdos de macronutrientes na parte aérea de <i>Pachyveria glauca</i>	75
Tabela 8 – Médias dos conteúdos de micronutrientes na parte aérea de <i>Pachyveria glauca</i>	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Lodo de esgoto: características e aplicação para fins agrícolas.....	17
3.2	Casca de arroz para utilização agrícola.....	18
3.3	Processos termoquímicos de conversão da biomassa.....	18
3.4	Biocarvão.....	19
3.5	Substratos renováveis para a produção de mudas.....	21
3.6	Floricultura.....	22
3.6.1	<i>Salvia splendens</i>	23
3.6.2	<i>Pachyveria glauca</i>	24
3.7	Referências	25
4	ARTIGOS.....	31
4.1	Artigo 1 – Produção de mudas, crescimento inicial e desenvolvimento de <i>Salvia splendens</i> em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz.....	31
1	Introdução.....	33
2	Material e métodos	34
3	Área experimental	34
4	Produção do biocarvão.....	35
3	Experimento 1: produção de mudas de <i>Salvia splendens</i> em biocarvão	39
3.1	Delineamento e implantação do experimento.....	39
3.2	Experimento 2: Crescimento e desenvolvimento de <i>Salvia splendens</i> em função do substrato utilizado para produção de mudas	40
3.2.1	Delineamento experimental e implantação do experimento 2	40
3.3	Avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas.....	41
3.4	Análise estatística dos dados.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42

4.1 Ensaio de germinação da <i>Salvia splendens</i>	42
4.1.1 Germinação e sobrevivência das sementes	42
4.2 Avaliação morfológica das mudas.....	43
4.3 Ensaio de crescimento e desenvolvimento da <i>Salvia splendens</i> após o transplântio.....	46
4.3.1 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas.....	46
4.3.2 Análise foliar	50
4.3.3 Influência do biocarvão na mistura solo/esterco	56
5 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS.....	58
6 Artigo 2 – Produção de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> por meio de estaquia em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz	63
1 INTRODUÇÃO.....	63
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
2.1 Área experimental	65
2.2 Produção do biocarvão.....	65
2.2 Experimento 1: Produção de mudas de <i>Pachyveria glauca</i> em biocarvão.....	64
2.2.1 Delineamento e implantação do experimento	64
2.3 Experimento 2: Crescimento e desenvolvimento de <i>Pachyveria glauca</i> em função do substrato utilizado para produção de estacas.....	65
2.3.1 Delineamento experimental e implantação do experimento 2	65
2.3.2 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas.....	66
2.3.3 Análise estatística dos dados.....	66
7 RESULTADO E DISCUSSÃO	67
7.1 Ensaio de germinação e adaptação da <i>Pachyveria glauca</i>	67
7.2 Ensaio de crescimento e desenvolvimento da <i>Pachyveria glauca</i> após o transplântio.....	69
7.2.1 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas.....	69
7.2.2 Análise foliar	75
8 CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

A geração do lodo de esgoto, subproduto dos serviços de saneamento básico, vem aumentando em virtude do crescimento da população e do aumento da urbanização, sendo resíduo com significativo potencial poluidor, se não tratado e disposto de forma ambientalmente correta. São várias as formas de disposição final e, atualmente, o lançamento em aterros sanitários, ainda, é a principal forma de descarte, como também a incineração e o uso agrícola, sendo esta última a destinação mais correta em termos socioambientais.

Recentemente, a disposição de resíduos sólidos recicláveis ou reutilizáveis em aterros sanitários foi proibida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, o que incentivou a busca por novas tecnologias e soluções de gerenciamento e descarte ambientalmente correto do lodo de esgoto. Dentre essas tecnologias, têm-se voltado os olhares para a pirólise do lodo de esgoto, com vista a converter esta biomassa residual em subprodutos de alto valor agregado.

O biocarvão ou biochar consiste em um dos subprodutos pirolíticos, cujas pesquisas recentes têm comprovado os seus potenciais benefícios como agente de melhoria da fertilidade do solo, bem como de suas características físicas e sequestro de carbono, além da grande estabilidade do material, uma vez que o carbono pirogênico pode permanecer no solo por longos períodos. Diversas biomassas residuais têm sido utilizadas como matéria-prima para produção de biocarvão, como lodo de esgoto, resíduos vegetais, casca de arroz, fibra de coco, dejetos animais, bagaço de cana, dentre outros.

Além do uso como agente de melhoria das propriedades físico-químicas do solo, alguns estudos têm sido realizados a fim de diagnosticar o potencial de uso dos biocarvões como componente de substratos à produção de mudas, em diversos setores, como a silvicultura e horticultura, diante das propriedades benéficas apresentadas pelos biocarvões, sempre visando à associação dos materiais, conforme as suas propriedades físicas e químicas, de modo a se alcançar um meio de cultivo ideal para utilização como substrato. Na horticultura, um dos setores que mais demanda o uso por substratos agrícolas é a floricultura, em função de sua rentabilidade e grande demanda do mercado consumidor por flores e plantas ornamentais, tanto para comercialização no Brasil quanto para exportação.

Nesse sentido, optou-se, no presente trabalho, por produzir e caracterizar o biocarvão proveniente de dois resíduos distintos: o lodo de esgoto gerado na ETE Vieira, em Montes Claros e a casca de arroz oriunda de empresas de beneficiamento da região, a fim de diagnosticar o potencial de uso destes dois biocarvões como componentes de substrato à produção de mudas de espécies ornamentais. Optou-se por utilizar duas espécies ornamentais para teste: a *Salvia splendens*, propagada por meio de sementes e altamente exigente em termos nutricionais e a *Pachyveria glauca*, suculenta xerófila, bastante resistente à seca, propagada por meio de estaquia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Produzir e caracterizar o biocarvão de lodo de esgoto e biocarvão de casca de arroz, a fim de diagnosticar o seu potencial de uso como substrato à produção de mudas de *Salvia splendens* e *Pachyveria glauca*.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência do biocarvão de lodo de esgoto e do biocarvão de casca de arroz como substratos à produção de mudas de *Salvia splendens*, propagada por meio de sementes e *Pachyveria glauca*, propagada por meio de estaquia;
- Verificar se substratos compostos unicamente por biocarvão de lodo de esgoto e biocarvão de casca de arroz, em diferentes proporções, são adequados ao crescimento e desenvolvimento dessas plantas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Lodo de esgoto: características e aplicação para fins agrícolas

O lodo de esgoto é o material oriundo dos processos de tratamento primário e secundário de efluentes, sendo um subproduto deste tratamento, de composição variável em função das características do efluente, do seu caráter sazonal e das peculiaridades da região onde é produzido (ANDREOLI, 2001; SINGH, AGRAWAL, 2008).

Em sua composição, o lodo de esgoto apresenta altos teores de matéria orgânica, macro e micronutrientes, organismos patogênicos e, também, elementos tóxicos como metais pesados e poluentes orgânicos diversos, substâncias que podem causar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente (WANG *et al.*, 2008; JONES *et al.*, 2014). Nesse sentido, o lodo de esgoto gerado nos serviços de saneamento necessita de tratamento e disposição final adequada, visando à obtenção de um material estabilizado (ANDREOLI, 2001; VON SPERLING, 2014).

O gerenciamento do lodo nas estações de tratamento consiste em um dos maiores desafios do saneamento, pelo seu alto custo e complexidade de sua disposição (ACHON *et al.*, 2013). Diversas são as formas de disposição final deste resíduo, como aterros sanitários, incineração, *landfarming*, na recuperação de áreas degradadas e na reciclagem agrícola (ANDREOLI, 2001; VON SPERLING, 2014). Pelo seu alto teor de nutrientes e matéria orgânica, a aplicação agrícola do lodo de esgoto tem sido considerada a melhor alternativa à destinação final do resíduo (BERTON; NOGUEIRA, 2010; ZULOAGA *et al.*, 2012; BOURIOUG *et al.*, 2015; BAI *et al.*, 2016), além de ser recomendada pela Agenda 21 brasileira (MMA, 2014). O uso agrícola consiste na disposição mais vantajosa, em termos de sustentabilidade (TSUTIYA *et al.*, 2002), em que a matéria é devolvida de forma benéfica e ambientalmente correta ao sistema.

Andreoli (2001); Melo *et al.* (2002) ressaltam que o lodo de esgoto deve cumprir uma série de requisitos biológicos e químicos de modo a garantir uma segurança ambiental, durante a sua utilização, para fins agrônômicos. Esses requisitos, também, estão preconizados na Resolução CONAMA nº 357, de 29 de Agosto de 2006.

A utilização agrícola do lodo proporciona diversos benefícios agrônômicos, tais como aumento do teor de matéria orgânica e melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (BONINI, 2015; SAMPAIO, 2012). Santos *et al.* (2014) relatam que o teor de nutrientes no solo aumenta, consideravelmente, por meio da aplicação desse material, que, segundo Berton e Nogueira (2010), possibilita maior ganho econômico quanto à aplicação de fertilizantes químicos.

3.2 Casca de arroz para utilização agrícola

O arroz é um dos principais produtos alimentícios consumidos no Brasil, visto que o país ocupa o primeiro lugar no *ranking* de produção do cereal no Mercosul, responsável por cerca de 78,27% da produção do bloco (CONAB, 2014).

A casca de arroz é um material lignocelulósico, o qual consiste no principal resíduo agroindustrial, proveniente do processo de beneficiamento do grão, composta por materiais orgânicos como a celulose, hemicelulose e lignina (LIOU, 2004), correspondendo entre 20 e 25% da massa do produto colhido (MATOS, 2014), além de elevado teor de sílica e cinzas (CHIANG *et al.*, 2009).

Segundo Huang *et al.* (2013); Morais *et al.* (2014), para cada tonelada de grãos de arroz colhidos são geradas, aproximadamente, 1,35 toneladas de casca de arroz. Dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos mostram que, no Brasil, a quantidade deste resíduo gerada é de 2.530.355 toneladas/ano, o que evidencia a necessidade de destiná-lo de forma ambientalmente correta, pela sua ampla disponibilidade e acúmulo em locais de beneficiamento do grão (BRASIL, 2011). Em virtude de suas características como baixo valor nutritivo, fibrosidade e degradação lenta no solo, torna-se difícil o seu reaproveitamento (SCHETTINO JR. *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2014).

A principal forma de destinação final da casca de arroz é a queima do resíduo, que diminui, consideravelmente, o seu volume e elimina a presença de potenciais patógenos presentes no material (NGUYEN *et al.*, 2015). Entretanto a queima a céu aberto emite gases do efeito estufa, tornando o procedimento inviável do ponto de vista ambiental (MORAIS *et al.*, 2014). Após a queima, a casca de arroz é amplamente utilizada como substrato e condicionadora de solos por apresentar superfície específica altamente porosa, proporcionando uma boa drenagem, aeração e troca de ar na base das raízes (BARBOSA; LOPES, 2007; MINAMI; SALVADOR, 2010). Park *et al.* (2014) destacam que a pirólise da casca de arroz é uma tecnologia viável, para a gestão desse resíduo, reduzindo seu volume, tornando-o estéril e convertendo-o em produtos aptos à aplicação agrícola, como o biocarvão, com potencial para melhoria da fertilidade do solo e aumento de produtividade das culturas.

3.3 Processos termoquímicos de conversão da biomassa

Dentre os processos de transformação de resíduos e biomassas, os comumente utilizados consistem na combustão, gaseificação; pirólise lenta, rápida e *flash* (MEYER *et al.*, 2011; BRAND, 2010). A diferenciação destes processos se baseia, principalmente, na taxa de aquecimento, tempo de residência e na temperatura, características que vão gerar produtos diferenciados ao final do processo (BRAND, 2010).

O principal processo termoquímico, para produção do biocarvão, é a pirólise, definida como o aquecimento da biomassa em uma atmosfera limitada de oxigênio, a qual proporciona a geração de uma fração sólida rica em carbono (biocarvão), uma fração volátil composta por

gases e vapores orgânicos condensáveis (biogás), além do líquido pirolenhoso denominado bio-óleo (COLLARD; BLIN, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

O processo de pirólise pode ser lento, rápido ou *flash*, diferenciado em função da temperatura e do tempo de residência no processo (MEYER *et al.*, 2011; CHEN *et al.*, 2016), o que vai influenciar no produto final obtido (TABELA 1).

Tabela 1 – Tecnologias de pirólise e parâmetros dos processos

Tecnologia de pirólise	Tempo de residência (s)	Taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Produto principal
Lenta	>450	<1	300-700	Biocarvão
Rápida	0,5-10	10-300	550-1000	Bio-óleo
<i>Flash</i>	<0,5	>1000	800-1100	Bio-óleo e gás

Fonte: Adaptado de Chen *et al.* (2016).

Durante a pirólise lenta, a taxa de aquecimento é baixa, aproximadamente, $0,1 - 2 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$, proporcionando maior rendimento de biocarvão; enquanto o processo de pirólise rápida favorece a formação do bio-óleo, em taxas de aquecimento mais elevadas, desde que controlados adequadamente aos parâmetros do processo (BAHNG *et al.*, 2009; VIEIRA-NETO, 2012). A pirólise *flash* é realizada em poucos segundos sob temperaturas elevadas, gerando como produtos o bio-óleo ou o gás combustível, uma vez que o aumento brusco da temperatura maximiza a produção de frações voláteis (TRIPATHI *et al.*, 2016). A realização do processo de pirólise visa à obtenção de produtos com elevada densidade energética e melhores propriedades químicas (TRIPATHI *et al.*, 2016).

Recentemente, maior ênfase vem sendo dada aos estudos sobre a pirólise de diferentes biomassas para a produção de biocarvão, dentre elas, o lodo de esgoto. A pirólise do lodo de esgoto pode ser uma alternativa viável para sua gestão, quando comparada à sua disposição em aterros sanitários e aplicação direta no solo, uma vez que irá reduzir o volume do resíduo e eliminar a presença de patógenos (HOSSAIN, 2011). Diversos estudos sobre a pirólise do lodo de esgoto já foram realizados, obtendo resultados satisfatórios na produção de adsorventes (VIANA, 2013), carvão ativado (LIU *et al.*, 2010), bio-óleo (XIE *et al.*, 2014) e biocarvão (MENDEZ *et al.*, 2013). O biogás e o bio-óleo são utilizados como energia alternativa, e o biocarvão é um produto sólido rico em carbono com potencial para melhorar a fertilidade do solo (HOSSAIN, 2010; AGRAFIOTI *et al.*, 2013), geralmente, obtido em temperaturas de pirólise inferiores a 700°C (REBOLLEDO *et al.*, 2016), mostrando que a conversão dos resíduos orgânicos, por meio deste processo termoquímico, é alternativa promissora para a sua destinação final ambientalmente correta (HOSSAIN, 2011).

3.4 Biocarvão

As terras pretas de índio da Amazônia estão entre os solos mais férteis do mundo, com alta qualidade agronômica, grande estoque de carbono e fertilidade elevada (MAIA, 2010), de

ocorrência em uma região onde há o predomínio de solos mais intemperizados, pobres e ácidos (LIMA, 2001).

Alguns estudos remetem o surgimento das terras pretas de índio ao manejo de resíduos feitos pelos povos antigos da Amazônia, os quais eram carbonizados e incorporados ao solo, dando origem, assim, a uma terra antrópica de coloração escura, rica em matéria orgânica, pedaços de carvão e fragmentos arqueológicos que remetem a grandes assentamentos de populações que ali viveram no passado (KAMPF; KERN, 2005). A tentativa de recriar essa terra preta de índio acabou se tornando uma boa inspiração para o manejo ambientalmente correto de resíduos, por meio do biocarvão (REBOLLEDO *et al.*, 2016; NOVOTNY *et al.*, 2015).

O biocarvão vem sendo utilizado como fertilizante, agente de melhoria das propriedades físico-químicas dos solos e fornecedor de nutrientes para culturas, além de constituir uma ferramenta capaz de promover o sequestro de carbono em solos agrícolas (NOVOTNY *et al.*, 2015; HAMZAH *et al.*, 2013).

Segundo Dumroese *et al.* (2011), pelos benefícios proporcionados pelo biocarvão, ele tem potencial para uso como substrato para produção de mudas em viveiros, desde que utilizados recipientes de volume menores que 500mL. Kaudal *et al.* (2015), ao caracterizar biocarvões provenientes de biossólidos e resíduos verdes, constatou que por suas propriedades físico-químicas, como elevada porosidade, alta capacidade de retenção de água e teor de nutrientes, são viáveis para utilização como componentes de substratos.

Diversos estudos têm sido realizados sobre a pirólise de materiais orgânicos para produção do biocarvão, utilizando bagaço de cana (PICCOLLA, 2013), lodo de esgoto (SOUSA, 2015; SONG *et al.*, 2014; AGRAFIOTI *et al.*, 2013), serragem de *pinus* (TRAZZI, 2014), fibra de coco (MAIA, 2013); casca de arroz, serragem e restos de silagem de sorgo (SILVA, 2016), dentre outros. O biocarvão apresenta uma composição química rica em carbono, entretanto as suas propriedades químicas finais são dependentes da matéria-prima utilizada na produção e das condições pirolíticas empregadas no seu processo produtivo (AGRAFIOTI *et al.*, 2013; MENDEZ *et al.*, 2013).

Dentre os principais benefícios agrônômicos do biocarvão, podem-se citar o aumento da porosidade e estabilidade dos agregados do solo (HERATH *et al.*, 2013), aumento da capacidade de troca catiônica e de carbono da biomassa microbiana em solos degradados (JIEN; WANG, 2013), bem como o incremento na produtividade das culturas (HOSSAIN *et al.*, 2010).

No contexto atual, o biocarvão torna-se uma tecnologia promissora, principalmente pelo seu baixo custo e pela sustentabilidade associada ao processo, tendo em vista a utilização de materiais ricos em matéria orgânica para a sua produção e o retorno desses nutrientes ao meio ambiente por meio da sua aplicação no solo (QIAN *et al.*, 2015).

3.5 Substratos renováveis para a produção de mudas

O substrato consiste em um meio de suporte para a propagação de espécies diversas, tendo como funções principais a fixação das raízes e o fornecimento de nutrientes para as plantas, além de atuar como condicionador de solos (MINAMI; SALVADOR, 2010; KAMPF, 2000).

Os substratos para produção de mudas são formulados, a partir da mistura de diversos materiais orgânicos ou minerais, tais como casca de arroz, casca de pinus, fibra de coco, vermiculita, restos de poda compostados, perlita, areia e resíduos urbanos (BARBOSA; LOPES, 2007), os quais são geralmente utilizados de acordo com a sua disponibilidade na região.

Segundo Minami e Salvador (2010), um bom substrato deve possuir boa capacidade de retenção de água, baixa densidade, porosidade total em torno de 85%, além de pH adequado, boa CTC e teor de nutrientes suficiente, para atender às demandas da espécie, durante seu cultivo em recipientes no viveiro. Essas propriedades físico-químicas devem proporcionar o adequado suprimento de ar, água e nutrientes para as raízes e permitir o bom desenvolvimento radicular (CARON *et al.*, 2015). Segundo Kratz *et al.* (2011), as propriedades dos substratos são variáveis, principalmente, em função do material de origem e das proporções utilizadas nas misturas.

Difícilmente se encontra um único material que atenda a todas as exigências, para um bom substrato, sendo comum a mistura dos materiais e o enriquecimento com fertilizantes para se conseguir um equilíbrio, nas propriedades físico-químicas do substrato, de modo a atender as necessidades da espécie a ser cultivada (MINAMI; SALVADOR, 2010).

Recentemente, grande atenção tem sido dada ao potencial de uso do biocarvão como componente de substrato para a propagação de espécies diversas, em função das suas características como porosidade e densidade adequada, tamanho de partículas ideal e disponibilidade de nutrientes (CARON *et al.*, 2015; KAUDAL *et al.*, 2016). Liu Xu (2015), ao testar a aplicação do biocarvão proveniente de resíduos de poda como componente de substrato na produção de mudas de *Rosmarinus officinalis* L., constatou que o biocarvão melhorou as propriedades físicas do substrato, não demonstrou fitotoxidez e melhorou o enraizamento da espécie em relação ao tratamento controle. Dispenza (2014), ao testar diferentes proporções de biocarvão e turfa como componentes de substrato, na produção de mudas de *Euphorbia*, constatou que a adição de biocarvão no substrato influenciou, positivamente, o desenvolvimento da espécie, desde que utilizadas doses menores do biochar.

Segundo Nematí *et al.* (2014), o biocarvão tem potencial para substituir substratos como turfa e perlita, além de aumentar o pH e CTC do substrato. Entretanto este mesmo autor alerta sobre a variabilidade das características físico-químicas do biocarvão, que dependem, principalmente, da matéria-prima empregada na sua produção.

3.6 Floricultura

O segmento de produção de flores e plantas ornamentais tem ganhado destaque no cenário do agronegócio brasileiro, fator associado, principalmente, à crescente profissionalização de sua cadeia produtiva, bem como à amplitude de espécies comercializadas atualmente no Brasil (RIBEIRO *et al.*, 2014).

De acordo com Junqueira e Peetz (2015), o segmento de produção de plantas ornamentais, para paisagismo e jardinagem na região Sudeste do Brasil, detém cerca de 60,41% do mercado floricultor, sendo também a maior região produtora, concentrando, aproximadamente, 4.158 produtores, distribuídos em uma área cultivada de 8.869 hectares, representando 65,9% da área total nacional.

Dentro deste cenário, o estado de Minas Gerais possui 427 produtores distribuídos em 1.152 hectares, com a produção principal de plantas ornamentais para paisagismo, seguida das flores e folhagens de corte e, por último, das flores e plantas envasadas (JUNQUEIRA; PEETZ, 2015).

Tabela 2 – Distribuição geográfica da produção de flores e plantas ornamentais em Minas Gerais

Região geográfica	Produtores (%)	Principais produtos	Principais polos produtores
Zona da Mata	35,40	Rosas, flores de corte, flores tropicais	Barbacena; Dona Euzébia
Central	16,20	Folhagens de corte, mudas ornamentais, plantas envasadas	Região metropolitana de Belo Horizonte, Sete Lagoas
Sul	14,50	Rosas, mudas ornamentais, plantas envasadas	Pouso Alegre, Munhoz, Cambuí, Itapeva, Senador Amaral, Andradadas.
Vale do Jequitinhonha e Mucuri	8,20	Rosas e mudas ornamentais	Teófilo Otoni e Lajinha
Centro-oeste	7,30	Mudas ornamentais	Divinópolis, Cláudio, Campo Belo, Itapeçerica, Formiga
Norte	4,70	Mudas ornamentais	Montes Claros e Bocaiúva
Alto Paranaíba e Triângulo	3,70	Bulbos e Mudas ornamentais	Araguari, Araxá, Ibiá, Ituiutaba, Patos de Minas e Uberlândia
Vale do Rio Doce	3,50	Mudas ornamentais	Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo, Governador Valadares
Noroeste	2,80	Lírios	Unaí e Paracatu

Fonte: Adaptado de JUNQUEIRA; PEETZ (2015); NEVES; ALVES-PINTO (2015); LANDGRAF; PAIVA (2009); LANDGRAF; PAIVA (2005).

Atualmente, tem crescido a exigência dos órgãos governamentais quanto à adoção de práticas sustentáveis de produção, em todas as cadeias do agronegócio, requisito para a certificação ambiental das empresas, aliado ao interesse dos consumidores por produtos ecológicos, orgânicos ou com “selo verde” (BURNETT *et al.*, 2010; DENNIS *et al.*, 2010; HAWKINS *et al.*, 2012).

No segmento de produção de flores e plantas ornamentais não é diferente, pois tem despertado a atenção para a “floricultura sustentável”, definida por Krug *et al.* (2008) e Hall *et al.* (2010) como a produção de flores que objetiva a sustentabilidade ambiental, por meio da adoção de práticas de manejo ambientalmente corretas, que minimizem a degradação ambiental e aumentem a sua produtividade, como, por exemplo, a prática de reuso de água e uso de fontes alternativas de energia e insumos. Nesse sentido, é notória a necessidade de desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias pautadas na sustentabilidade ambiental.

3.6.1 *Salvia splendens*

A *Salvia splendens* é uma espécie herbácea perene, pertencente à família *Lamiaceae*, nativa do Brasil (LORENZI, 2008). Conhecida popularmente como “salvia vermelha” ou “alegria dos jardins”, suas flores são vistosas, de coloração vermelha intensa, o que a torna amplamente utilizada, para fins ornamentais e paisagísticos em todo o mundo, além de ser bem aceita pelo mercado consumidor.

As flores possuem formato tubular (FIGURA 1C), dispostas em inflorescências apicais (FIGURA 1A), com ampla variedade de cores disponíveis no mercado, entretanto a cultivar de cor vermelha é a que mais se sobressai comercialmente. A floração ocorre, ao longo do ano, atraindo diversos insetos polinizadores (SAUERESSIG, 2016; ANELLA, 2000).

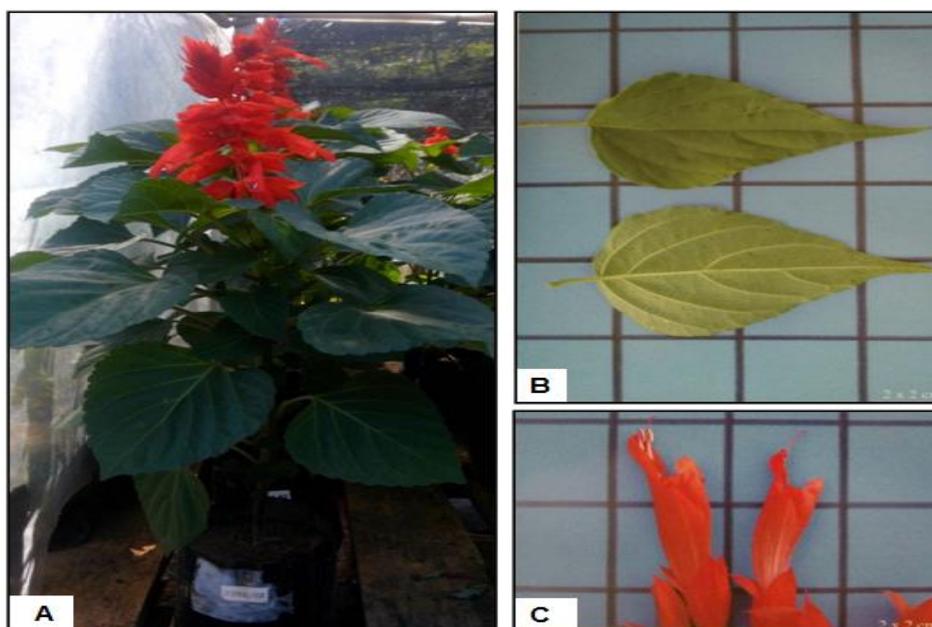


Figura 1 – *Salvia splendens*

Legenda: A – *Salvia* vermelha (*Salvia splendens*). B - Aspecto das folhas e C – Aspecto das flores tubulares. Fonte: Da autora (1A); Saueressig (2016) (1B e 1C).

As folhas são simples, com 7 a 12 cm de comprimento e caracterizam-se como ovaladas e denteadas (LORENZI, 2008), acuminadas, longopecioladas, papiráceas e pouco discoloras (SAUERESSIG, 2016) (Figura 1B). A propagação da espécie é realizada, por meio de sementes, devendo ser cultivada sob sol pleno e irrigação diária. Alguns estudos evidenciam, ainda, o potencial medicinal de *Salvia splendens*, que possui propriedades antiglicêmicas (KUMAR *et al.*, 2010) e antioxidantes (KUMAR, 2011).

3.6.2 *Pachyveria glauca*

Dentre as espécies mais comercializadas, no setor de floricultura, têm-se as suculentas, que são plantas carnosas e espessas, com capacidade de armazenamento de água em suas folhas (PAIVA; LESSA, 2006). São comumente produzidas de forma envasada ou em mudas visando atender à demanda do mercado consumidor.

Segundo Wyman (1986), a *Pachyveria* é o nome genérico para o cruzamento híbrido entre as espécies *Echeveria* e *Pachyphytum*, sendo a *Pachyveria glauca* o híbrido principal. A *Pachyveria glauca* (Figura 2) é uma suculenta pertencente à família *Crassulaceae*. Trata-se de uma espécie xerófita e bastante resistente à seca, amplamente comercializada em vasos e, também, utilizada no paisagismo, em função de sua versatilidade e da facilidade de cultivo. Sua propagação vegetativa é feita por meio da estaquia de folhas.

Figura 2 – *Pachyveria glauca*



Fonte: Da autora, 2016.

3.7 Referências

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 115-122, 2013.
- AGRAFIOTI, E.; BOURAS, G.; KALDERIS, D; DIAMAPOULOS, E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 101, p. 72-78, 2013.
- ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Projeto PROSAB 2. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001. 282p.
- ANDREOLI, C. V. **Lodos de esgoto**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 484p.
- ANELLA, L. B. Salvia: an old standby and promising newcomer. **HortTechnology**, v. 10, n.4, p.800-805, 2000.
- BAI, Y.; ZANG, C.; GU, M.; GU, C.; SHAO, H.; GUAN, Y.; WANG, X.; ZHOU, X.; SHAN, Y.; FENG, K. Sewage sludge as an initial fertility driver for rapid improvement of mudflat salt-soils. **Science of the total Environment.**, 2016. Article in press.
- BAHNG, M. K., C. MUKARAKATE, D. J. ROBICHAUD, M. R. NILMOS. Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: a review. **Analytica Chimica Acta**. v. 651, p.117-138, 2009.
- BARBOSA, J. G.; LOPES, L. C. **Propagação de plantas ornamentais**. Viçosa: UFV, 2007. 183p.
- BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso do lodo de esgoto na agricultura. In: **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. COSCIONE, A. Botucatu: FEPAF, 2010. cap. 2, p. 31-50.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p. 388-393, 2015.
- BOURIOUG, M., ALAOUI-SEHMER, L., LAFFRAY, X., BENBRAHIM, M., ALEYA, L., ALAOUI-SOSSE, B.: Sewage sludge fertilization in larch seedlings: effects on trace metal accumulation and growth performance. **Ecological Engineering**, v.77, p. 216–224, 2015.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114p.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Dispõe sobre a política nacional de saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Congresso Nacional, Brasília, DF, 8 jan. 2007.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Dispõe sobre a política nacional de resíduos sólidos. **Diário Oficial da União**, Congresso Nacional, Brasília, DF, 3 ago 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>> Acesso em: 20 set. 2015.
- CARON, J.; HEINSE, R.; CHARPENTIER, S. Organic Materials used in agriculture, horticulture, reconstructed soils, and filtering applications. **Vadose Zone Journal**, v. 14, 2015.

CHEN, T.; ZHANG, Y.; WANG, H.; LU, W.; ZHOU, Z.; ZHANG, Y.; REN, L. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. **Bioresource technology**, v. 164, p. 47-54, 2014.

CHEN, P.; XIE, Q.; ADDY, M.; ZHOU, W.; LIU, Y.; WANG, Y.; CHENG, Y.; LI, K.; RUAN, R. Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 163-172, 2016.

CHIANG, K.; CHOU, P.; HUA, C.; CHIEN, K.; CHEESEMAN, C. Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. **Journal of hazardous Materials**, p. 76-82, 2009.

COLLARD, F. X.; BLIN, J. A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 594-608, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília: Conab, 2014. 158p.

CONZ, R. F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, Piracicaba, São Paulo, 2015.

DENNIS, J. H.; LOPEZ, R. G.; BEHE, B. K.; HALL, C. R. YUE, C.; CAMPBELL, B. L. Sustainable production practices adopted by greenhouse and nursery plant growers. **HortScience**, v. 45, n. 8, p. 1232-1237, 2010.

DISPENZA, V. **Utilizzo del biochar come substrato alternativo nella coltivazione di specie ornamentali in vaso**. 2014. 82 f. Tese (Doutorado) – Università Degli Studi Di Palermo, Palermo, 2014.

DUMROESE, K. R.; HEISKANEN, J.; ENGLUND, K.; TERVAHAUTA, A. Pelleted biochar: Chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2018-2027, 2011.

HALL, T. J.; LOPEZ, R. G.; MARSHALL, M. I.; DENNIS, J. H. Barriers to adopting sustainable floriculture certification. **Hortscience**, v. 45, p. 778-783, 2010.

HAMZAH, Z.; ALLIAS, A. A.; HASHIM, O.; LEE, B. B. Characterization of physicochemical properties of biochar from different agricultural residues. **Advances in Environmental Biology**, v. 7, n. 12, p. 3752-3757, 2013.

HAWKINS, G.; BURNETT, S. E.; STACK, L. B. S. Survey of Consumer interest in organic, sustainable, and local container-grown plants in maine. **HortTechnology**, v. 22, p. 817-825, 2012.

HERATH, H. M. S. K.; ARBESTAIN, M. C.; HEDLEY, M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. **Geoderma**, v. 209/210, p. 188-197, 2013.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; NELSON, P. F. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, p. 1167-1171, 2010.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environmental Management**, v.92, p. 223-228, 2011.

HUANG, Y. F.; C. P.; KUAN, W.; LO, S. L. Microwave pyrolysis of Rice straw: products, mechanism and kinetics. **Bioresource technology**, v. 142, p. 620-624, 2013.

JIEN, S. H.; WANG, C. S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, v.110, p. 225-233, 2013.

JONES, V.; GARDNER, M.; ELLOR, B., Concentrations of trace substances in sewage sludge from 28 wastewater treatment works in the UK. **Chemosphere**, v. 111, p. 478-484, 2014.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. **Flores e Plantas Ornamentais do Brasil.**, Brasília, DF: SEBRAE, 2015. 44p. (Série estudos Mercadológicos, 1).

KÄMPF, A. N. (Coord.) **Produção comercial de plantas ornamentais.** Guaíba, RS: Agropecuária, 2000. 254p.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4, p. 277-320, 2005.

KAUDAL, B. B.; CHEN, D.; MADHAVAN, D. B.; DOWNIE, A.; WEATHERLEY, A. An examination of physical and chemical properties of urban biochar for use as growing media substrate. **Biomass and Bioenergy**, v. 84, p. 49-58, 2016.

KAUDAL, B. B.; CHEN, D.; MADHAVAN, D. B.; DOWNIE, A.; WEATHERLEY, A. Pyrolysis of urban waste streams: Their potential use as horticultural media. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 112, p. 105-112, 2015.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, v. 37, p. 1103-1113, 2013.

KRUG, B. A.; BURNETT, S. E.; DENNIS, J. H.; LOPEZ, R. G. Growers look at operating a sustainable greenhouse. **GMPPro**, v. 28, p. 43-45, 2008.

KUMAR, M. P.; SASMAR, D.; MAZUMDER, P. M. The antihyperglycemic effect of aerial parts of *Salvia splendens* (scarlet sage) in streptozotocin-induced diabetic-rats. **Pharmacognosy research**, v. 2, p. 190 -194, 2010.

KUMAR, M. P. *Sálvia Splendens* (Scarlet sage): phytochemical and pharmacological study. **Lap Lambert Academic Publishing GmbH**, 2011. 72p.

LANDGRAF, P. R. C.; PAIVA, P. D. de O. Produção e comercialização de flores em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 227, p. 7-11, 2005.

LANDGRAF, P. R. C.; PAIVA, P. D. de O. Produção de flores cortadas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 120-126, 2009.

LIMA, H. N. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos na Amazônia Ocidental. 2001. 176 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LIU, T. H. Evolution of chemistry and morphology during the carbonization and combustion of rice husk. **Carbon**, v. 42, p. 785-794, 2004.

LIU, C.; TANG, Z.; CHEN, Y.; SU, SHIJUN; JIANG, W. Characterization of mesoporous activated carbons prepared by pyrolysis of sewage sludge with pyrolusite. **Bioresource Technology**, v.101, p. 1097-1101, 2010.

LIU XU, L. **Desarrollo de nuevos substratos a base de compost y biochar para La propagation y produccion de *Rosmarinus officinalis* L. en vivero profesional.** 47p. 2015.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 1088p.

MAIA, C. M. B. F. **Finos de carvão**: fontes de carvão estável e condicionador de solos. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010. (Documentos, 200).

MAIA, C. M. B. F.; MADARI, B. E.; NOVOTNY, E. Advances in biochar research in Brazil. **Dynamic soil dynamic plant**, v. 5, nesp. 1, p. 53-58, 2011.

MAIA, C. M. B. F.; LIMA, R. M.; GUIOTOKU, M. **Efeito da temperatura final de carbonização nas propriedades físico-químicas do biocarvão da fibra do coco**. Colombo, PR: Embrapa, 2013. (Comunicado técnico. 323).

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: UFV, 2014. 241p.

MELO, W. J. *et al.* O uso agrícola do bio sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T *et al.* **Bio sólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. 468p.

MENDEZ, A.; TERRADILLOS, M.; GASCÓ, G. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 102, p. 124-130, 2013.

MEYER, S.; GLASER, B.; QUICKER, P. Technical, economical and climate-related aspects of biochar production technologies: a literature review. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 9473-9483, 2011.

MINAMI, K.; SALVADOR, E. D. **Substrato para plantas**. Piracicaba: Degaspari, 2010, 226p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Agenda 21 brasileira**: resultado da consulta nacional. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. [Versão pós consulta pública]. Brasília, DF: MMA, 2012.

MORAIS, C. A. M.; FERNANDES, I. J.; CALHEIRO, D.; KIELING, A. G.; BREHM, F. A.; RIGON, M. R.; BERWANGER, J. A.; SCHNEIDER, I. A. H.; OSORIO, E. Review of the Rice production cycle: by products and the main applications focusing on Rice husk combustion and ash recycling. **Waste management & Research**, v. 32, p.1034-1048, 2014.

NEMAT, M. R.; SIMARD, F.; FORTIN, J. P.; BEAUDOIN, J. Potential use of biochar in growing media. **Vadose Zone Journal**, v.14, 2014.

NEVES, M. F.; ALVES-PINTO, M. J (org). **Mapeamento e quantificação da cadeia de flores e plantas ornamentais do Brasil**. São Paulo: OCESP, 2015. 132p.

NGUYEN, M. N.; DULTZ, F.; PICARDAL, F.; BUI, A. T. K.; PHAM, Q. V.; SCHIBER, J. Release of potassium accompanying the dissolution of rice straw. **Chemosphere**, p. 371-376, 2015.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. F.; CARVALHO, M. T. M. C.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use – a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 321-344, 2015.

PARK, J.; LEE, Y.; RYU, C.; PARK, Y. Slow pyrolysis of rice straw: analysis of products properties, carbon and energy yields. **Bioresource Technology**, p. 63-70, 2014.

PICCOLA, C. D. **Características químicas de biocarvões produzidos a partir do bagaço de cana de açúcar e a disponibilidade de fósforo no solo**. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2013.

QIAN, K.; KUMAR, A.; ZHANG, H.; BELLMER, D.; HUHNKE. Recent advances in utilization of biochar. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p.1055-1064, 2015.

REBOLLEDO, A. E.; GONZALEZ, G. P.; MORENO, C. H.; COLLADO, J. L.; ALVES, J. C.; PACHECO, E. V.; BARRA, J. D. E. Biocarbon (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. **Terra Latinoamericana**, v. 34. n. 3, p.367-382, 2016.

RIBEIRO, H. M. D.; LÍRIO, V. S.; FERREIRA, A. M. S. Caracterização do segmento de plantas ornamentais de Teófilo Otoni-MG: produção e comercialização. **Rev. Econ. NE**, v. 45, n. 4, p. 121-135, 2014.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C.; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1637-1645, 2012.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 9, p. 971-979, 2014.

SAUERESSIG, D. **Plantas do Brasil**: espécies ornamentais para vasos, floreiras e jardins. Irati, PR: Plantas do Brasil, 2016. 436p.

SCHETTINO JR, M. A.; FREITAS, J. C. C.; CUNHA, A. F.; EMMERICH, F. G. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Química Nova**. Vol. 30. n. 7. 1663-1668. 2007.

SHARMA, A.; PAREEK, V.; ZHANG, D. Biomass pyrolysis - A review of modelling, process parameters and catalytic studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 50, p. 1081-1096, 2015.

SILVA, I. C. B. Atributos do solo e características agrônômicas do feijoeiro adubado com biochar. 2016. 63f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2016.

SINGH, R. P.; AGARWAL, M. M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, v.28, p.347–358. 2008.

SONG, X. D.; XUE, X. Y.; CHEN, D. Z.; HE, P. J.; DAI, X. H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. **Chemosphere**. v.109 p. 213 -220, 2014.

SOUSA, A. A. T. C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. 2015. 63f.

TRAZZI, P. A. Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda*. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal. 2014. 117f.

TRIPATHI, M.; SAHU, J. N.; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biochar fom biomass waste through pyrolysis: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 55. p. 467-481. 2016.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: ABES/SP, 2002.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C.

T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: ABES/SP, 2002. p. 89- 131.

VIANA, M. M. **Obtenção e utilização de produtos de pirólise do lodo de esgoto para adsorção de poluentes em meio aquoso**. 2013. 219f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

VIEIRA NETO, D. **Estudo da pirólise de lodo sanitário, visando sua valorização energética**. 2012. 95f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.

WANG X., CHEN T., GE Y., JIA Y., Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors, **Journal of Hazardous Materials**, v. 160, p. 554-558, 2008.

WYMAN, D. **Wyman's Gardening Encyclopedia**. New York/London: The Macmillan Company/Collier Macmillan, 1972. 1222p.

XIE, Q.; PENG, P.; LIU, S.; MIN.; CHENG, Y.; WAN, Y.; LI, Y.; LIN, X.; LIU, Y.; CHEN, P.; RUAN, R. Fast microwave-assisted catalytic pyrolysis of sewage sludge for bio-oil production. **Bioresource technology**, v.172, p.162-168, 2014.

ZULOAGA, O.; NAVARRO, P.; BIZKARGUENAGA, E.; IPARRAGUIRRE, A.; VALLEJO, A.; OLIVARES, M.; PRIETO, A. Overview of extraction, clean-up and detection techniques for the determination of organic pollutants in sewage sludge: a review. **Analytica Chimica Acta**, v. 736, p. 7-29, 2012.

4 ARTIGOS

4.1 Artigo 1 – Produção de mudas, crescimento inicial e desenvolvimento de *Salvia splendens* em substratos de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz

Resumo

O substrato é um dos materiais mais importantes para a produção de mudas em viveiro, responsável pela fixação da planta no recipiente, atuando também como condicionador e material responsável pelo fornecimento de nutrientes para a planta. Pelas propriedades físico-químicas favoráveis do biocarvão, pesquisas recentes têm sido voltadas à avaliação do seu uso como substrato. Porém, pouca atenção tem sido dada ao uso do biocarvão de lodo de esgoto para este fim e são escassos os testes relacionados à produção de mudas de espécies ornamentais em substratos compostos por este material. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou: 1) testar a hipótese de que o biochar de lodo de esgoto (BCLE) e o biochar de casca de arroz (BCCA) podem ser utilizados como substratos para produção de mudas de espécies ornamentais; e 2) produzir mudas de *Salvia splendens*, em substratos compostos unicamente por BCLE e BCCA, em diferentes proporções. Os tratamentos corresponderam às misturas de biocarvão, nas seguintes proporções: T1 = 0% BCLE + 100% BCCA; T2 = 20% BCLE + 80% BCCA; 40% BCLE + 60% BCCA; 60% BCLE + 40% BCCA; 80% BCLE + 20% BCCA; e 100% BCLE + 0% BCCA e um tratamento controle constituído por substrato comercial Bioplant®. O delineamento estatístico do experimento foi em blocos casualizados, totalizando 7 tratamentos e 4 repetições. Foram avaliados o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e a porcentagem de germinação. Após o final do experimento, aos 60 dias, foram avaliados o diâmetro do coleto, altura e relação H/DC para diagnosticar a qualidade das mudas. Como resultado, verificou-se que as diferentes proporções de BCLE e BCCA na mistura não influenciaram o IVE e a porcentagem de sementes emergidas. Em relação às variáveis biométricas, os tratamentos T2, T3, T4 e T5 não diferiram do tratamento controle, configurando como meios de cultivo adequados para produção de mudas de *Salvia splendens*; enquanto os tratamentos T1 e T6 foram significativos, porém com médias bem inferiores a todos os tratamentos, não sendo recomendados para utilização como substrato. Conclui-se que a utilização do BCLE e do BCCA como substrato para produção de mudas se configura bastante promissor, uma vez que não afetou significativamente a germinação de sementes e promoveu a produção de mudas com qualidade igual ou superior àquelas produzidas em substratos comerciais. Os biocarvões devem ser utilizados de forma associada e nas proporções entre 40-60% de cada material.

Palavras-chave: Biossólido, reciclagem de resíduos, substratos orgânicos alternativos, salvia

Article 1 – Seedlings production of *Salvia splendens* in broken substrates of sewage sludge and rice bark

Abstract

The substrate is one of the most important materials for the production of seedlings in nursery, responsible for fixing the plant in the container, also acting as conditioner and material responsible for the supply of nutrients to the plant. Due to favorable physical and chemical properties of biochar, recent research has been focused on evaluation of its use as a substrate. However, little attention has been paid to the use of sewage sludge biochar for this purpose and there are few tests related to the production of ornamental species seedlings on substrates composed of this material. In this sense, the present work aimed to: 1) test the hypothesis that rice husk biochar (BCLE) and sewage sludge (BCCA) can be used as substrates for the production of ornamental species seedlings; and 2) to produce seedlings of *Salvia splendens*, in substrates composed solely of BCLE and BCCA, in different proportions. The treatments corresponded to the biochar in the following proportions: T1 = 0% BCLE + 100% BCCA; T2 = 20% BCLE + 80% BCCA; 40% BCLE + 60% BCCA; 60% BCLE + 40% BCCA; 80% BCLE + 20% BCCA; and 100% BCLE + 0% BCCA, and a control treatment constituted by commercial substrate Bioplant®. The statistical design of the experiment was in randomized blocks, totaling 7 treatments and 4 replicates. The Emergency Velocity Index (IVE) and the percentage of germination were evaluated. After the end of the experiment, at 60 days, the collection diameter, height and H/DC ratio were evaluated to diagnose the quality of the seedlings. As a result, it was verified that the different proportions of BCLE and BCCA in the mixture did not influence IVE and the percentage of emerged seeds. In relation to the biometric variables, treatments T2, T3, T4 and T5 did not differ from the control treatment, configuring as suitable culture media for the production of seedlings of *Salvia splendens*; while T1 and T6 treatments were significant, but with averages well below all treatments and not recommended for substrate use. It is concluded that the use of BCLE and BCCA as a substrate for seedling production is very promising, since it did not significantly affect seed germination and promoted the production of seedlings with quality equal to or higher than those produced in commercial substrates. The biochar should be used in an associated way and in the proportions between 40-60% of each material.

Keywords: Biosolids, waste recycling, alternative organic substrates, sage.

1 Introdução

Durante o ciclo de desenvolvimento da planta constata-se que a qualidade de produção das mudas é primordial para seu estabelecimento em campo, por estar relacionado diretamente à sua sobrevivência. São vários os fatores contribuintes, para uma boa produção de mudas, tais como umidade, temperatura, irrigação, qualidade do material propagativo, ambiente de produção, substrato, dentre outros. Destes, podemos destacar que as características do substrato apresentam maior relevância, por estar diretamente relacionada a qualidade da muda.

Além de ser o responsável pela fixação da planta no recipiente, o mesmo também atua como condicionador e material responsável pelo fornecimento de nutrientes para a planta. Características como baixa densidade, porosidade adequada, isenção de patógenos e boa capacidade de retenção de água são essenciais para classificar um bom substrato (MINAMI & SALVADOR, 2010). Atualmente observa-se uma vasta gama de materiais na natureza que possam ser empregados como matéria prima para a formação de um determinado substrato agrícola, de origem orgânica ou mineral.

Atualmente há uma crescente busca pela utilização de materiais alternativos (principalmente resíduos) como casca de arroz carbonizada, fibra e pó de coco, casca de pinus, resíduos vegetais compostados, composto de lixo orgânico, dentre outros, para a produção de substratos. Essa demanda ocorre devido às características intrínsecas destes produtos, como aumento de porosidade e estabilidade dos agregados do solo (HERATH et al., 2013), aumento da capacidade de troca catiônica (JIEN & WANG, 2013), favorecimento de boa aeração, além de ser um material estéril (CHU, 2007). Todavia, deve-se ressaltar que dificilmente se encontra um único material que atenda a todos os critérios para uso como substrato, sendo recomendada a associação de materiais para conseguir um meio de cultivo ideal para o desenvolvimento vegetal (MINAMI & SALVADOR, 2010).

Além de ser uma alternativa para a redução da poluição causada pela disposição inadequada destes resíduos no meio ambiente, o biocarvão resultante da pirólise destes compostos, segundo Mendez et al., (2013) pode ser utilizados como uma fonte de substrato para a produção de mudas. Recentemente tem-se constatado um grande aumento de pesquisas neste ramo e os resultados obtidos são promissores no que tange à sua utilização como substrato, devido às suas melhorias nas condições físicas e químicas do solo (HOSSAIN, 2010; AGRAFIOTI et al., 2013; MENDEZ et al., 2013). Entretanto, poucos são os estudos que relatam a utilização do biocarvão de lodo de esgoto para este fim, fato este que deveria ser melhor explorado devido às suas propriedades físico-químicas, ao contrário do biochar de casca de arroz, o qual já é amplamente utilizado na produção de mudas ornamentais, conforme apontado por Belle & Kampf, (1994), devido a suas características benéficas.

Um dos segmentos inseridos no ramo da horticultura que tem apresentado um amplo crescimento é o da floricultura, devido a sua elevada rentabilidade. Nesse segmento, a grande demanda por substrato agrícola acaba sendo um dos alicerces para sua produção. O emprego

de biocarvão nesta ocasião se torna uma alternativa viável, pois, além de reduzir possíveis custos de produção e aumentar a qualidade das mudas, o mesmo permitiria uma melhor gestão deste resíduo. Dentre as espécies ornamentais amplamente cultivadas para fins paisagísticos, destaca-se a *Salvia splendens*, muito bem aceita pelo mercado consumidor, em função de sua beleza proporcionada pelas inflorescências de intensa coloração vermelha (LORENZI, 2008).

Diante do exposto, os objetivos deste estudo consistiram em:

- 1) avaliar a eficiência do biocarvão de lodo de esgoto e do biocarvão de casca de arroz como substratos para produção de mudas de *Salvia splendens*, por meio de sementes;
- 2) verificar se substratos compostos unicamente por biocarvão de lodo de esgoto e biocarvão de casca de arroz, em diferentes proporções, são adequados para o crescimento e desenvolvimento de *Salvia splendens*.

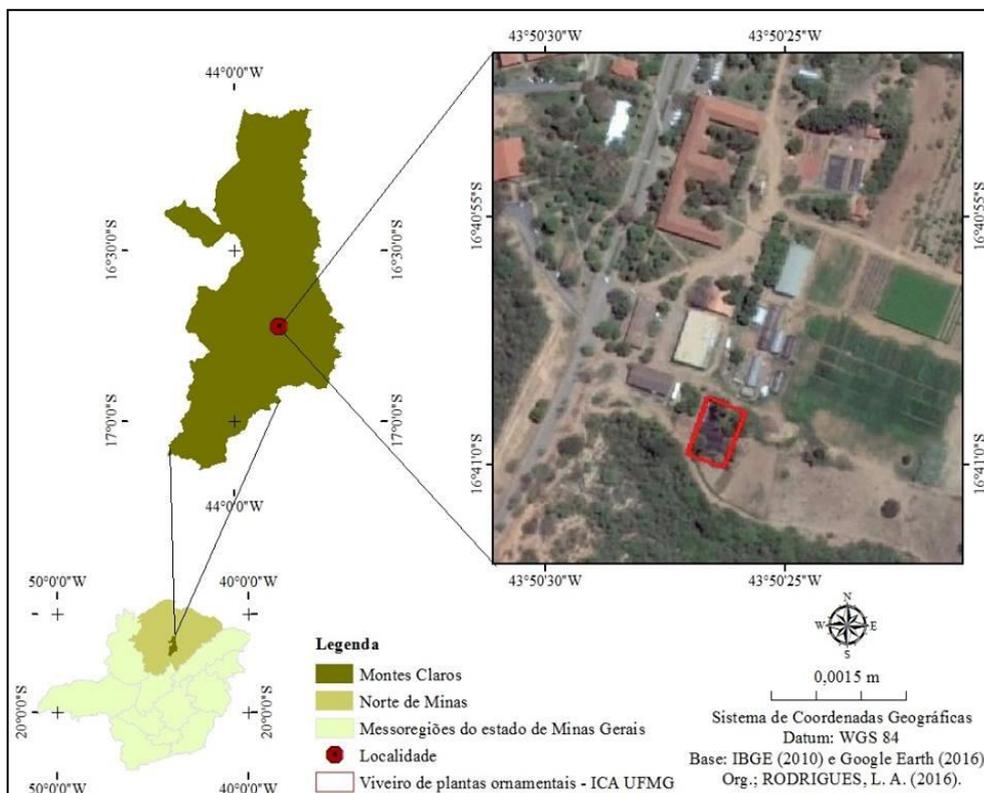
2 Material e métodos

A realização do experimento ocorreu em duas etapas, onde na primeira foi realizada a produção de mudas de *Salvia splendens* em substratos compostos por biocarvão de lodo de esgoto e biocarvão de casca de arroz. Na segunda etapa, as mudas produzidas em substratos de biocarvão foram transplantadas para recipientes preenchidos com uma mistura de solo/esterco, a fim de verificar o seu crescimento inicial, diagnosticando se a muda produzida no biocarvão possui melhor desempenho e desenvolvimento do que aquela produzida no tratamento controle. Os detalhes de cada etapa/experimento estão descritos nos tópicos seguintes.

3 Área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com plástico transparente de 100 microns e tela de 50% de sombreamento no viveiro de plantas ornamentais do ICA/UFMG, em Montes Claros – MG, durante o período de junho a agosto de 2016 (primeira etapa) e entre setembro e novembro de 2016 (segunda etapa). A Universidade situa-se no ponto de coordenadas geográficas 16° 44' 06"S, 43° 51' 42"W e 648 metros de altitude (Figura 1). O clima predominante na região é do tipo Aw – clima tropical de savana, caracterizado por um inverno seco e verão chuvoso.

Figura 1: Localização da área experimental



Fonte: Da autora (2016).

4 Produção do biocarvão

As matérias primas utilizadas no experimento como fonte do biochar foram provenientes da região norte de Minas Gerais devido à sua grande disponibilidade, os quais eram constituídos pelo lodo de esgoto, proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA); e a casca de arroz, oriunda de empresas que realizam o beneficiamento do grão na região.

A produção do biocarvão ocorreu nas dependências do Laboratório de Biodigestão do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. Com o auxílio de um forno elétrico (tipo mufla), as amostras foram pirolisadas a uma temperatura aproximada de 450°C por 30 minutos. Em seguida, o mesmo foi resfriado com água no intuito de cessar o processo de carbonização. Posteriormente, as mesmas foram peneiradas (peneira com abertura de 2 mm), no intuito de deixá-las mais homogêneas e em seguida armazenadas em um recipiente fechado.

As análises químicas (Tabela 1) do biocarvão foram realizadas conforme os procedimentos para análise de fertilizantes e substratos, propostos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) e descritos por Alcarde (2009). A determinação do Carbono orgânico total foi realizada por meio de sua oxidação por via úmida, com o auxílio de dicromato de potássio (em meio ácido aquecido), com posterior quantificação

do elemento, por meio da titulação com sulfato ferroso amoniacal, empregando-se como indicador difenilamina e ácido ortofosfórico 85%.

O teor de nitrogênio foi determinado pelo método laboratorial Kjeldahl, com digestão sulfúrica, seguida da destilação com NaOH concentrado e titulação com solução ácida (H_3BO_3) a 1%. A quantificação do fósforo total foi realizada com o auxílio do espectrofotômetro (com ácido molibdovanadofosfórico) através da digestão com ácido clorídrico, sendo que para a determinação do potássio e sódio utilizou-se fotometria de chama. Os teores de enxofre através da metodologia do peróxido de hidrogênio e os demais elementos (Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Cr, Ni, Cd e Pb) por meio de espectrometria de absorção atômica.

Para a caracterização física (Tabela 1), determinou-se densidade de partículas segundo metodologia proposta por Fermino (2003), densidade aparente segundo a EMBRAPA (1997) e porosidade total por meio da metodologia descrita por Zorzeto et al. (2014). Para a caracterização de teor de cinzas, material volátil e carbono fixo utilizou-se o método proposto pela *International Biochar Initiative*, IBI (2012).

Tabela 1 – Caracterização química e físico-química da matéria-prima e do biochar

Parâmetro	SC	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH (CaCl ₂)	4,95 ± 0,02	7,72 ± 0,14	7,43 ± 0,05	7,15 ± 0,04	7,09 ± 0,05	6,98 ± 0,12	7,0 ± 0,05
CE (mS cm ⁻¹)	0,79 ± 46,90	0,30 ± 10,80	0,46 ± 27,40	0,62 ± 19,10	0,62 ± 17,90	0,73 ± 12,70	0,92 ± 5,61
CTC (mmol _c kg ⁻¹)	426,01 ± 3,90	95,46 ± 2,75	294,94 ± 49,60	175,32 ± 61,40	224,41 ± 11,30	268,49 ± 8,80	336,64 ± 3,20
C (dag kg ⁻¹)	13,0 ± 0,22	23,83 ± 0,55	21,84 ± 0,61	18,45 ± 0,38	14,50 ± 0,50	15,48 ± 0,57	15,67 ± 0,42
N (g kg ⁻¹)	3,54 ± 0,39	5,83 ± 0,41	9,60 ± 2,65	14,97 ± 0,64	19,02 ± 1,93	23,17 ± 3,42	26,85 ± 2,03
P (g kg ⁻¹)	126,71 ± 0,70	32,13 ± 2,06	74,53 ± 4,05	144,06 ± 6,30	174,42 ± 28,60	224,06 ± 1,07	240,0 ± 0,71
K (g kg ⁻¹)	6,40 ± 0,16	10,31 ± 0,57	8,93 ± 0,25	8,65 ± 0,66	6,91 ± 0,70	6,33 ± 1,07	4,08 ± 0,33
S (g kg ⁻¹)	5,55 ± 0,25	4,06 ± 0,26	5,50 ± 0,33	6,07 ± 0,47	6,40 ± 0,59	6,46 ± 0,66	6,39 ± 0,42
Na (mg kg ⁻¹)	692,02 ± 19,50	476,52 ± 31,10	559,18 ± 46,80	491,28 ± 62,80	538,51 ± 48,70	423,38 ± 64,00	449,95 ± 18,40
Ca (mg kg ⁻¹)	765,5 ± 32,80	189,89 ± 80,70	165,54 ± 57,80	318,83 ± 146,70	734,0 ± 69,90	783,50 ± 168,90	362,48 ± 185,90
Mg (mg kg ⁻¹)	443,61 ± 25,00	139,99 ± 23,90	117,23 ± 75,50	208,52 ± 52,70	258,02 ± 34,10	277,18 ± 63,90	263,47 ± 26,80
Fe (mg kg ⁻¹)	11,79 ± 3,01	31,21 ± 0,93	38,57 ± 2,13	29,78 ± 6,29	36,37 ± 3,21	37,27 ± 9,40	29,91 ± 14,26
Zn (mg/kg ⁻¹)	14,37 ± 21,10	77,05 ± 2,62	126,55 ± 23,20	104,99 ± 45,30	133,60 ± 50,80	170,46 ± 12,40	187,09 ± 21,10
Mn (mg kg ⁻¹)	46,20 ± 2,76	557,55 ± 53,80	565,93 ± 36,40	499,93 ± 97,70	516,03 ± 77,40	521,49 ± 49,50	466,80 ± 126,89
Cu (mg kg ⁻¹)	2,31 ± 0,26	62,28 ± 2,79	204,66 ± 50,37	267,33 ± 67,80	398,54 ± 53,70	398,0 ± 26,50	456,95 ± 56,10
Ni (mg kg ⁻¹)	46,02 ± 2,62	1,82 ± 0,20	0,17 ± 0,24	0,20 ± 0,37	0,24 ± 0,20	0,15 ± 0,48	0,03 ± 0,52
Co (mg kg ⁻¹)	5,0 ± 0,39	0,25 ± 0,21	0,31 ± 0,13	0,65 ± 0,52	1,63 ± 0,13	1,31 ± 0,81	0,93 ± 0,13
Cr (mg kg ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd (mg kg ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb (mg kg ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
D _{ap} (g cm ⁻³)	0,28 ± 0,22	0,29 ± 0,01	0,34 ± 0,00	0,33 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,61 ± 0,01
DP (g cm ⁻³)	1,66 ± 0,23	1,36 ± 0,03	1,43 ± 0,12	1,45 ± 0,06	1,50 ± 0,05	1,61 ± 0,15	1,68 ± 0,04
PT (%)	82,8 ± 0,48	78,8 ± 0,74	76,3 ± 0,78	77,4 ± 0,33	72,7 ± 2,4	68,7 ± 0,32	63,5 ± 0,30
Voláteis (%)	-	17,97	19,61	22,09	23,89	28,13	27,76
Cinzas (%)	-	47,92	52,72	54,52	55,08	56,60	59,02
Carbono (%)	-	32,34	23,34	21,19	18,33	12,17	9,81

Notas: CE = condutividade elétrica; CTC = capacidade de troca catiônica; D_{ap} = densidade aparente; DP = densidade de partículas; PT = porosidade total; LE = lodo de esgoto; CA = casca de arroz; SC = substrato comercial; T1 = 100%BCCA; T2 = 80%BCCA+20%BCLE; T3 = 60%BCCA+40%BCLE; T4 = 40%BCCA+60%BCLE; T5 = 20%BCCA+80%BCLE; T6 = 100%BCLE; nd = não detectado. Fonte: Da autora (2016).

3 Experimento 1: produção de mudas de *Salvia splendens* em biocarvão

3.1 Delineamento e implantação do experimento

O experimento foi conduzido no esquema de blocos casualizados contendo sete tratamentos (Tabela 2) dispostos em quatro blocos com quatro repetições, onde as plantas foram alocadas em bandejas de polietileno expandido com volume de 25 cm³. As bandejas foram preenchidas com biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz, utilizando seis proporções distintas de biocarvão e o substrato comercial Bioplant® como testemunha (Tabela 2), sendo que o substrato comercial é composto basicamente por fibra e pó de coco, além de aditivos nutricionais.

Tabela 2 – Tratamentos compostos por diferentes proporções de biocarvão de casca de arroz (BCCA) e biocarvão de lodo de esgoto (BCLE) utilizados no experimento.

Tratamento	Proporções	
	BCCA (%)	BCLE (%)
T1	100	0
T2	80	20
T3	60	40
T4	40	60
T5	20	80
T6	0	100
T7 – Testemunha	Cultivo em substrato comercial para espécies ornamentais.	

Fonte: Da autora (2016).

O plantio ocorreu na segunda quinzena de junho de 2016, utilizando sementes de *Salvia splendens* provenientes da Isla Sementes® as quais foram alocadas 2 a 3 unidades, em cada célula das bandejas, sendo estas dispostas em bancadas a 1,3m do solo (Figura 2). Posteriormente foi realizado um desbaste, deixando uma única planta por célula.

Figura 2 – Mudanças de *Salvia splendens* aos 40 dias após a sementeira.



Fonte: da autora (2016).

As avaliações realizadas durante o desenvolvimento da muda constituíram-se do Índice de Velocidade de Emergência (IVE), conforme fórmula proposta por Maguire (1962), o qual foi avaliado diariamente o número de sementes emergidas, considerando emergidas aquelas com a exposição da radícula. A percentagem de emergência das sementes foi calculada conforme a fórmula proposta por Labouriau & Valadares (1976). Aos 60 dias, foi aferido o diâmetro do coleto (DC) com auxílio de um paquímetro digital e a altura (H) das mudas com auxílio de régua milimetrada, sendo que, através da razão de H/DC foi definida a qualidade das mudas.

3.2 Experimento 2: Crescimento e desenvolvimento de *Salvia splendens* em função do substrato utilizado para produção de mudas

3.2.1 Delineamento experimental e implantação do experimento 2

Após 60 dias as mudas de *Salvia splendens* foram retiradas da bandeja e transplantadas em sacos plásticos com capacidade de 500 mL, preenchidos por uma mistura 2:1 de solo (horizonte B de Latossolo) e esterco bovino (Figura 3) cujas propriedades químicas podem ser observadas na tabela 3, sendo que, o delineamento e os tratamentos empregados, são os mesmos dos discriminados na Tabela 1.

Figura 3 – Mudanças de *Salvia splendens* transplantadas para recipientes plásticos, aos 60 dias após a sementeira



Fonte: da autora (2016).

Tabela 3 - Análise química da mistura solo/esterco utilizada na produção de mudas de *Sálvia*

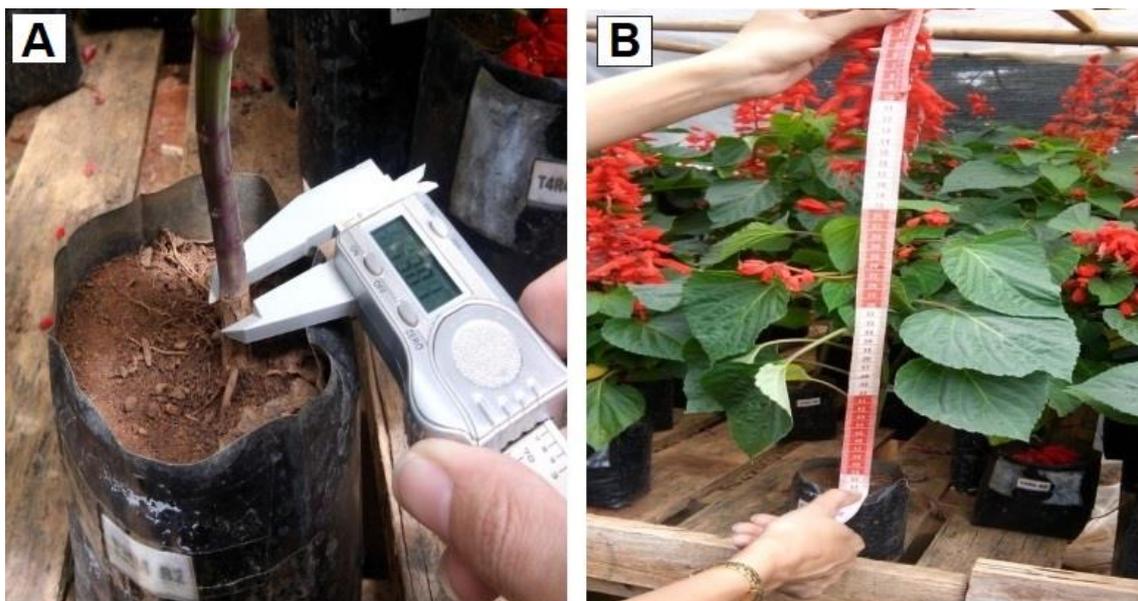
pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	COS	MO
H ₂ O	-- mg dm ⁻³	--	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			- % -	--- dag kg ⁻¹ ----	
8,7	1.020	1.597	5,87	4,23	0	0,71	14,19	14,90	95	7,89	13,60

Notas: SB = soma de bases; T = capacidade de troca de cátions total; V = percentagem de saturação de bases; C = carbono orgânico; MO = matéria orgânica. Fonte: Da autora (2016).

3.3 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas

Aos 90 dias após o transplante das mudas para o saco plástico contendo solo e esterco (150 DAP – dias após o plantio) na ocasião foram mensuradas a: a) altura das plantas, com o auxílio de uma régua milimetrada (Figura 4A); b) diâmetro do coleto, com um paquímetro digital (Figura 4B); c) contagem do número total de folhas; d) número total de inflorescências, por meio de contagem manual; e) comprimento de inflorescência, com auxílio de régua milimetrada; f) relação altura / diâmetro; g) Índice de Qualidade de Dickson, seguindo a metodologia proposta por Dickson et al., (1960).

Figura 4 – Avaliação do diâmetro do coleto (A) e altura da parte aérea (B) de *Sálvia splendens*.



Fonte: da autora (2016).

Após o término das medições biométricas, as plantas foram separadas em raiz, parte aérea e inflorescência, as quais posteriormente foram pesadas em uma balança analítica para determinação da massa fresca. Em seguida acondicionadas em sacos de papel, as quais permaneceram em estufa com circulação de ar forçada a uma temperatura de 65°C ±, até atingirem peso constante para determinação da massa seca.

Em seguida as amostras da parte aérea das plantas foram trituradas com auxílio de almofariz e pistilo de ágata, para análise foliar, conforme metodologia proposta por Malavolta (1997), analisando os nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn e Cu.

3.4 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à verificação de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk. Quando necessário, procedeu-se à transformação angular e radicial dos dados. Atendidos os pressupostos da análise de variância, aplicou-se o teste de Dunnett até 5% de probabilidade para comparar a testemunha aos diferentes substratos formados de biocarvão de lodo de esgoto e casca de arroz. Por outro lado, as diferentes proporções de biocarvão foram ajustadas a modelos de regressões, testando-se os coeficientes das equações até 5% de probabilidade pelo teste t. A análise estatística foi realizada com auxílio do software Assistat.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de germinação da *Salvia splendens*

4.1.1 Germinação e sobrevivência das sementes

O índice de velocidade de emergência e a germinação nos tratamentos compostos por biocarvão de lodo de esgoto (BCLE) e casca de arroz (BCCA) foram equivalentes estatisticamente ($p > 0,01$) ao substrato comercial (SC) (Tabela 4). Estes resultados podem estar associados à porosidade do substrato, pois segundo De Boodt & Verdonck (1972) quando a planta se encontra em ambientes adequados para o seu desenvolvimento (substrato) ocorre um maior fluxo de água o que resulta no aumento das trocas gasosas. No presente estudo, pode-se constatar uma baixa variação desta percentagem para os tratamentos com biochar, valores estes de 63 a 78%, enquanto que o substrato comercial apresentou 82,8% (Tabela 1). Apesar de Gonçalves & Poggiani (1996) estimar que a faixa adequada de porosidade deva situar-se entre 75-85% para as condições avaliadas (valores de porosidade acima de 63%) não demonstrou haver influência sob os caracteres avaliados.

Tabela 4 – Porcentagem de germinação e emergência de sementes de *Salvia splendens* em substratos com diferentes proporções de BCCA e BCLE

Tratamento	IVE	E (%)
T1 - 100% BCCA	7,09 A	65,94 A
T2 - 80% BCCA 20% BCLE	7,54 A	73,05 A
T3 - 60% BCCA 40% BCLE	7,26 A	74,99 A
T4 - 40% BCCA 60% BCLE	7,04 A	69,82 A
T5 - 20% BCCA 80% BCLE	7,06 A	69,82 A
T6 - 100% BCLE	6,61 A	61,80 A
T7 – Substrato comercial (SC)	7,31 A	79,64 A
F	NS	NS
CV (%)	11,64	24,84

Nota: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. NS = não significativo. Fonte: Da autora (2016).

Outro fator que deve ser levado em consideração e apresenta grande influência sobre o IVE e a germinação é o teor de material volátil, pois sua presença no biocarvão pode resultar em sintomas de toxicidade (Silva et al., 2017). Todavia, notou-se uma baixa concentração destes nos substratos avaliados (entre 17,97 e 27,76%) (Tabela 1), fato este que segundo Bargmann et al. (2013) pode estar associado a redução destes elementos voláteis no processo de pirólise do material, não apresentando conseqüentemente potencial de fitotoxicidade no processo germinativo. O que pode ser evidenciado no presente estudo, onde houve uma variação de 61,80 a 74,99% na taxa de emergência com o emprego dos tratamentos contendo BCAA e BCLE contra 79,64% do substrato comercial (Tabela 4).

Entretanto, deve-se ressaltar que as variações nas taxas de germinação não são ocasionadas exclusivamente pelo efeito do biocarvão, pois o processo germinativo das sementes ocorre através da sinergia de vários outros fatores, tais como: condições edafoclimáticas, temperatura, suprimento de água e oxigênio, vigor e qualidade do lote de sementes (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

4.2 Avaliação morfológica das mudas

Para todas as variáveis avaliadas, pode-se notar significância em função da dose empregada quando comparada ao substrato comercial (Tabela 5). Apesar das composições do BCCA e BCLE apresentarem valores próximos de altura em comparação ao substrato comercial, nota-se que isto só ocorre quando existe um arranjo das duas fontes de biochar (proporção entre 20 e 80% de ambos) onde, quando empregados de forma isolada culminaram em redução da altura de planta, cerca de 77,25% e 48,38% com o emprego somente de BCCA e BCLE, respectivamente, em comparação ao substrato comercial (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios de altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/DC de mudas de *Salvia splendens* produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 60 dias

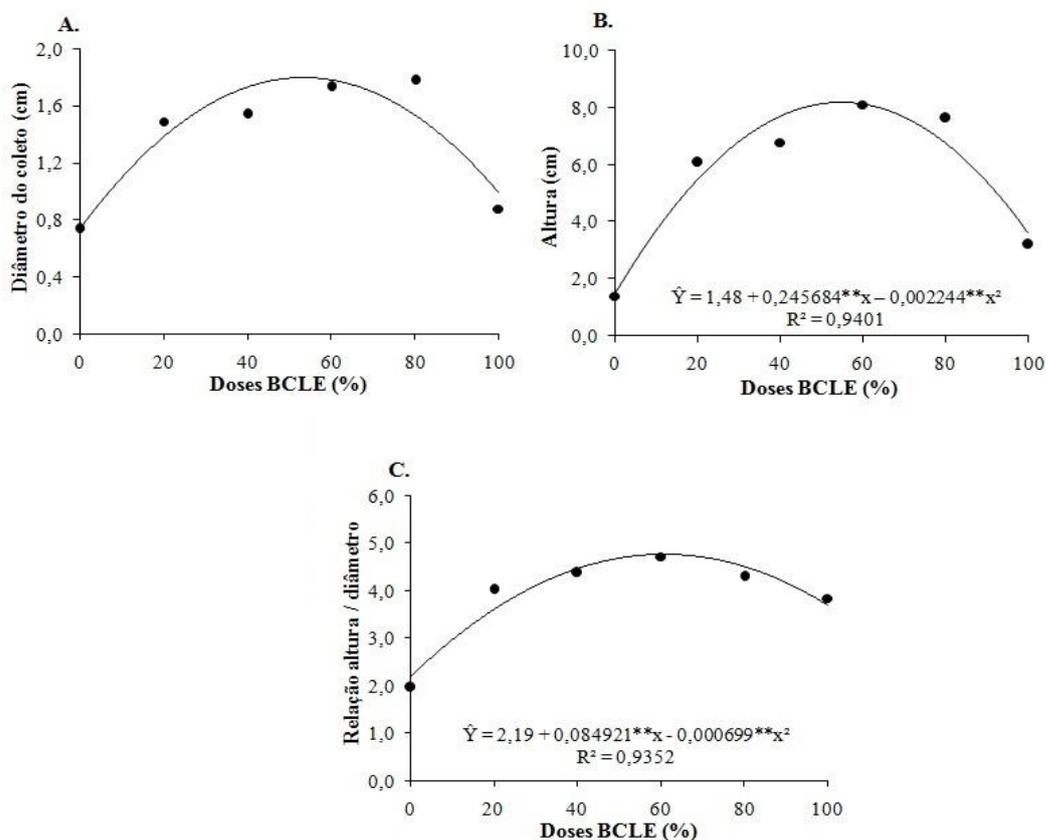
Tratamento	H (cm)	DC (mm)	H/DC
T1 - 100% BCCA	1,41 B	0,74 B	1,96 B
T2 - 80% BCCA + 20% BCLE	6,08 A	1,49 A	4,03 A
T3 - 60% BCCA + 40% BCLE	6,79 A	1,54 A	4,38 A
T4 - 40% BCCA + 60% BCLE	8,10 A	1,73 A	4,72 A
T5 - 20% BCCA + 80% BCLE	7,63 A	1,78 A	4,29 A
T6 - 100% BCLE	3,20 B	0,88 B	3,85 A
T7 – Substrato comercial (SC)	6,20 A	1,48 A	4,16 A
F	**	**	**
CV	18,37	19,62	16,15

Nota: ** = significativo a 1% de probabilidade; H = altura; DC = diâmetro do coleto; Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. Fonte: Da autora (2016).

O fato do crescimento inicial da *Salvia splendens* apresentar este comportamento na presença de uma única fonte de biochar pode estar associado à baixa disponibilidade de alguns nutrientes no BCCA, enquanto que no BCLE a baixa porosidade (Tabela 1), associada a um possível desbalanço nutricional poderiam ter culminado nestes resultados. Este tipo de comportamento já foi evidenciado na literatura, onde diversos trabalhos relataram que doses elevadas de lodo de esgoto ou biocarvão podem influenciar negativamente o crescimento da planta, fato este relacionado à baixa aeração, porosidade, dentre outros (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2014; DISPENZA, 2014; ZANETTI et al., 2004).

Logo, a associação de diversas fontes de matéria-prima (biochar) tende a ser algo benéfico para a planta, pois permite suprir a carência de uma das fontes, permitindo a ocorrência de uma ação sinérgica entre elas. Conseqüentemente, isto resulta na melhoria das características físicas e químicas do substrato promovendo uma melhor germinação, crescimento e desenvolvimento das mudas (BARBOSA & LOPES, 2007). Estes resultados encontram-se melhor evidenciados quando analisamos a Figura 5A, onde com a adoção de 54,7% de BLCE e 45,3% de BCCA culminaram em uma maior altura da planta (8,2 cm).

Figura 5 – Equações de regressão para as variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/DC (RHDC) de mudas de *Salvia splendens*, produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de BCCA e BCLE, aos 60 dias. ns, ** = não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

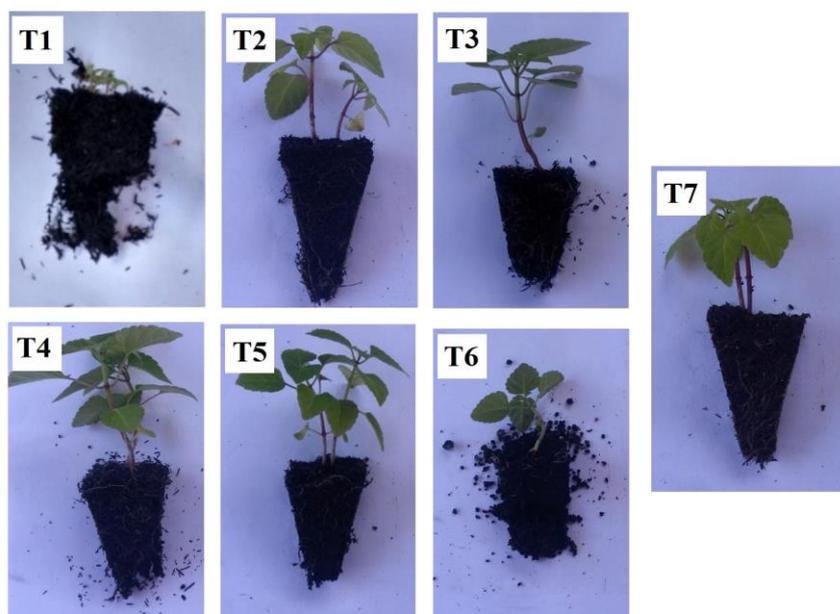


Fonte: da autora (2016).

O diâmetro de coleto apresentou comportamento semelhante à altura da planta em função das doses de biochar empregadas (Figura 5A e B), onde somente com a combinação das duas fontes ocorreu semelhança estatística com o substrato comercial, sendo que, com a composição de 53,48% de BCLE e 46,52% de BCCA culminou em melhores resultados nesta variável (1,79 cm), conseqüentemente estes resultados influenciaram o comportamento da relação entre altura e diâmetro. Levando em consideração que esta relação permite inferir o padrão de qualidade das mudas e sua capacidade de se estabelecerem no campo, também denominado coeficiente de robustez da planta (GOMES et al., 2002), apenas o tratamento contendo 100% de BCCA (1,96) não apresentou semelhança ao tratamento controle (Tabela 5), sendo que, na concentração de 60,74% de BCLE obteve-se os maiores valores (4,76) (Figura 5C).

Outra característica relevante e que apresenta grande influência no desenvolvimento das mudas é a estabilidade e qualidade do torrão, pois apenas os tratamentos T2, T3, T4 e T5 (Figura 6) demonstraram possuir estrutura satisfatória quando comparados ao substrato comercial (T7). Ou seja, nas proporções entre 20 e 80% de BCLE e BCCA notou-se ação sinérgica entre estas fontes de biochar; constatando também que diferente do substrato comercial, cuja composição contém fibra, pó de coco e aditivos químicos que visam suprir a necessidade da cultura, o BCLE e BCCA não possui nenhum aditivo em sua composição. Neste sentido, é notória a capacidade destas fontes em suprir a demanda nutricional da planta (fase de viveiro), não sendo necessário o emprego de adubação.

Figura 6 - Mudas de *Sálvia splendens* produzidas em substratos compostos por biochar de lodo de esgoto (BCLE) e biochar de casca de arroz (BCCA). Nota: T1 = 100%BCCA; T2 = 80%BCCA + 20%BCLE; T3 = 60% BCCA + 40% BCLE; T4 = 40% BCCA + 60% BCLE; T5 = 20% BCCA + 80% BCLE; T6 = 100% BCLE; T7 = Substrato comercial



Fonte: da autora (2016).

4.3 Ensaio de crescimento e desenvolvimento da *Salvia splendens* após o transplântio

4.3.1 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas

Pode-se constatar grande influência da composição do substrato sobre o acúmulo de biomassa na planta após o transplântio, onde apenas a MSI não apresentou diferença significativa em relação ao substrato comercial em função da utilização de BCCA e BCLE (Tabela 6). Maiores valores de MSR foram obtidos com o emprego do substrato comercial (3,78 g/planta). Todavia, em todos os tratamentos (exceto o que continha 100% de BCCA) apresentaram semelhanças estatísticas em relação à testemunha. Provavelmente a baixa disponibilidade de nutrientes na formação das mudas do T1 (Tabela 1) além da estruturação do substrato (Figura 6) pode ter culminado na redução do sistema radicular. Pois, levando em consideração que o estágio inicial de desenvolvimento da planta somado à qualidade da muda são essenciais para seu estabelecimento em campo, a deficiência nutricional e/ou problemas relacionados a composição química e física do substrato podem ocasionar problemas futuros em seu desenvolvimento.

Tabela 6 – Valores médios de matéria seca de raiz (MSR), matéria seca parte aérea (MSPA), matéria seca da inflorescência (MSI) e matéria seca total (MST) das plantas sob tratamentos com diferentes proporções de biochar de lodo de esgoto (BCLE) e biochar de casca de arroz (BCCA), aos 90 dias após o transplante

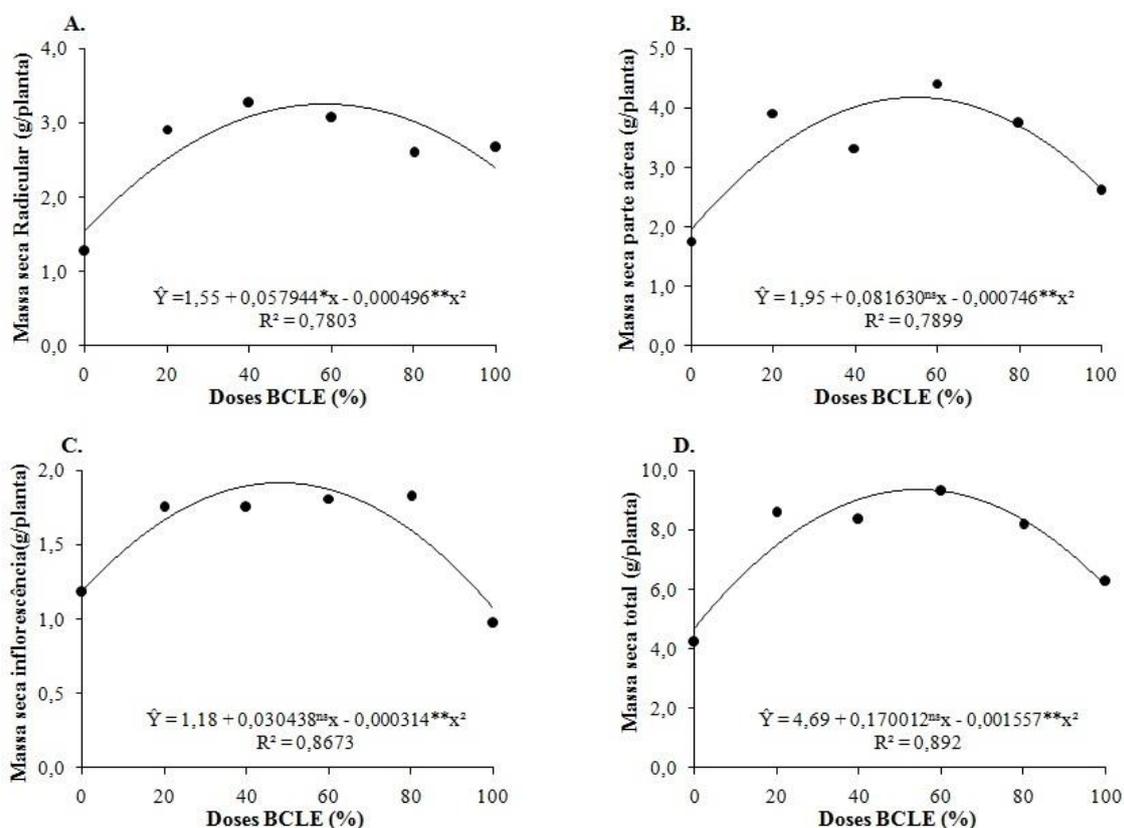
Tratamentos	MSR	MSPA	MSI	MST
	-----g/planta-----			
T1 - 100% BCCA	1,27 B	1,76 B	1,18 A	4,22 B
T2 - 80% BCCA+20% BCLE	2,91 A	3,91 A	1,75 A	8,57 A
T3 - 60% BCCA+40% BCLE	3,26 A	3,32 A	1,75 A	8,34 A
T4 - 40% BCCA+60% BCLE	3,07 A	4,41 A	1,81 A	9,30 A
T5 - 20% BCCA+80% BCLE	2,59 A	3,74 A	1,82 A	8,16 A
T6 - 100% BCLE	2,67 A	2,61 B	0,97 A	6,26 B
T7 - Substrato comercial (SC)	3,78 A	4,22 A	1,48 A	9,49 A
F	**	**	NS	**
CV (%)	23,05	20,58	29,56	15,87

Notas: ** = significativo a 1% de probabilidade; NS = não significativo; Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. Fonte: Da autora (2016).

Com a redução da concentração de BCCA no substrato, notou-se um aumento da biomassa seca do sistema radicular após 90 dias do transplante, onde uma concentração de 41,59% culminou em maiores valores para esta variável (3,24 g/planta). Entretanto, a redução do mesmo e o aumento da concentração de BCLE ocasionou a diminuição no acúmulo de

biomassa radicular da *Salvia splendens* (Figura 7A). De acordo com Gomes & Paiva (2004), quanto mais abundante o sistema radicular, maior o crescimento das mudas em campo, além de maior chance de sua estabilização. Consequentemente, isto implica no acúmulo de massa seca da parte aérea, pois, sem restrições radiculares a planta consegue abranger uma maior área para absorção de água minerais e nutrientes, fato este comprovado no presente estudo onde a MSPA apresentou resultados similares em função da disponibilidade de raízes (Tabela 6).

Figura 7 – Análise de regressão de matéria seca de raiz, matéria seca parte aérea, matéria seca da inflorescência e matéria seca total sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante. Nota: BCLE = biocarvão de lodo de esgoto



Fonte: da autora (2016).

O acúmulo de massa seca da parte aérea apresentou comportamento quadrático, onde com a adição de 54,71% de BCLE no plantio resultou em 4,18 g/planta quando realizada a avaliação aos 90 dias após o transplante, resultado bastante similar ao obtido no substrato comercial (4,22 g/planta) cerca de 0,95% menor que o mesmo (Figura 7B), fato este também observado por Souchie et al. (2011). Neste sentido, podemos inferir que os biochar provenientes de resíduos de lodo de esgoto e casca de arroz constituem-se de uma alternativa bastante promissora na substituição do substrato comercial, pois segundo Gomes & Paiva

(2004), o maior acúmulo de fitomassa seca é tido como um bom indicativo de sobrevivência e adaptação da muda em campo.

Levando em consideração que a massa seca total é o produto da somatória do acúmulo de massa seca radicular e foliar, nota-se o comportamento desta variável semelhante às demais (Tabela 6 e Figura 7), onde o emprego das concentrações de BCLE e BCCA entre 20 e 80% resultaram em valores semelhantes ao substrato comercial (Tabela 6), sendo que a concentração de 54,59% de BLCE culminou em melhores resultados para esta variável (9,33 g/planta) (Figura 7C).

Todas as variáveis biométricas analisadas apresentaram diferença significativa quando utilizados substratos contendo BCCA e BCLE em sua composição, exceto para altura de planta e relação entre altura e diâmetro de coleto quando comparadas ao substrato comercial (Tabela 7). O fato da altura da planta não se diferenciar da testemunha pode estar associado a uma série de fatores, seja eles inerentes as características fisiológicas da planta, da espécie empregada, das condições edafoclimáticas da região, exigência nutricional da espécie, característica do substrato, dentre outros (HOSSAIN et al., 2010; LIU et al., 2010; GWENZI et al., 2016; NAIR & CARPENTER, 2016).

Tabela 7 – Valores médios do número de folhas (NF), número de flores (NFL), comprimento da inflorescência (CI), altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação H/DC e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) sob tratamentos com diferentes proporções de biochar de lodo de esgoto (BCLE) e biochar de casca de arroz (BCCA), aos 90 dias após o transplante

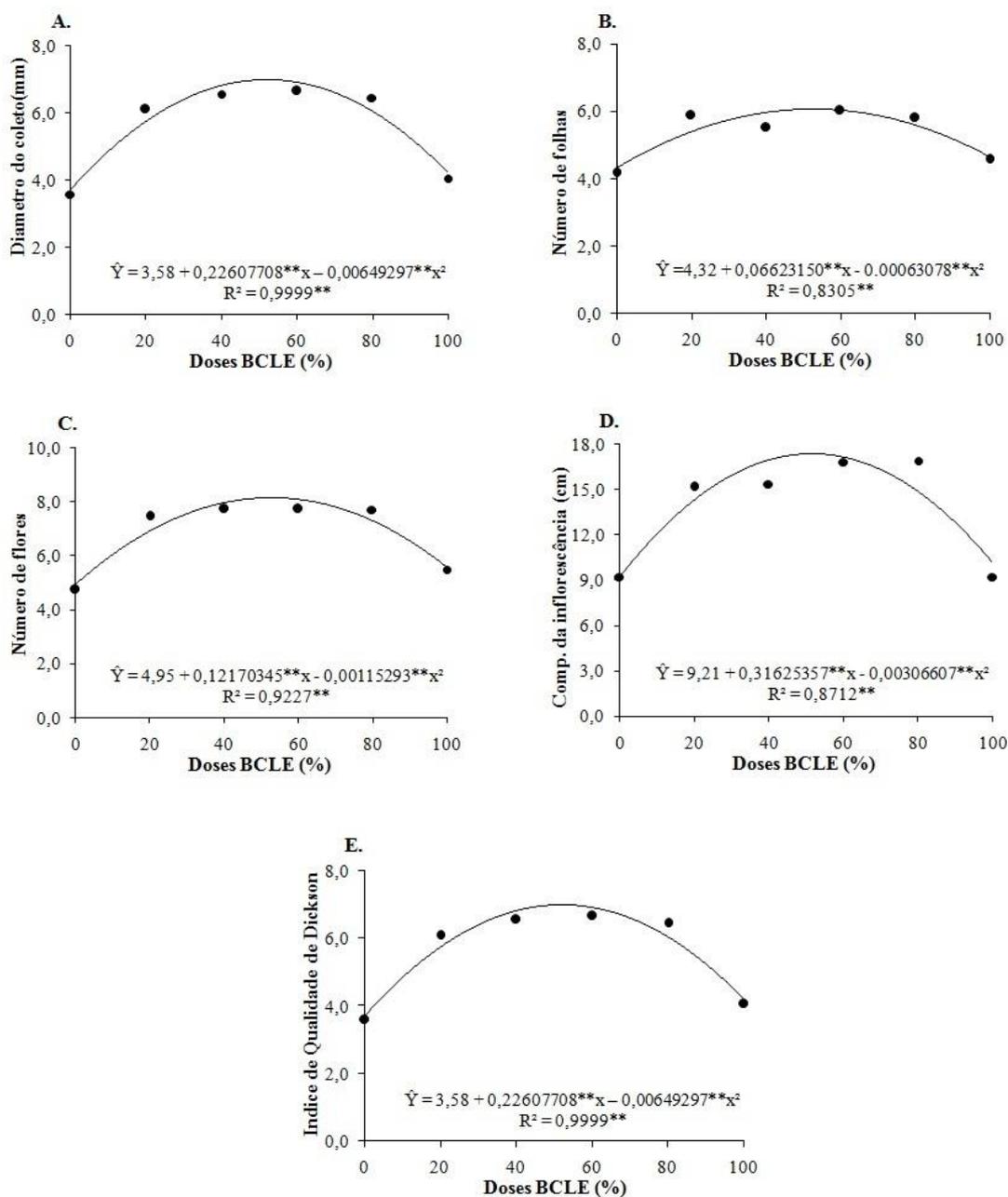
Tratamentos	NF ¹	NFL ¹	CI	H (cm)	DC (mm)	H/DC	IQD
T1 - 100% BCCA	4,17 B	4,75 B	9,21 B	27,97 A	3,58 B	7,66 A	0,42 B
T2 - 80% BCCA+20% BCLE	5,87 A	7,45 A	15,15 A	43,60 A	6,10 A	7,14 A	1,02 A
T3 - 60% BCCA+40% BCLE	5,52 A	7,74 A	15,36 A	45,47 A	6,56 A	6,91 A	1,07 A
T4 - 40% BCCA+60% BCLE	6,01 A	7,73 A	16,82 A	46,77 A	6,66 A	6,98 A	1,10 A
T5 - 20% BCCA+80% BCLE	5,80 A	7,71 A	16,91 A	49,65 A	6,45 A	7,68 A	0,89 A
T6 - 100% BCLE	4,56 B	5,49 B	9,21 B	32,00 A	4,05 B	7,57 A	0,73 B
T7 - Substrato comercial (SC)	6,47 A	7,68 A	17,15 A	48,30 A	6,69 A	7,21 A	1,16 A
F	**	**	**	NS	**	NS	**
CV (%)	13,62	15,12	21,81	25,67	17,06	14,35	20,88

Notas: ** = significativo a 1% de probabilidade; NS = não significativo; Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Para NF e NFL, as médias foram transformadas. Fonte: Da autora (2016).

Apesar do número de folhas ser uma característica intrínseca do cultivar e sua manutenção ser dependente do manejo fitossanitário e nutricional das plantas (LIMA, 2016), nota-se que com uma concentração de 20 a 80% de BCCA e BCLE não ocorreu diferenciação significativa em relação ao substrato comercial (Tabela 7), tendo seu pico máximo de número de folhas (6) com o emprego de 52,48% de BLCE (Figura 8A). Considerando que as folhas são responsáveis pela atividade fotossintética das plantas, uma maior área foliar e/ou maior

quantidade de folhas irá promover uma maior captura de luz (KANG & VAN-IERSEL, 2004) que, conseqüentemente terá influência em várias outras variáveis na planta, o que pode ser constatado no presente estudo onde o NF, CI, DC e IQD apresentaram resultados semelhantes ao NF (Tabela 7), fato este reforçado por Jose et al. (2005), que citam a importância do NF na formação de mudas de alta qualidade.

Figura 8 – Análise de regressão para as variáveis número de folhas, número de flores, comprimento da inflorescência, diâmetro de coleto e Índice de Qualidade de Dickson sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante



Nota: BCLE = biocarvão de lodo de esgoto. Fonte: da autora (2016).

Para se atingir alto índice de aceitação pelo público um dos principais fatores para comercialização de mudas ornamentais é seu aspecto estético, sendo que, o comprimento da inflorescência e número de flores são essenciais no intuito de se elevar esta qualidade (FURTINI-NETO et al., 2015). Neste sentido, notou-se grande influência da proporção de biochar utilizado em função destes caracteres, onde exceto as concentrações de 100% de BCCA e BCLE não apresentaram semelhança ao substrato comercial (Tabela 7). Entretanto, com o emprego de BCLE em proporções variando entre 51,57 e 52,77%, houve a maximização da resposta destas variáveis (Figura 8B e C). Isto permite inferir que a combinação destas duas fontes de biochar apresenta pleno potencial na formação de mudas de boa qualidade.

Para o diâmetro de coleto, notou-se resultado similar às demais características avaliadas (Tabela 7) sendo que, com o emprego de 49,11% e 50,89% de BCLE e BCCA respectivamente resultaram em um DC de 6,80 mm levando em consideração que esta variável pode ser utilizada para indicar a capacidade de sobrevivência da muda em campo. Vários autores relatam que o emprego do lodo de esgoto na produção de mudas favorece a formação de plantas com maior vigor (SCHEER et al., 2012; ROCHA et al., 2013; LIU et al., 2010; GWENZI et al., 2016). Possivelmente, isto ocorre devido aos elevados níveis de macronutrientes presentes no lodo, principalmente N e P, que influenciam significativamente o crescimento vegetal (KLOCK-MOORE, 2000), fato este que também foi constatado nas condições do presente estudo (Tabela 1).

O IQD é apontado como bom indicador de qualidade de mudas porque são utilizados para seu cálculo a robustez (relação altura/diâmetro de colmo) e o equilíbrio da distribuição da biomassa (relação MSPA/MSR) (CALDEIRA et al., 2005; CALDEIRA et al., 2007). Quanto maior for o valor do IQD, melhor será o padrão de qualidade das mudas (GOMES & PAIVA, 2012). Neste sentido, o substrato comercial apresentou maior valor de IQD (1,16), entretanto, os tratamentos T2, T3, T4 e T5 não diferiram estatisticamente da testemunha (Tabela 7). Todavia, o emprego de 53,77% de BCLE resultou em um IQD de 1,13 (Figura 8E) ou seja, cerca de 2,59% menor que o substrato comercial. Desta forma, os resultados obtidos atestam a qualidade das mudas produzidas nos substratos compostos por BCCA/BCLE, pois verificou-se crescimento adequado e bom desenvolvimento vegetativo das plantas após o transplante, principalmente daquelas que foram produzidas em substratos com proporções de BCLE entre 20-80%.

4.3.2 Análise foliar

O acúmulo de nutrientes na parte aérea (Tabela 8 e 9) seguiu a mesma tendência de comportamento das mudas (Tabela 5) e plantas após o transplante (Tabela 6 e 7) fato este não verificado apenas para os macros e micronutrientes: cálcio, magnésio, enxofre, zinco e cobre. O que permite inferir que o acúmulo destes nutrientes está diretamente relacionado ao desenvolvimento e estabelecimento da *Salvia splendens*.

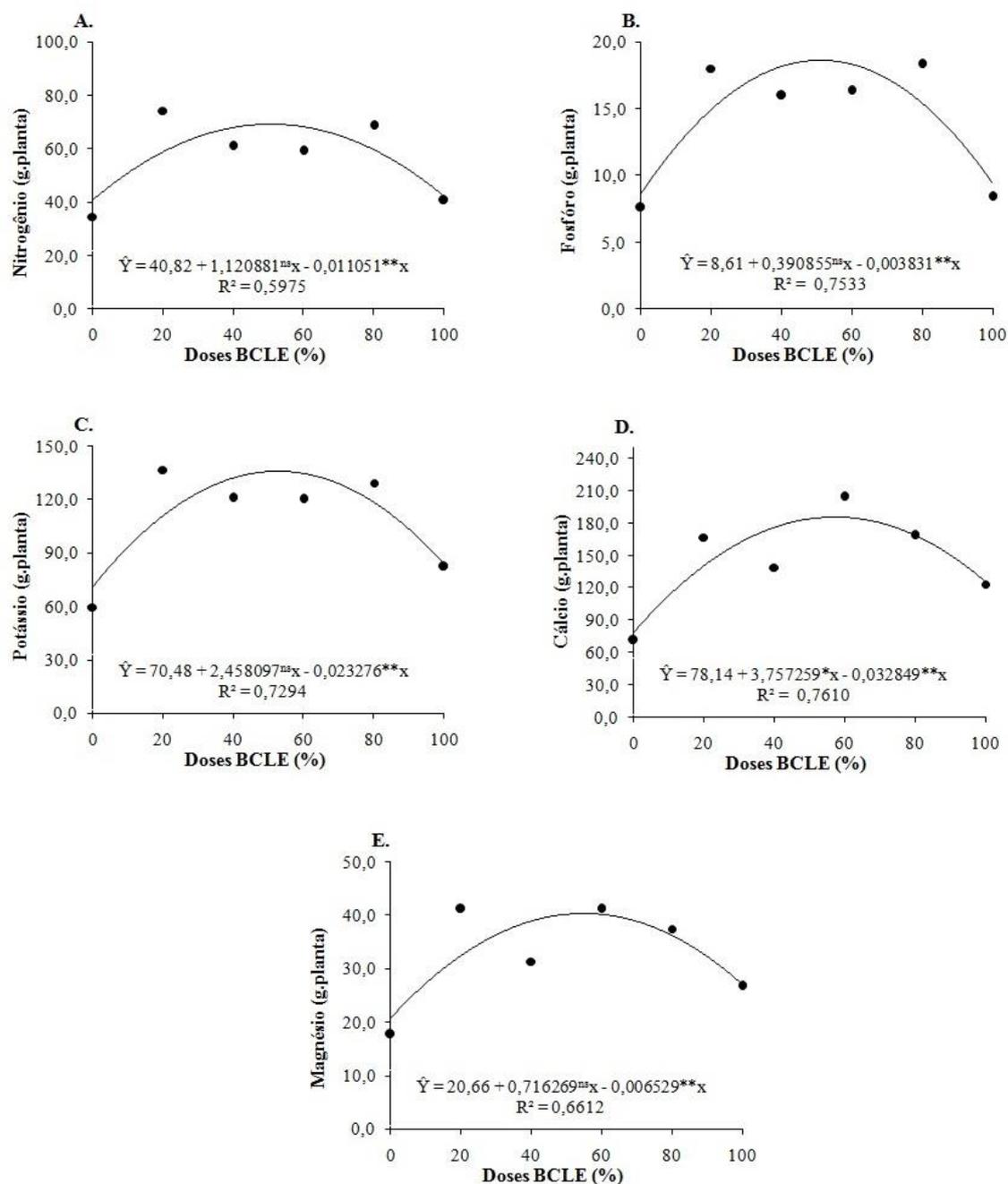
Tabela 8 – Médias do conteúdo de macronutrientes na parte aérea de *Salvia splendens*.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
	-----g/planta-----				
T1 - 100% BCCA	34,53 B	7,57 B	59,37 B	71,17 B	17,61 B
T2 - 80% BCCA 20% BCLE	74,33 A	17,99 A	136,54 A	167,06 A	41,08 A
T3 - 60% BCCA 40% BCLE	60,92 A	15,98 A	120,85 A	138,83 A	31,29 B
T4 - 40% BCCA 60% BCLE	59,16 A	16,33 A	120,10 A	204,44 A	41,06 A
T5 - 20% BCCA 80% BCLE	68,48 A	18,33 A	129,11 A	168,41 A	37,42 A
T6 - 100% BCLE	40,60 B	8,38 B	82,24 B	123,37 A	26,71 B
T7 – Substrato comercial (SC)	80,19 A	15,61 A	143,50 A	175,15 A	46,84 A
F	**	**	**	**	**
CV (%)	19,84	19,13	20,06	21,09	20,38

Notas: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. Fonte: da autora (2016).

Apesar do substrato comercial apresentar baixa concentração de nitrogênio N em comparação às demais fontes e concentrações de biochar (Tabela 1), observa-se valores elevados deste elemento na folha (Tabela 8). Provavelmente, isto ocorre devido a ação sinérgica do fósforo com o nitrogênio, conforme apontado por Shuman (1994), fato este que pode ser comprovado ao analisar a concentração deste elemento no substrato (Tabela 1). Outro ponto que reforça esta hipótese é a concentração de N no tratamento contendo 100% de BCCA, que apesar de ser maior que o observado no substrato comercial (cerca de 64,6%), possui baixo teor de P (Tabela 1) limitando neste caso a absorção de N. Todavia, quando em excesso este nutriente pode limitar o desenvolvimento da planta devido a toxicidade, isto explicaria a redução do acúmulo deste elemento nas folhas quando utilizado 100% de BCLE (Tabela 8). Neste sentido, pode-se inferir que as concentrações entre 20 a 80% de BCCA e BCLE não diferem estatisticamente do substrato comercial no acúmulo de N foliar, sendo que, o emprego de 50,7% de BLCE resultou em maiores valores deste elemento (69,24 g/planta) (Figura 9A).

Figura 9 – Análise de regressão para o conteúdo de macronutrientes na parte aérea de *Salvia splendens* sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante



Nota: BCLE = biocarvão de lodo de esgoto; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Fonte: Da autora (2016).

Tem-se conhecimento que o fósforo (P) apresenta forte sinergia com o nitrogênio (ALVES, 1999), o que poderia explicar os resultados obtidos no presente estudo, onde, a taxa de absorção de P foi semelhante ao do N, não diferindo estatisticamente em relação ao substrato comercial, quando utilizada uma proporção entre 20 a 80% de BCCA e BCLE (Tabela 8). Pode-se notar um comportamento quadrático com o aumento da percentagem de BLCE

empregada (Figura 9B), isto se deve a alta concentração de P neste composto, pois, através do processo de pirólise ocorre uma redução de C, H, O e N por volatilização culminando na elevação deste elemento (SOUZA, 2015).

Levando em consideração que o BCCA apresenta baixa disponibilidade de P em sua composição (Tabela 1) com o aumento da percentagem de BCLE notamos um incremento da presença de P no substrato (Tabela 1) que conseqüentemente aumentaria sua concentração na folha até 51 % de BCLE (18,58 g/planta), notando-se um declínio após este ponto. Comportamento este semelhante ao obtido por Cardoso et al., (2015) onde doses mais elevadas de P resultam em declínio da concentração deste elemento na folha, segundo os autores isto ocorre porque houve superação da capacidade metabólica na sua absorção.

Mesmo o BCCA possuindo alta concentração de potássio (K) em sua composição (Tabela 1), notou-se que parte deste elemento não foi translocado para as folhas quando em estágio adulto (Tabela 8) principalmente com o emprego de 100% de BCCA. Estes resultados podem estar associados às demais características da planta e/ou substrato, como baixa matéria seca da parte aérea e raiz (Tabela 6), altura e diâmetro de coleto da muda (Tabela 7) estruturação do substrato (Figura 6), dentre outros fatores. Souza (2015) obteve resultados semelhantes, o qual atribuiu este comportamento ao efeito de “diluição” resultante da baixa quantidade de matéria seca da planta. Todavia, mesmo com uma concentração reduzida de K no tratamento contendo 100% de BCCA, notamos que, após a dosagem de 47,2% de BCCA (135,37 g/planta) ocorre uma redução na concentração deste elemento (Figura 9C), fato este esperado, devido à baixa concentração de K presente no BCLE (Tabela 1).

O cálcio (Ca) enxofre (S) e o cobre (Cu) apresentaram comportamentos semelhantes entre si, onde apenas a aplicação de 100% de diferiu do tratamento contendo substrato comercial (Tabela 8 e 9). Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2016), apresentando forte correlação entre estes nutrientes, fato este que pode estar associado à disponibilidade de outros elementos. Sendo que as maiores concentrações destes nutrientes na planta foram obtidas com o emprego de 57, 56 e 70,84% de BCLE as quais resultaram em uma concentração de 185,5, 16,3 e 62,3 (g/planta) de Ca, S e Cu, respectivamente. Após este valor, pode-se notar um declínio na presença destes nutrientes na folha de *Salvia splendens* (Figura 9D e Figura 10A e E).

Tabela 9 – Médias do conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea de *Salvia splendens* (Continua)

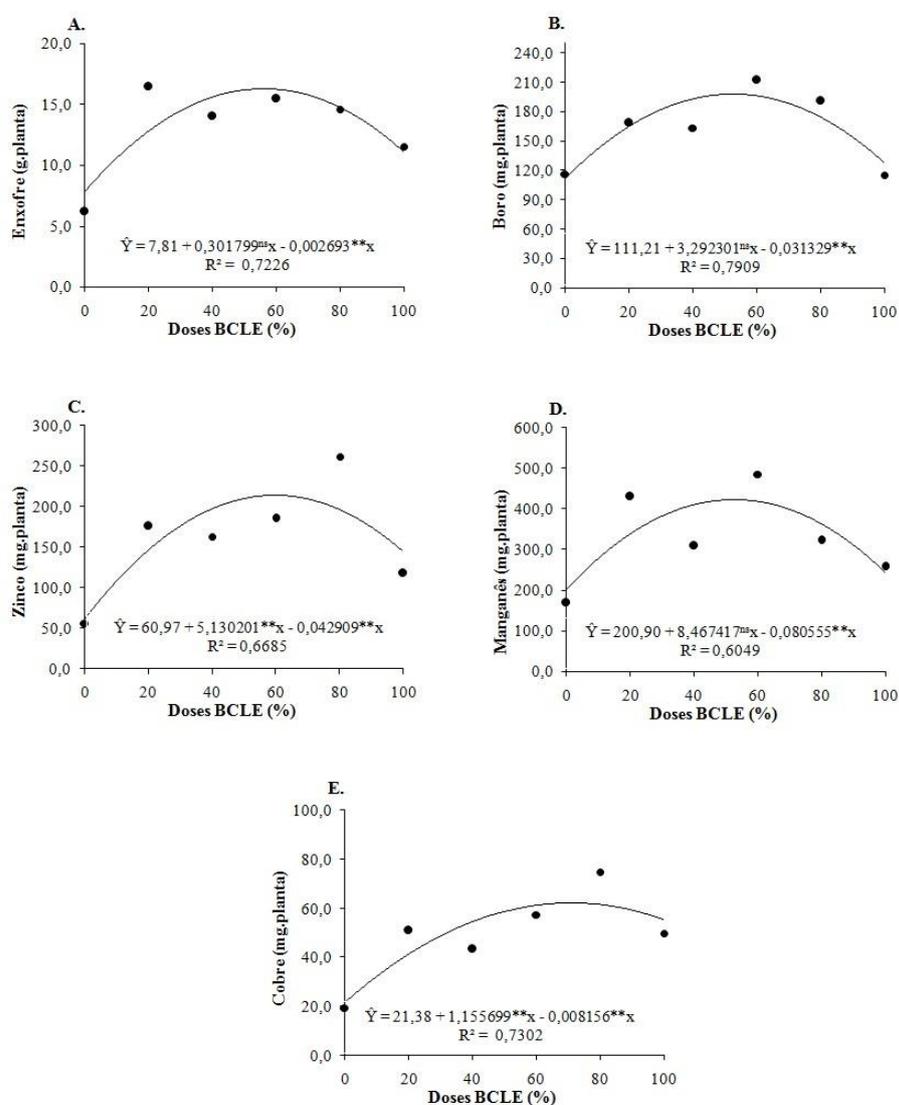
Tratamento	S	B	Zn	Mn	Cu
	--g/planta-	-----mg/planta-----			
T1 - 100% BCCA	6,16 B	116,28 B	56,38 B	169,14 B	19,38 B
T2 - 80% BCCA 20% BCLE	16,43 A	168,23 A	176,06 A	430,37 A	50,86 A
T3 - 60% BCCA 40% BCLE	13,98 A	163,13 A	163,13 A	309,63 A	43,28 A
T4 - 40% BCCA 60% BCLE	15,45 A	211,95 A	185,45 A	485,71 A	57,40 A
T5 - 20% BCCA 80% BCLE	14,59 A	190,86 A	261,97 B	321,85 A	74,85 A

Tabela 9 – Médias do conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea de *Salvia splendens* (Conclusão)

Tratamento	S	B	Zn	Mn	Cu
	--g/planta-	-----mg/planta-----			
T6 - 100% BCLE	11,52 A	115,25 B	117,87 A	256,69 B	49,76 A
T7 – Substrato comercial (SC)	13,08 A	232,13 A	177,26 A	400,95 A	59,08 A
F	**	**	**	**	**
CV (%)	21,45	21,12	19,75	20,50	22,41

Notas: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. Fonte: da autora (2016).

Figura 10 – Análise de regressão para o conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea de *Salvia splendens* sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, aos 90 dias após o transplante



Nota: BCLE = biocarvão de lodo de esgoto; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Fonte: Da autora (2016).

Em relação ao magnésio (Mg), observou-se um comportamento distinto daqueles encontrados nos demais nutrientes, onde apenas os tratamentos T2, T4 e T5 se assemelharam ao substrato comercial (Tabela 8). Apesar deste comportamento, notou-se que o aumento da dosagem de BCLE no substrato inicial culminou em incremento no acúmulo deste nutriente na parte aérea até a dosagem de 54,8 % de BCLE (40,3 g/planta) com sua posterior redução (Figura 9E). De maneira geral, o comportamento observado para os micronutrientes foi semelhante ao dos macronutrientes (Tabela 8 e 9), sendo que para o boro (B) e manganês (Mn) independente da concentração utilizada de BCCA e BCLE, apenas os tratamentos contendo em sua composição 100% do *biochar* citado não se assemelharam ao substrato comercial. Para estes caracteres, a concentração de 52,5 % de BCLE proporcionou melhores resultados (Figura 10B e D). Todavia, para o zinco (Zn) apesar de apresentar comportamento semelhante com o aumento da dosagem de BCLE (Figura 10C) apenas os tratamentos T2, T3, T4 e T6 se assemelharam ao substrato comercial (Tabela 9).

Com base na literatura, pode-se notar que o acúmulo de nutrientes na parte aérea da planta é relativo, podendo variar de cultura para cultura, além da matéria-prima utilizada para produção do *biochar* (RONDON et al., 2007; ALBURQUERQUE et al., 2013; SOUZA, 2015; ARAÚJO, 2016; LIMA et al., 2016). Apesar de Kang & Van-Iersel (2004) afirmarem que a *Salvia splendens* é exigente em termos nutricionais, requisitando alta fertilização durante o seu cultivo, poucos são os estudos que relatam a real necessidade nutricional da cultura. Baseado nas recomendações nutricionais propostas por Anella (2000) e Nelson (1994) para a cultura da *Salvia splendens*, nota-se que independente do substrato utilizado, todos culminaram em valores ideais para o desenvolvimento da mesma. É importante ressaltar que durante todo o período de cultivo não foi constatado nenhum sintoma de toxicidade por excesso ou falta de nutrientes, onde todos os tratamentos atenderam ao padrão exigido para comercialização (Figura 11).

Figura 11 – Mudas de *Salvia splendens* aos 150 dias (final do experimento)



Fonte: da autora (2016).

4.3.3 Influência do biocarvão na mistura solo/esterco

Com relação às características químicas do solo após a finalização do experimento, em específico os nutrientes, nota-se que apenas o Ca apresentou diferença significativa com relação ao substrato comercial, onde maiores concentrações de BCCA resultaram em menores valores na concentração deste elemento (Tabela 10). Este resultado ocorreu provavelmente devido à baixa disponibilidade deste nutriente na composição química do substrato à base de BCCA (80 e 100%) (Tabela1), fato este também observado por Conz (2015) ao comparar o *biochar* à base de casca de arroz em relação a outras fontes.

Tabela 10 – Análise do solo utilizado no experimento, sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, ao término do experimento

Tratamento	P	K	Ca	Mg	MO	COT
T1 - 100% BCCA	543, 12 A	295,80 A	8,09 B	4,00 A	9,06 B	5,25 B
T2 - 80% BCCA 20% BCLE	605,00 A	304,15 A	8,23 B	4,22 A	9,53 A	5,53 A
T3 - 60% BCCA 40% BCLE	598,75 A	280,66 A	8,52 A	4,15 A	9,75 A	5,65 A
T4 - 40% BCCA 60% BCLE	567,30 A	312,75 A	8,42 A	4,39 A	9,44 A	5,47 A
T5 - 20% BCCA 80% BCLE	585,62 A	276,93 A	8,60 A	4,02 A	9,91 A	5,75 A
T6 - 100% BCLE	604,17 A	295,72 A	8,36 A	4,36 A	9,84 A	5,71 A
T7 – Substrato comercial (SC)	575, 20 A	294,48 A	8,76 A	4,24 A	10,04 A	5,82 A
F	NS	NS	*	NS	*	*

Notas: MO = Matéria orgânica; COT = Carbono orgânico total. Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. Fonte: da autora (2016).

O emprego de 100% de BCCA como principal fonte de matéria-prima do substrato culminou em menores valores de COT, sendo que, maiores valores foram obtidos com a diminuição da proporção de BCCA e elevação de BCLE (Tabela 10). Este resultado acaba diferenciando dos resultados obtidos por Singh et al. (2010) e Conz (2015), pois, segundo estes autores, maiores valores deveriam ser obtidos com o emprego de fontes provenientes de materiais vegetais devido ao aumento da relação C:N, sendo que *biochars* provenientes de dejetos deveriam apresentar menores valores. Podemos notar efeito similar em relação a MO, onde valores elevados de BCCA (100%) resultaram em diferenças significativas em função ao substrato comercial (Tabela 10), isto pode ser explicado devido ao elevado grau de associação entre matéria orgânica total e carbono orgânico (CARMO & SILVA, 2012), onde cerca de 58% da constituição da matéria orgânica é composta por carbono (NELSON & SOMMERS, 1996).

Considerando que a SB corresponde a soma dos moles de carga dos cátions trocáveis predominantes em solos básicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}) (MALAVOLTA, 1993), isto explicaria os valores obtidos no presente estudo (Tabela 11), pois, pode-se constatar baixos valores de Ca no tratamento contendo 100% de BCCA (Tabela 10), o que influenciou os valores finais da SB.

Tabela 11 – Análise do solo utilizado no experimento, sob tratamentos com doses crescentes de BCLE, ao término do experimento

Tratamento	pH-H ₂ O	SB	T	T	V	H + Al
T1 - 100% BCCA	7,38 A	12,85 B	12,85 B	13,63 B	93,22 A	0,93 A
T2 - 80% BCCA 20% BCLE	7,47 A	13,23 A	13,23 A	14,11 A	93,76 A	0,87 A
T3 - 60% BCCA 40% BCLE	7,49 A	13,33 A	13,33 A	14,10 A	93,87 A	0,85 A
T4 - 40% BCCA 60% BCLE	7,41 A	13,61 A	13,61 A	14,47 A	94,05 A	0,85 A
T5 - 20% BCCA 80% BCLE	7,45 A	13,34 A	13,34 A	14,19 A	94,12 A	0,84 A
T6 - 100% BCLE	7,47 A	13,48 A	13,48 A	14,36 A	93,82 A	0,87 A
T7 – Substrato comercial (SC)	7,41 A	13,78 A	13, 78 A	14,69 A	93,75 A	0,90 A
F	NS	*	*	**	NS	NS

Notas: SB – soma de bases; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica total; V = percentagem de saturação de bases. Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. Fonte: da autora (2016).

Por definição, a capacidade de troca catiônica total (T) engloba todos os cátions permutáveis do solo ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$), sendo que, somente através de reações diretas com hidroxilas (OH^{-}) que o H^{+} é retirado da superfície de adsorção (RONQUIM, 2010). Ou seja, assim como na SB, o Ca^{2+} é constituinte principal da T, todavia, notamos que ocorreu um decréscimo de apenas 7,21% em relação ao substrato comercial (Tabela 11). O mesmo pode ser observado em relação à capacidade de troca catiônica efetiva (t) onde apenas o tratamento contendo 100% de BCCA apresentou diferença em função ao substrato comercial (Tabela 11). Fato este esperado, pois conforme relatado por Ronquim (2010) o que difere a capacidade de troca catiônica total da efetiva é que neste caso não se considera o íon H^{+} .

Ou seja, de maneira geral pode-se observar que praticamente todos os tratamentos obtiveram resultados semelhantes ao substrato comercial, demonstrando a capacidade que os substratos a base de BCLE e BCCA possuem em substituir os substratos comerciais, proporcionando uma boa nutrição as plantas resultando em seu ótimo desenvolvimento, alterando minimamente as propriedades químicas e físicas do solo quando utilizadas proporções acima de 20% de BCLE (Tabelas 10 e 11).

5 CONCLUSÕES

- A utilização do BCLE e do BCCA como substrato para produção de mudas é promissora, uma vez que os caracteres germinativos e de desenvolvimento da planta de *Salvia splendens* apresentaram qualidade igual e/ou superior a aquelas produzidas com o emprego de substratos comerciais.
- O uso do biocarvão oriundo de lodo de esgoto e de casca de arroz pode ser utilizado, para produção de mudas de espécies ornamentais, desde que utilizados de forma associada e nas proporções entre 40-60% de cada material.
- A utilização de um único biocarvão, na dose 100%, seja BCLE ou BCCA, não é recomendada para produção de mudas, uma vez que a qualidade das mesmas é de caráter inferior.

REFERÊNCIAS

- AGRAFIOTI, E.; BOURAS, G.; KALDERIS, D; DIAMAPOULOS, E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, p. 72-78, 2013.
- ALBURQUERQUE, J. A.; SALAZAR, P.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; del CAMPILLO, M. C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. **Agron. Sustain.**, v. 33, p. 475-484, 2013.
- ALCARDE, J. C. **Manual de Análise de Fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ. 2009. 259p.
- ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; VASCONCELLOS, C. A.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C.; FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, C. A.; FRANÇA, C. C. M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 299-305, 1999.
- ANELLA, L. B. Salvia: an old standby and promising newcomer. **HortTechnology**, v. 10, n.4, p.800-805, 2000.
- ARAÚJO, D. D. **Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina willd.*** 2016. 79f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília: FT, 2016.
- BARBOSA J. G.; LOPES, L. C. **Propagação de Plantas Ornamentais**. Viçosa, MG: UFV, 2007. v.1. 183p.
- BARGMANN, M. C.; RILLIG, W.; BUSS, A.; KUECKE, M. Hydrochar and biochar effects on germination of spring barley. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.199, p. 360-373. 2013.
- BELLE, S.; KAMPF, A. N. Utilização de casca de arroz carbonizada como condicionador hortícola para um solo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 8, p.1265-1271, 1994.

CALDEIRA, M.V.W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S.S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, Guarapuava, v. 3, p. 1-8, 2007.

CALDEIRA, M.V.W.; SPATHELF, P.; BARICHELLO, L.R.; VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V. Effect of different doses of vermicompost on the growth of *Apuleia leiocarpa* (Vog) Macbr. seedlings. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 3, p. 11-17, 2005.

CARDOSO, A. A. S.; ZANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; FARIAS, E. P.; MOURA, R. P. M. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. **Pesq. flor. bras.**, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 36, n.4, p.1211-1220, 2012.

CHU, E. Y. Uso da casca de arroz carbonizada como substrato para micorrização de mudas de três cultivares de pimenteira-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 66. 2007. 18p.

CONZ, R. F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”: ESALQ, 2015. 133p.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, v.26, p.37-44, 1972.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, n.1, p.10-13, 1960.

DISPENZA, V. **Utilizzo del biochar come substrato alternativo nella coltivazione di specie ornamentali in vaso**. 2014. 82f. Tese (Doutorado) – Università Degli Studi Di Palermo, Palermo, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 247p.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para características de física de substratos**. 2003. 80f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p.

FURTINI-NETO, A. E; BOLDRIN, K. V. F.; MATTSON, N. S. Nutrition and quality in ornamental plants. **Ornamental Horticulture**, v.21, p.139-150, 2015.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p. (Cadernos didáticos, 72).

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N. Viveiros florestais: propagação sexuada. **Editores UFV**, Viçosa – MG, 2012. v. 1. 116p. (Série didática, 1).

GONÇALVES, L.M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

GWENZI, W.; MUZAVA, M.; MAPANDA, F.; TAURO, T. P. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical Clay soil in Zimbabwe. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 6, p.1395-1406, 2016.

HERATH, H. M. S. K.; ARBESTAIN, M. C.; HEDLEY, M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. **Geoderma**, v. 209-210, p. 188-197, 2013.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; NELSON, P. F. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, p. 1167-1171, 2010.

IBI – International Biochar Initiative. Standardized Product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. v. 8. 2012. Disponível em: <http://www.biocharinternational.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf>. Acesso em: 17 out. 2017.

JIEN, S. H.; WANG, C. S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, v.110, p.225-233, 2013.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus molle* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KANG, J.G.; M.W. VAN IERSEL. Nutrient solution concentration affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). **HortScience**, v.39, p.49-54, 2004.

KLOCK-MOORE, K. A. Comparison of Salvia Growth in Seaweed Compost and Biosolids Compost. **Compost Science & Utilization**, v. 8, n. 1, p. 24-28, 2000.

LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.48, n.2, p.263-284, 1976.

LIMA, I. S. **Parâmetros físico-hídricos, lixiviação de nutrientes e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L) em Argissolo amarelo tratado com biocarvão**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sergipe: UFS, 2016. 79p.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MELO-SANTOS, K. S.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesq. agropec. bras.**, v.51, n.2, p.120-131, 2016.

LIU, C.; TANG, Z.; CHEN, Y.; SU, SHIJUN; JIANG, W. Characterization of mesoporous activated carbons prepared by pyrolysis of sewage sludge with pyrolusite. **Bioresource Technology**, v.101, p. 1097-1101, 2010.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 1088p.

MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p. 176-177, 1962.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas máximas econômicas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MAPA - Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. **Diário Oficial da União**, seção 1, n. 99, 2007. (Instrução Normativa SDA Nº 17).

MENDEZ, A.; TERRADILLOS, M.; GASCÓ, G. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, p. 124-130, 2013.

MINAMI, K.; SALVADOR, E. D. **Substrato para plantas**. Piracicaba: Degaspari, 2010, 226p.

NAIR, A.; CARPENTER, B. Biochar rate and transplant tray cell number have implications on pepper growth during transplant production. **Horttechonology**, v.26, n.6, p. 713-719, 2016.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison, **Soil Science of America and American Society of Agronomy**, p. 961-1010. 1996.

NELSON, P.V. Fertilization. In: E.J. Holcomb (ed.). **Bedding plants IV**. Ball Publ., Batavia, p. 151– 175. 1994.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n. 73, p. 27-36, 2013.

RONDON, M. A.; LEHMANN, J.; RAMIREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43, p. 699-780, 2007.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010, 30p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Mudas de *Jasminum mesnyi* Hance produzidas com substratos à base de lodo de esgoto compostado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 931-937, 2012.

SHUMAN, L.M. Mineral nutrition. In: WILKINSON, R.E., ed. **Plant-environment interactions**, New York, Marcel Dekker, p. 149-182, 1994.

SILVA, I. C. B. **Atributos do solo e características agronômicas do feijoeiro adubado com biochar**. 2016. 63f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, 2016.

SILVA, M. I.; MACKOWIAK, C.; MINOGUE, P.; REIS, A. F.; MOLINE, E. F. V. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant Forest seedlings. **Ciência Rural**, v. 147, n.1, p. 1-5, 2017.

SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, A. L. Characterisation and evaluation of biochar for their application as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 516-525, 2010.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA, A. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOUZA, A. A. T. C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de Aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.657-665, 2014.

ZANETTI, M.; CAZETTA, J. O.; MATTOS JÚNIOR, D.; CARVALHO, S. A. Influência do extrato pirolenhoso na calda de pulverização sobre o teor foliar de nutrientes em Limoeiro 'Cravo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 529-533, 2004.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JUNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 300-311, 2014.

6 ARTIGO 2 – PRODUÇÃO DE MUDAS DE PACHYVERIA GLAUCA POR MEIO DE ESTAQUIA EM SUBSTRATOS DE BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO E CASCA DE ARROZ

Resumo

Um dos principais fatores que acabam onerando o custo de produção do ramo florícola são os gastos associados à produção de mudas, dos quais podemos destacar o substrato. Neste sentido, o emprego de biocarvão pode vir a ser uma alternativa bastante viável, pois além de apresentar características intrínsecas essenciais para produção de mudas, o mesmo é tido como ambientalmente correto. O uso de biocarvões, principalmente os derivados de casca de arroz, são amplamente utilizados. Logo, a associação deste material com o lodo de esgoto carbonizado pode incrementar ainda mais a qualidade das mudas. Neste sentido e em virtude do potencial da utilização dos resíduos na produção de substratos para produção de mudas ornamentais e pelas características favoráveis do biocarvão para essa finalidade, este trabalho teve como objetivos: 1) avaliar a eficiência do biocarvão de lodo de esgoto (BCLE) e do biocarvão de casca de arroz (BCCA) como substratos para produção de mudas de *Pachyveria glauca* por estaquia; 2) verificar se substratos compostos unicamente por biocarvão de lodo de esgoto e biocarvão de casca de arroz, em diferentes proporções, são adequados para o crescimento e desenvolvimento dessas plantas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, contendo sete tratamentos (T1 = 0% BCLE + 100% BCCA; T2 = 20% BCLE + 80% BCCA; 40% BCLE + 60% BCCA; 60% BCLE + 40% BCCA; 80% BCLE + 20% BCCA; e 100% BCLE + 0% BCCA, e um tratamento controle constituído por substrato comercial Bioplant®), dispostos com quatro repetições. A utilização de substratos com 60 a 80% de biochar de casca de arroz e 40 a 20% de biochar de lodo de esgoto para produção de mudas de *Pachyveria glauca*, por meio da estaquia, proporcionou mudas com qualidade e estado nutricional equivalentes ou superiores àquelas produzidas em substrato comercial. A utilização de apenas o biochar de casca de arroz ou de 80% desse biochar misturado a até 20% de biochar de lodo de esgoto no substrato, favoreceu uma brotação mais rápida das estacas, demonstrando o pleno potencial de uso do biocarvão na produção de mudas ornamentais.

Palavras-chave: propagação vegetativa; espécies xerófitas; biossólido; *biochar*.

1 INTRODUÇÃO

Tem-se conhecimento que a floricultura empresarial brasileira vem adquirindo um grande destaque em função de seu desenvolvimento, tornando-a um dos ramos mais promissores dentro do segmento da horticultura intensiva (JUNQUEIRA & PEETZ, 2008). Dentre as espécies mais comercializadas neste setor, destacam-se as suculentas, que são plantas carnosas e espessas, com capacidade de armazenamento de água em suas folhas (PAIVA; LESSA, 2006).

Dentre essas plantas podemos destacar a *Pachyveria glauca*, que em função de sua versatilidade e facilidade de cultivo, possui grande potencial de comercialização, com principal emprego no paisagismo, sendo que a sua propagação ocorre principalmente por meio da estaquia foliar. Todavia, vale ressaltar que o substrato é um dos fatores que mais oneram o seu custo de produção, em função de sua alta demanda na produção das mudas.

Além de se levar em conta o custo do substrato, é importante que o mesmo apresente boas características, conforme apontado por Minami & Salvador (2010), pois este é responsável pela fixação da planta no recipiente e está diretamente relacionado à qualidade da muda. Neste sentido, é comumente observado nos substratos formulados um rearranjo de

diversos resíduos, com o intuito de garantir uma mistura rica em nutrientes e com boas características físicas.

Recentemente, tem-se notado um grande potencial do biocarvão como uma possível fonte para a composição de substratos para diversas mudas (KAUDAL et al., 2015), pelo fato de possuírem boas características físico-químicas (HOSSAIN, 2010; MENDEZ et al., 2013). Desta forma, muita atenção tem-se dado ao lodo de esgoto, pois o mesmo possui resultados promissores na agricultura (GALDOS et al., 2004; GUEDES et al., 2006), quando atendido a uma série de requisitos preconizados pela legislação brasileira (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

Logo, com o emprego da pirólise, além de minimizar possíveis impactos ao meio ambiente, seria mais uma alternativa para reinserção benéfica deste resíduo da natureza. Além deste, Araújo (2016) demonstrou que este composto induz boas características químicas e físicas ao substrato, melhorando conseqüentemente a qualidade das mudas implantadas.

Todavia, é válido ressaltar que o produto final resultante da pirólise pode apresentar características contrastantes em função da matéria prima utilizada, tornando imprescindível a composição de várias fontes de materiais com o intuito de se atingir um substrato com boa qualidade (MINAMI & SALVADOR, 2010). Como exemplo, pode ser citado o caso do *biochar* proveniente de casca de arroz, o qual é amplamente utilizado na produção de mudas ornamentais (BELLE & KAMPF, 1994). Apesar das boas características físicas que proporciona ao substrato, necessita de uma complementação com materiais que proporcionem boas características químicas, como é o caso do *biochar* de lodo de esgoto.

Em decorrência do potencial de utilização de resíduos para produção de substratos, que podem ser empregados na produção de mudas ornamentais, os objetivos deste trabalho consistiram em:

- 1) avaliar a eficiência do biocarvão de lodo de esgoto e do biocarvão de casca de arroz como substratos para produção de mudas de *Pachyveria glauca* por estaquia;
- 2) verificar se substratos compostos unicamente por biocarvão de lodo de esgoto e biocarvão de casca de arroz, em diferentes proporções, são adequados para o crescimento e desenvolvimento dessas plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas etapas, onde a primeira consistiu na produção das mudas de *Pachyveria glauca*, por meio da estaquia das folhas em um rearranjo contendo todos os tratamentos compostos por biocarvão de lodo de esgoto e de casca de arroz. Em seguida estas estacas enraizadas foram transplantadas em recipientes contendo uma mistura de solo/esterco/areia (2ª etapa), com o intuito de verificar seu crescimento inicial, diagnosticando se a muda produzida no biocarvão possui melhor enraizamento e desenvolvimento do que aquela produzida no tratamento controle. Os detalhes de cada etapa/experimento estão descritos nos tópicos a seguir.

2.1 Área experimental

A condução do experimento ocorreu em ambiente protegido com plástico transparente de 100 microns e tela de 50% de sombreamento do viveiro de plantas ornamentais do ICA/UFMG, em Montes Claros – MG, sendo 75 dias para cada etapa, totalizando 150 dias de experimento. A Universidade situa-se no ponto de coordenadas geográficas 16° 44' 06"S, 43° 51' 42"W e 648 metros de altitude. O clima predominante na região é do tipo Aw – clima tropical de savana, caracterizado por um inverno seco e verão chuvoso.

2.2 Produção do biocarvão

A produção do biocarvão ocorreu nas dependências do Laboratório de Biodigestão do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, utilizando matérias primas provenientes da região norte de Minas Gerais. O lodo de esgoto foi coletado da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais e, a casca de arroz, proveniente de empresas que realizam o beneficiamento do grão na região.

Em posse das matérias primas e com o auxílio de um forno elétrico (tipo mufla), as amostras foram pirolisadas a uma temperatura aproximada de 450°C por 30 minutos. Posteriormente, foram resfriadas com água no intuito de cessar o processo de carbonização, logo as mesmas foram peneiradas (peneira com abertura de 2 mm) e armazenadas em recipiente fechado. Para a realização das análises químicas, foram retiradas amostras destes compostos e determinadas a partir das metodologias propostas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) e descritas por Alcarde (2009).

O carbono orgânico total foi determinado por meio de sua oxidação por via úmida, utilizando de dicromato de potássio (em meio ácido aquecido), sendo este elemento quantificado em seguida por titulação com sulfato ferroso amoniacal, empregando-se como indicador difenilamina e ácido ortofosfórico 85%. A determinação do teor de nitrogênio foi efetuada seguindo a metodologia laboratorial proposta por Kjeldahl, com digestão sulfúrica, seguida da destilação com NaOH concentrado e titulação com solução ácida (H_3BO_3) a 1%.

A quantificação do fósforo total ocorreu com o auxílio de um espectrofotômetro (com ácido molibdovanadofosfórico) via digestão com ácido clorídrico, sendo que para a determinação do potássio e sódio utilizou-se fotometria de chama. Os teores de enxofre foram obtidos pela metodologia do peróxido de hidrogênio e os demais elementos (Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Cr, Ni, Cd e Pb) por meio de espectrometria de absorção atômica.

Para a caracterização física (Tabela 1), determinou-se a densidade de partículas segundo metodologia proposta por Fermio (2003), densidade aparente segundo a EMBRAPA (1997) e porosidade total por meio da metodologia descrita por Zorzeto et al. (2014). Para a caracterização de teor de cinzas, material volátil e carbono fixo utilizou-se o método proposto pela *International Biochar Initiative*, IBI (2012).

Tabela 1 – Caracterização química e física da matéria-prima e do *biochar*

(Continua)

Parâmetro	SC	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH (CaCl ₂)	4,95 ± 0,02	7,72 ± 0,14	7,43 ± 0,05	7,15 ± 0,04	7,09 ± 0,05	6,98 ± 0,12	7,00 ± 0,05
CE (mS cm ⁻¹)	0,79 ± 46,90	0,30 ± 10,80	0,46 ± 27,40	0,62 ± 19,10	0,62 ± 17,90	0,73 ± 12,70	0,92 ± 5,61
CTC (mmol _c kg ⁻¹)	426,01 ± 3,90	95,46 ± 2,75	294,94 ± 49,60	175,32 ± 61,40	224,41 ± 11,30	268,49 ± 8,80	336,64 ± 3,20
C (dag kg ⁻¹)	13,0 ± 0,22	23,83 ± 0,55	21,84 ± 0,61	18,45 ± 0,38	14,50 ± 0,50	15,48 ± 0,57	15,67 ± 0,42
N (g kg ⁻¹)	3,54 ± 0,39	5,83 ± 0,41	9,60 ± 2,65	14,97 ± 0,64	19,02 ± 1,93	23,17 ± 3,42	26,85 ± 2,03
P (g kg ⁻¹)	126,71 ± 0,70	32,13 ± 2,06	74,53 ± 4,05	144,06 ± 6,30	174,42 ± 28,60	224,06 ± 1,07	240,0 ± 0,71
K (g kg ⁻¹)	6,40 ± 0,16	10,31 ± 0,57	8,93 ± 0,25	8,65 ± 0,66	6,91 ± 0,70	6,33 ± 1,07	4,08 ± 0,33
S (g kg ⁻¹)	5,55 ± 0,25	4,06 ± 0,26	5,50 ± 0,33	6,07 ± 0,47	6,40 ± 0,59	6,46 ± 0,66	6,39 ± 0,42
Na (mg kg ⁻¹)	692,02 ± 19,50	476,52 ± 31,10	559,18 ± 46,80	491,28 ± 62,80	538,51 ± 48,70	423,38 ± 64,00	449,95 ± 18,40
Ca (mg kg ⁻¹)	765,5 ± 32,80	189,89 ± 80,70	165,54 ± 57,80	318,83 ± 146,70	734,0 ± 69,90	783,50 ± 168,90	362,48 ± 185,90
Mg (mg kg ⁻¹)	443,61 ± 25,00	139,99 ± 23,90	117,23 ± 75,50	208,52 ± 52,70	258,02 ± 34,10	277,18 ± 63,90	263,47 ± 26,80
Fe (mg kg ⁻¹)	11,79 ± 3,01	31,21 ± 0,93	38,57 ± 2,13	29,78 ± 6,29	36,37 ± 3,21	37,27 ± 9,40	29,91 ± 14,26
Zn (mg/kg ⁻¹)	14,37 ± 21,10	77,05 ± 2,62	126,55 ± 23,20	104,99 ± 45,30	133,60 ± 50,80	170,46 ± 12,40	187,09 ± 21,10
Mn (mg kg ⁻¹)	46,20 ± 2,76	557,55 ± 53,80	565,93 ± 36,40	499,93 ± 97,70	516,03 ± 77,40	521,49 ± 49,50	466,80 ± 126,89
Cu (mg kg ⁻¹)	2,31 ± 0,26	62,28 ± 2,79	204,66 ± 50,37	267,33 ± 67,80	398,54 ± 53,70	398,0 ± 26,50	456,95 ± 56,10
Ni (mg kg ⁻¹)	46,02 ± 2,62	1,82 ± 0,20	0,17 ± 0,24	0,20 ± 0,37	0,24 ± 0,20	0,15 ± 0,48	0,03 ± 0,52
Co (mg kg ⁻¹)	5,0 ± 0,39	0,25 ± 0,21	0,31 ± 0,13	0,65 ± 0,52	1,63 ± 0,13	1,31 ± 0,81	0,93 ± 0,13
Cr (mg kg ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd (mg kg ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb (mg kg ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Nd
D _{ap} (g cm ⁻³)	0,28 ± 0,22	0,29 ± 0,01	0,34 ± 0,00	0,33 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,61 ± 0,01
DP (g cm ⁻³)	1,66 ± 0,23	1,36 ± 0,03	1,43 ± 0,12	1,45 ± 0,06	1,50 ± 0,05	1,61 ± 0,15	1,68 ± 0,04

Tabela 1 – Caracterização química e física da matéria-prima e do *biochar*
(Conclusão)

Parâmetro	SC	T1	T2	T3	T4	T5	T6
PT (%)	82,8 ± 0,48	78,8 ± 0,74	76,3 ± 0,78	77,4 ± 0,33	72,7 ± 2,4	68,7 ± 0,32	63,5 ± 0,30
Voláteis (%)	-	17,97	19,61	22,09	23,89	28,13	27,76
Cinzas (%)	-	47,92	52,72	54,52	55,08	56,60	59,02
Carbono (%)	-	32,34	23,34	21,19	18,33	12,17	9,81

Notas: CE = condutividade elétrica; CTC = capacidade de troca catiônica; D_{ap} = densidade aparente; DP = densidade de partículas; PT = porosidade total; LE = lodo de esgoto; CA = casca de arroz; SC = substrato comercial; T1 = 100%BCCA; T2 = 80%BCCA+20%BCLE; T3 = 60%BCCA+40%BCLE; T4 = 40%BCCA+60%BCLE; T5 = 20%BCCA+80%BCLE; T6 = 100%BCLE; nd = não detectado. Fonte: Da autora.

2.2 Experimento 1: Produção de mudas de *Pachyveria glauca* em biocarvão

2.2.1 Delineamento e implantação do experimento

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, contendo sete tratamentos (Tabela 2), com quatro repetições, sendo que as estacas foram alocadas em sementeiras de poliestireno expandido com capacidade para 128 células e volume de 25 cm³ cada. Os quais foram preenchidos com proporções distintas de biocarvão de lodo de esgoto e de casca de arroz além do substrato comercial Bioplant®, seguindo o arranjo dos tratamentos. Sendo que, o substrato comercial foi composto basicamente por fibra e pó de coco, além de aditivos nutricionais.

Tabela 2 - Tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Proporções	
	BCCA (%)	BCLE (%)
T1	100	0
T2	80	20
T3	60	40
T4	40	60
T5	20	80
T6	0	100
T7 – Testemunha	Cultivo em substrato comercial para espécies ornamentais.	

Notas: BCCA = biocarvão de casca de arroz; BCLE = biocarvão de lodo de esgoto. Fonte: da autora (2016).

As estacas de *Pachyveria glauca* foram retiradas de plantas matrizes provenientes do campus do ICA/UFMG e mantidas em bandejas plásticas durante dois dias, sob ambiente protegido, para que ocorresse a cicatrização do local de ruptura. Após este período, foi colocado uma estaca em cada célula da bandeja com a inserção de sua base no substrato em uma profundidade de 1 cm (Figura 1).

Figura 1 – Estacas de *Pachyveria glauca* dispostas na bandeja com os diferentes tratamentos de BCCA/BCLE. Fonte: da autora (2016)



Fonte: da autora (2016).

As avaliações efetuadas durante o desenvolvimento da planta consistiram-se do índice de velocidade de brotação (IVB), conforme fórmula proposta por Maguire (1962), o qual foi mensurado diariamente o número de brotações das estacas. A percentagem de sobrevivência das estacas foi calculada por meio da adaptação da fórmula proposta por Labouriau e Valadares (1976). Aos 75 DAP (dias após o plantio) foi aferida a altura da planta com o auxílio de régua milimetrada, bem como o número de folhas.

2.3 Experimento 2: Crescimento e desenvolvimento de *Pachyveria glauca* em função do substrato utilizado para produção de estacas.

2.3.1 Delineamento experimental e implantação do experimento 2

Aos 75 DAP as estacas foram transplantadas para recipientes de 300 mL, contendo uma mistura de solo/esterco/areia na proporção 2:1:1, a fim de verificar o desenvolvimento das estacas em função do biocarvão utilizado na etapa de produção da muda (Figura 2), utilizando o delineamento e tratamentos da tabela 2 cuja análise química do solo utilizado no experimento está descrita na Tabela 3.

Figura 2 – Mudanças de *Pachyveria glauca*, transplantadas aos 75 dias



Fonte: da autora (2016).

Tabela 3 - Análise química da mistura solo/esterco utilizada no experimento

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	COS	MO	
H ₂ O	mg dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----					-----dag dm ⁻³ -----				
7,2	520	1.090	7,85	3,99	0,00	0,95	14,63	14,63	94	8,66	14,94	

Fonte: Da autora.

2.3.2 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas

Aos 75 dias após o transplante (150 DAP) foram mensurados: a) altura das plantas, com o auxílio de uma régua milimetrada; b) comprimento de raiz principal, com o auxílio de uma régua milimetrada; c) contagem do número total de folhas. Ao término do experimento as plantas foram separadas em raiz e parte aérea, as quais posteriormente foram pesadas em balança analítica para determinação da massa fresca. Em seguida, estas foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas a uma estufa com circulação de ar forçada operando a uma temperatura de 65°C ±, até atingirem peso constante para determinação da massa seca.

Em seguida as amostras da parte aérea das plantas foram trituradas com auxílio de almofariz e pistilo de ágata, para análise foliar, conforme metodologia proposta por Malavolta (1997), analisando os nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn e Cu.

2.3.3 Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do teste de Dunnett a 5% de probabilidade, com o intuito de comparar as diferentes proporções de substrato a base de biocarvão com a testemunha. Onde, as proporções de biocarvão foram ajustadas com base nos modelos de regressão, quando constatado significância a 5% de probabilidade pelo teste t. A análise estatística foi realizada com auxílio do software Assistat.

7 RESULTADO E DISCUSSÃO

7.1 Ensaio de germinação e adaptação da *Pachyveria glauca*

Apesar da percentagem de emergência e número de folhas não ter demonstrado diferença significativa entre as fontes de *biochar* empregadas em função do tratamento controle (Tabela 4), notamos que este comportamento não é observado para o índice de velocidade de brotação e altura de planta. Com relação ao IVB, podemos inferir que o fato de nenhum tratamento se assemelhar ao SC pode estar associado à porosidade total deste último (Tabela 1). Pois, conforme apontado por Rodrigues (2013) a distribuição do diâmetro dos poros, assim como redução da macroporosidade tende a resultar em maior compactação, o que consequentemente reduz a infiltração de água e aeração do substrato.

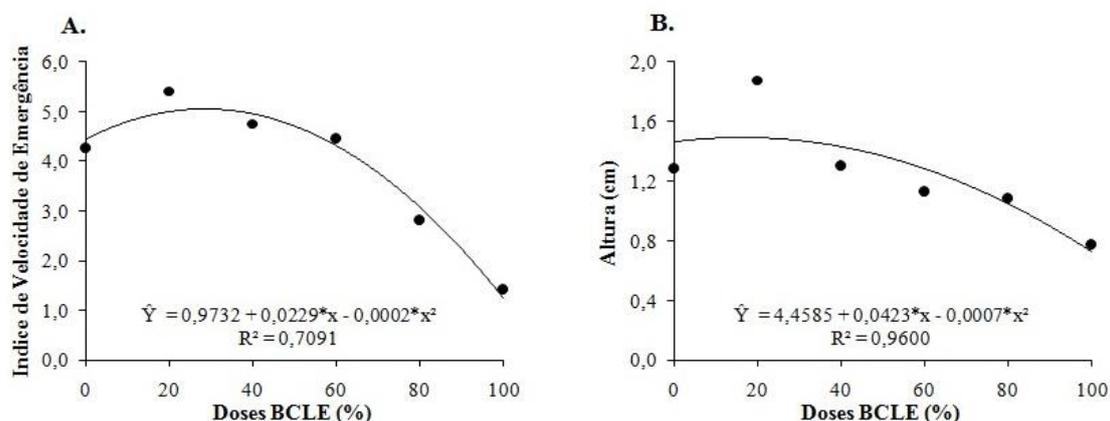
Tabela 4 – Valores médios da velocidade de brotação (IVB), emergência (E), altura (H) e número de folhas (NF) de *Pachyveria glauca*, aos 75 dias, em função dos tratamentos com biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE) e do substrato comercial

Tratamento	IVB	E (%)	H (cm)	NF
T1 - 100% BCCA	4,26 b	66,65 a	1,28 a	0,85 a
T2 - 80% BCCA 20% BCLE	5,42 b	66,50 a	1,88 b	1,50 a
T3 - 60% BCCA 40% BCLE	4,76 b	62,50 a	1,30 a	1,63 a
T4 - 40% BCCA 60% BCLE	4,44 b	58,25 a	1,13 a	1,45 a
T5 - 20% BCCA 80% BCLE	2,81 b	58,25 a	1,08 a	1,10 a
T6 - 100% BCLE	1,42 b	56,30 a	0,77 a	1,10 a
T7 – Substrato comercial	1,99 a	50,00 a	0,98 a	1,22 a
F	**	NS	**	NS
CV (%)	5,20	32,18	26,13	18,22

Nota: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% de probabilidade. NS = não significativo. Fonte: Da autora (2016).

Todavia, com o incremento das doses de *biochar* de lodo de esgoto, notamos um declínio em torno de 66,9%, ao analisarmos a proporção que culminou em maiores valores de IVB (30,2% de BLCE) em relação a menor (Figura 3A). Neste sentido, podemos inferir que além da redução da porosidade total, fatores como o excesso de micronutrientes, como Mg, Zn e Cu (Tabela 1), podem se tornar tóxicos. Pois, conforme apontado por Ohse et al. (2001), tais elementos são exigidos em baixas concentrações pela planta.

Figura 3 – Equações de regressão para as variáveis índice de velocidade de brotação (A) e altura de planta (B) de mudas de *Pachyveria glauca*, produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 75 dias após o plantio



Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Fonte: da autora (2016).

Com relação à altura das mudas, apenas a proporção contendo 80% de BCCA e 20% de BCLE não se assemelhou ao substrato comercial, apresentando altura média de 1,88 cm contra 0,98 cm da testemunha (Tabela 4). O fato da maioria das proporções de *biochar* utilizadas, independente da proporção de BCCA e BCLE, se assemelharem ao substrato comercial, denota o potencial de utilização destes compostos como meio adequado para formação inicial de mudas por meio de estaquia, onde maiores valores de altura de planta foram obtidos com 17,5% de BCLE (1,49 cm) (Figura 3B).

Assim como no IVB, notamos um declínio acentuado da altura de *Pachyveria glauca* em função do aumento da dose de BCLE, chegando a alcançar 45,6% na maior concentração de BCLE (100%) em função da dosagem que possibilitou maior incremento desta variável (17,5%). Comportamento este que se assemelha a alguns resultados da literatura, para diferentes culturas em distintos ambientes, sendo este resultado atribuído a fatores como baixa aeração, porosidade do material, toxidez de micronutrientes, dentre outros (DISPENZA, 2014; TRIGUEIRO & GUERRINI, 2014; SOUZA et al., 2015).

7.2 Ensaio de crescimento e desenvolvimento da *Pachyveria glauca* após o transplântio

7.2.1 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas

O período vegetativo é importante para a definição das características finais da planta, a qual tem maior relevância em plantas ornamentais. Neste estudo, houve grande similaridade na altura de planta de *Pachyveria glauca* em ambos os períodos de avaliação (Tabelas 4 e 5), sendo que, apenas os tratamentos com 80 e 60% de biochar de casca de arroz, se diferenciaram da altura obtida com a utilização de substrato comercial (3,05 cm). Conforme apontado por Gomes e Paiva (2004) a altura é tida como um parâmetro muito utilizado para a classificação e seleção de plantas, sendo que o mesmo é passível de alteração em função da espécie, práticas e sistemas de plantios adotados.

Tabela 5 – Valores médios de altura (H), número de folhas (NF) e comprimento da raiz principal (CR) de mudas de *Pachyveria glauca*, produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 150 dias de plantio

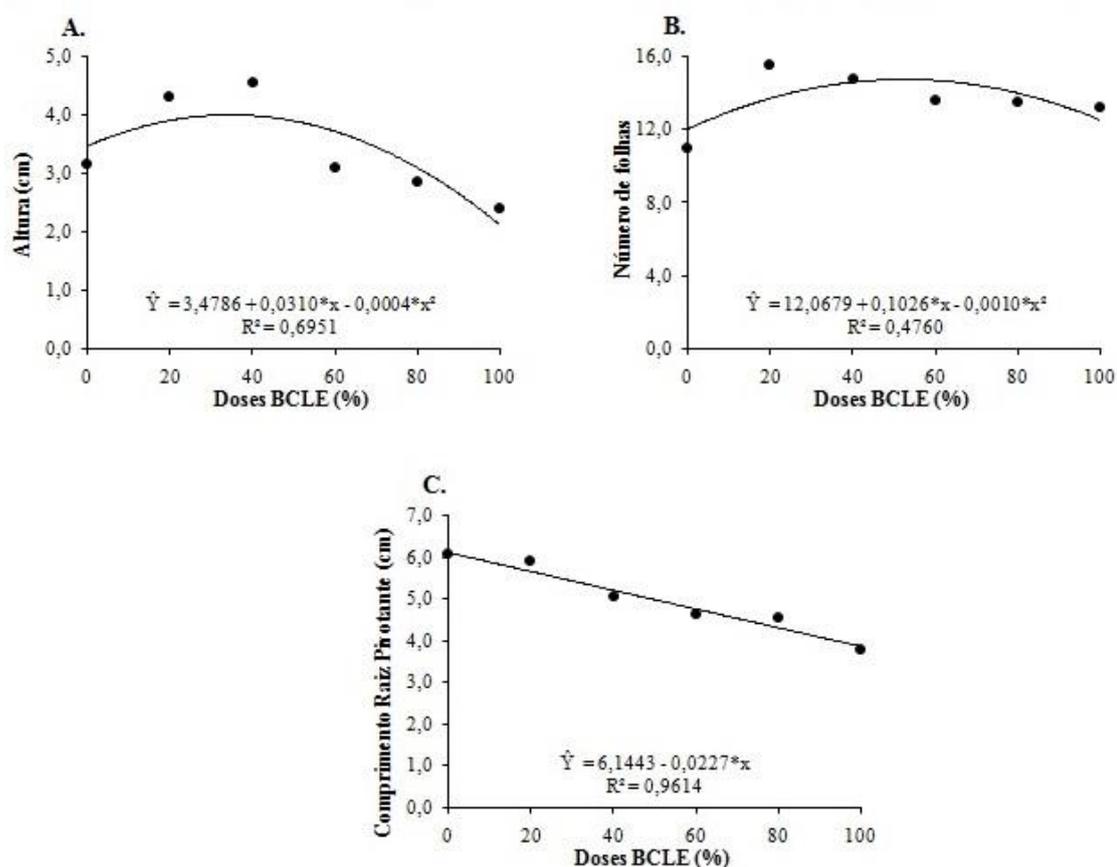
Tratamento	H (cm)	NF	CR (cm)
T1 - 100%BCCA	3,15 a	11,00 b	6,08 a
T2 - 80% BCCA + 20% BCLE	4,30 b	15,60 b	5,90 a
T3 - 60% BCCA + 40% BCLE	4,55 b	14,78 a	5,08 a
T4 - 40% BCCA + 60% BCLE	3,10 a	13,65 a	4,65 b
T5 - 20% BCCA + 80% BCLE	2,85 a	13,48 a	4,55 b
T6 - 100% BCLE	2,40 a	13,18 b	3,80 b
T7 – Substrato comercial	3,05 a	14,28 a	5,43 a
F	**	**	**
CV (%)	10,32	4,04	6,97

Nota: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2016).

Conforme relatado anteriormente, também houve comportamento semelhante entre as duas épocas de avaliação em função do aumento das doses provenientes de BCLE, onde os maiores valores de altura foram obtidos com o emprego de 38,7 e 61,3 % de BCLE e BCCA respectivamente, alcançando uma altura aproximada de 4 cm (Figura 4A). Entretanto, é válido ressaltar que, aos 150 DAP, houve uma redução de apenas 36% em função da maior para a menor dosagem empregada, contra os 45,6% observados aos 75 DAP. Ou seja, apesar desta redução ainda permanecer elevada, notou-se que as plantas de *Pachyveria glauca* tendem a minimizar a influência negativa de elevadas dosagens de BCLE, quando implantadas em ambientes sem a presença deste composto.

Figura 4 – Equações de regressão para as variáveis altura de planta (A), número de folhas por planta (B) e comprimento da raiz pivotante (C) de mudas de *Pachyveria glauca* produzidas em substratos compostos por diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 150 dias após o plantio



Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Fonte: da autora (2016).

Com relação ao número de folhas por planta, diferente das demais variáveis, a mesma apresentou resultado semelhante ao substrato comercial apenas quando utilizada uma proporção entre 60 e 20% de BCCA e 80 e 40% de BCLE (Tabela 5). Este comportamento, segundo Minami & Salvador (2010), era esperado, pois a associação de diferentes matérias primas como composição do substrato permite conferir uma atuação sinérgica entre estes compostos. Onde o *biochar* proveniente de casca de arroz proporciona melhores características físicas do substrato enquanto que o *biochar* à base de lodo de esgoto culmina em aumento no acúmulo de nutrientes (Tabela 1).

O que é fortemente evidenciado ao analisarmos a Figura 4B, onde próximo às proporções equivalentes de ambas as fontes de *biochar*, apresentou maior quantidade de folhas de *Pachyveria glauca*, alcançando cerca de 14,7 folhas na dosagem de 51,3 e 48,7 % de BCLE e BCCA. O que concomitantemente se associa ao maior crescimento da planta, pois o

fato de elevadas quantidades de folhas refletirem em maior superfície foliar, a mesma proporciona uma elevação das taxas fotossintéticas (JOSE et al., 2005), conferindo indiretamente maior qualidade de mudas.

Todavia, o comprimento da raiz principal apresentou efeito negativo em decorrência da redução da concentração de BCCA, sendo constatada semelhança com o tratamento testemunha apenas dosagens acima de 60% deste composto (Tabela 5). Logo, maiores decréscimos deste composto na composição do substrato impactam negativamente no crescimento radicular, alcançando cerca de 36,9% de redução da presença até a ausência de BCCA (Figura 4C). O fato do sistema radicular ser principal precursor de absorção de nutrientes, o mesmo tende a ocupar e percorrer todo o substrato em busca destes elementos, por via de regra maiores porosidades resultariam em maior densidade radicular (KIM et al., 2017). É válido ressaltar que, além da porosidade, a densidade do meio também apresenta grande impacto sobre o desenvolvimento radicular, sendo constatadas reduções significativas desta variável em substratos com alta densidade (KAUDAL et al., 2016), o que pode ser verificado no presente estudo (Tabela 1).

Apesar da massa seca do sistema radicular não apresentar diferença significativa em relação ao substrato comercial, notamos que para a massa fresca radicular o comportamento se manteve semelhante ao observado no comprimento da raiz (Tabelas 5 e 6), onde concentrações mais elevadas de BCCA se assemelharam ao tratamento controle. Levando em consideração que o processo de propagação da *Pachyveria glauca* ocorre principalmente por meio da estaquia, alguns estudos têm demonstrado que substratos que apresentem uma boa aeração e baixa densidade são essenciais para o desenvolvimento radicular dessa espécie (BELLE & KAMPF, 1994; BOSA et al., 2003). Contudo, neste caso, os excessos de alguns nutrientes podem causar efeito inibitório no crescimento da raiz.

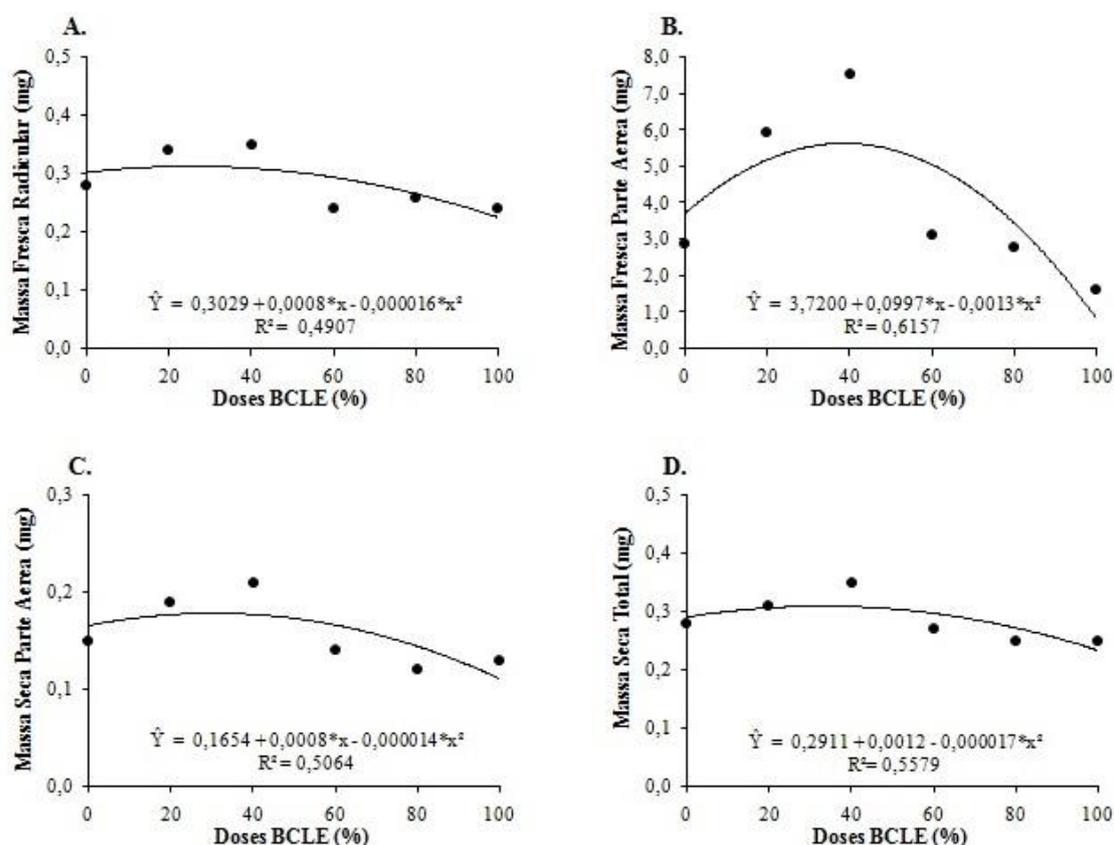
Tabela 6 – Valores médios de massa fresca das raízes (MFR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de *Pachyveria glauca* produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE)

Tratamento	MFR	MFPA	MSR	MSPA	MST
	-----g/planta-----				
T1 - 100% BCCA	0,28 a	2,89 a	0,13 a	0,15 a	0,28 a
T2 - 80% BCCA + 20% BCLE	0,34 a	5,96 b	0,13 a	0,19 a	0,31 a
T3 - 60% BCCA + 40% BCLE	0,35 a	7,55 b	0,15 a	0,21 a	0,35 a
T4 - 40% BCCA + 60% BCLE	0,24 b	3,11 b	0,13 a	0,14 a	0,27 a
T5 - 20% BCCA + 80% BCLE	0,26 b	2,80 a	0,12 a	0,12 b	0,25 b
T6 - 100% BCLE	0,24 b	1,63 b	0,12 a	0,13 b	0,25 b
T7 – Substrato comercial	0,32 a	3,31 a	0,15 a	0,18 a	0,32 a
F	**	**	NS	**	**
CV (%)	7,69	6,76	19,15	12,97	11,64

Nota: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% de probabilidade. Fonte: Da autora (2016).

O que é evidenciado na figura 5A, onde após a dosagem de 75% de BCCA (0,31 mg de massa fresca de raiz) nota-se um declínio no acúmulo de massa fresca radicular, em decorrência da redução da presença deste biochar no substrato. Neste sentido, apesar desta variável já ser considerada muito importante na predição de sobrevivência e desenvolvimento inicial das mudas (GOMES & PAIVA, 2004), no caso da *Pachyveria glauca* este fator possui maior impacto devido a sua propagação por estaquia, denotando a importância do sistema radicular. O que é reforçado por PAULUS & PAULUS (2007), onde estes autores destacam que as características do substrato são essenciais para uma melhor qualidade do sistema radicular, pois dependendo da matéria prima utilizada, o mesmo pode resultar em crescimento desuniforme por parte das raízes, impactando negativamente no reinício do desenvolvimento vegetal após o transplante.

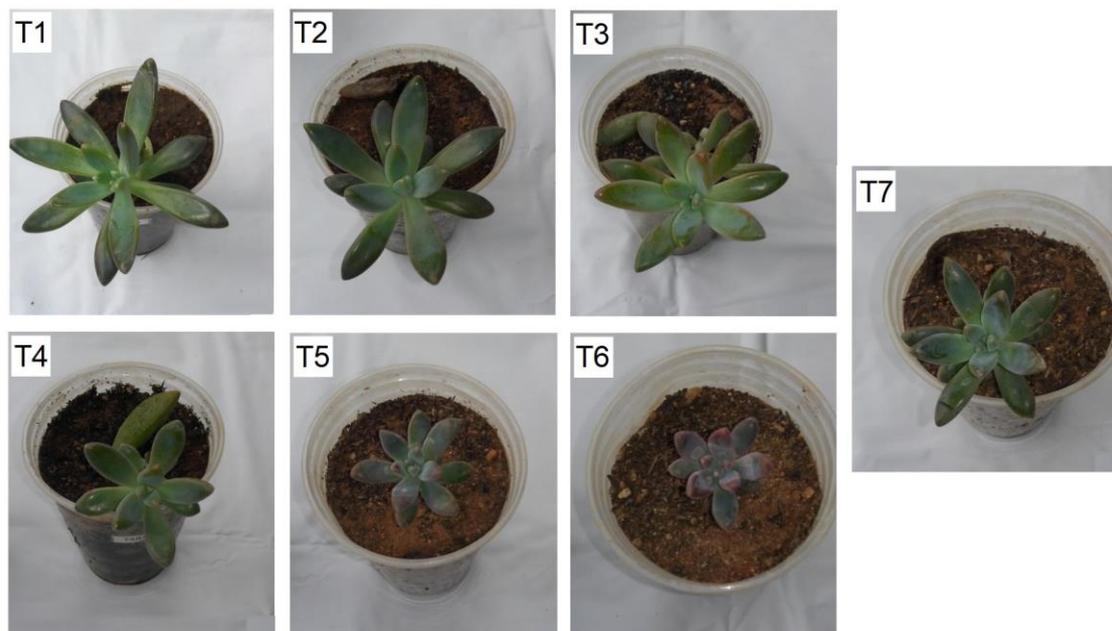
Figura 5 – Equações de regressão para as variáveis massa fresca radicular (A) e aérea (B), massa seca parte aérea (C) e total (D) de mudas de *Pachyveria glauca* produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de biochar de casca de arroz (BCCA) e biochar de lodo de esgoto (BCLE), aos 150 dias após o plantio



Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Fonte: da autora (2016).

De maneira geral apenas os tratamentos 1 e 5 se assemelharam ao substrato comercial em relação a massa fresca da parte aérea, apresentando uma grande variação desta variável situando-se entre 1,63 a 7,55 g/planta contra os 3,31 g/planta observados na testemunha (Tabela 6). Apesar de não ser regra, existe forte correlação entre o acúmulo de massa fresca da parte aérea em relação ao sistema radicular, o que é melhor evidenciado ao observar as figuras 5A e 5B, onde os pontos que maximizaram ambas as variáveis se situaram próximos. Isto ocorre porque, com o sistema radicular desenvolvido, isto permite a planta explorar uma maior área em busca de água e nutrientes essenciais para seu desenvolvimento, tornando a planta mais vigorosa e apta a se estabelecer em campo (Figura 6), o que é bastante evidenciado na literatura (SOUCHIE et al. 2011; ARAUJO, 2016). Este comportamento é melhor observado na figura 5B, onde após atingir o ponto máximo de resposta 38,34% de BCLC, resultando em 5,6 mg, notamos um declínio drástico, em cerca de 87,7% ao alcançar uma concentração contendo 100% de BCLC.

Figura 6 - Mudas de *Pachyveria glauca* produzidas em substratos compostos por BCLE e BCCA. Nota: T1 = 100%BCCA; T2 = 80%BCCA + 20%BCLE; T3 = 60% BCCA + 40% BCLE; T4 = 40% BCCA + 60% BCLE; T5 = 20% BCCA + 80% BCLE; T6 = 100% BCLE; T7 = Substrato comercial



Fonte: da autora (2016).

Apesar da variação da massa seca da parte aérea apresentar diferença quando comparada a massa fresca da parte aérea, onde apenas os tratamentos 5 e 6 (80 e 100% de BCLE) não se assemelharam ao substrato comercial (Tabela 6), nota-se que seu pico máximo de absorção ocorreu com o emprego de 28,6 e 71,4% de BCLE e BCCA, respectivamente (Figura 5C). Todavia, o declínio observado em decorrência do aumento da concentração de BCLE demonstrou ser bem mais moderado do que o observado na matéria fresca, o que infere a capacidade que esta espécie possui em absorver uma maior quantidade de água quando se encontra submetidas a condições ideais para o seu desenvolvimento. Neste sentido, conforme apontado por Gomes & Paiva (2004), o maior acúmulo de massa na parte aérea é tido como um ótimo indicativo para determinar a capacidade de sobrevivência da muda.

O fato da massa seca total ter apresentado resultado semelhante às demais variáveis é condizente ao fato da mesma ser um subproduto da soma da massa seca da parte aérea e radicular. Neste sentido, observamos que doses mais elevadas de BCLE (acima de 80%) apresentaram valores divergentes de 0,32 g/planta, o qual foi obtido com o emprego do substrato comercial. Sendo que, com o incremento das dosagens de BCLE com posterior redução de BCCA, apresentaram um comportamento quadrático, onde maiores acúmulos de massa seca total foram obtidas com uma proporção de 35,3 e 64,7% de BCLE e BCCA, respectivamente, o que resultou em 0,3 g/planta.

Apesar das escassas informações na literatura sobre a composição ideal do material suporte para suculentas, PAIVA & LESSA (2006) ressaltam que os mesmos devem ter como constituinte terra peneirada, areia grossa lavada, substrato comercial e carvão triturado, o que em alguns casos pode torná-lo muito oneroso. Neste sentido, o emprego de novas formulações ambientalmente viáveis tende a ser uma alternativa que vise minimizar os custos de produção, além de reduzir possíveis problemas ambientais, tornando a combinação das fontes de *biochar* à base de lodo de esgoto e casca de arroz uma ótima alternativa, baseado nos resultados obtidos no presente estudo.

7.2.2 Análise foliar

De maneira geral, todos os macronutrientes apresentaram diferença significativa em função de seus conteúdos na folha em decorrência do emprego do biochar proveniente de lodo de esgoto e casca de arroz em comparação ao substrato comercial. Onde, para o N, apenas a concentração de 80% de BCCA e 20% de BCLE assemelhou-se ao substrato comercial (Tabela 7), o que pode estar associado a pouca diferença da concentração deste elemento nos substratos (Tabela 1) e, também, por apresentar praticamente a mesma produção de massa seca da parte aérea (Tabela 6). Embora a concentração de nitrogênio no substrato aumente com o incremento da percentagem de BCLE (Tabela 1), a menor produção de massa seca da parte aérea com o aumento de BCLE (Figura 5C) diminui o conteúdo deste elemento na planta (Figura 7A), onde o valor máximo de N (4,9 g/planta) encontrado foi obtido na dosagem de 7,3% de BCLE.

Tabela 7 – Médias dos conteúdos de macronutrientes na parte aérea de *Pachyveria glauca*

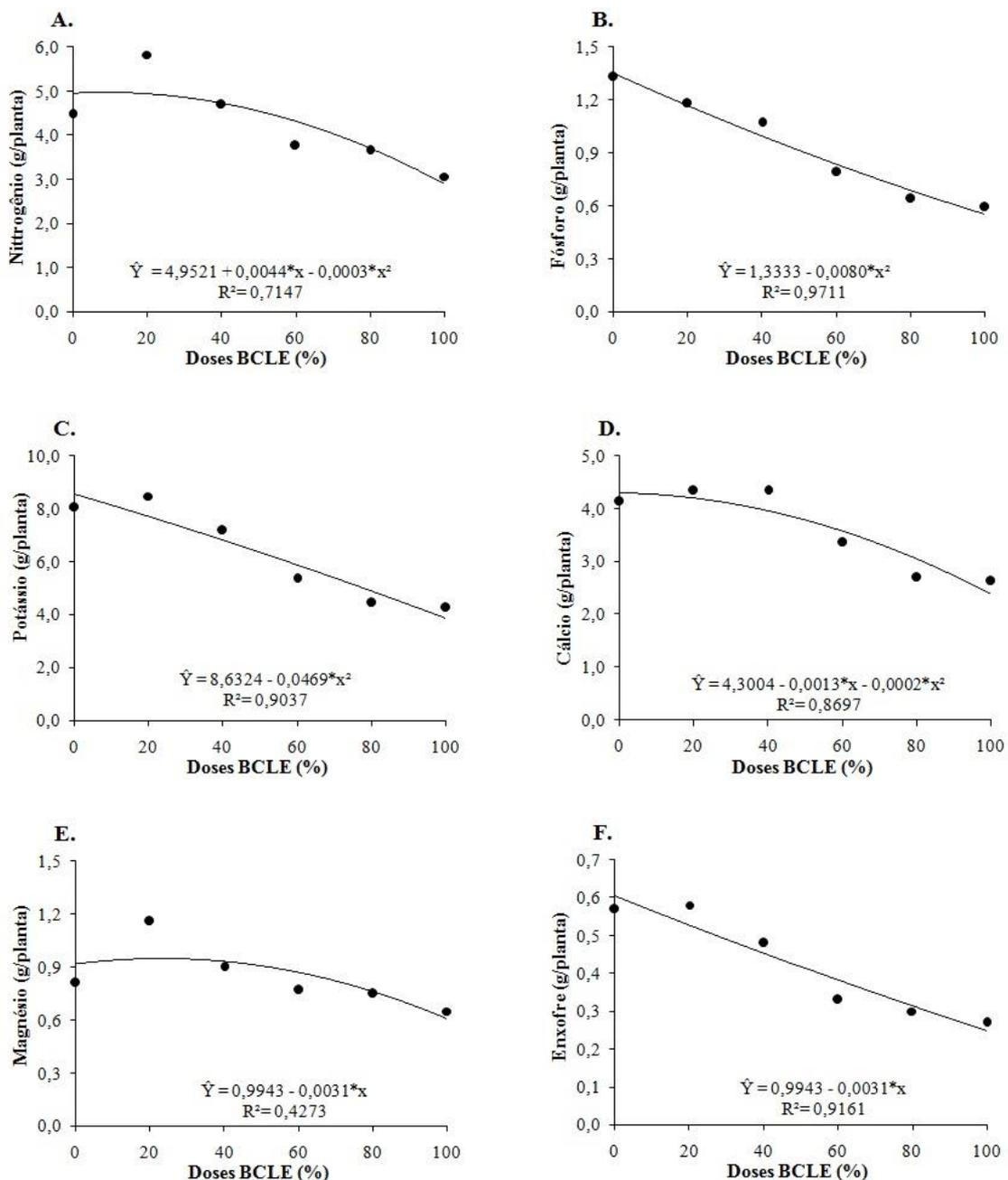
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g/planta-----					
T1 - 100% BCCA	4,48 b	1,33 b	8,05 b	4,13 a	0,81 a	0,57 b
T2 - 80% BCCA + 20% BCLE	5,83 a	1,18 a	8,47 b	4,34 b	1,16 b	0,58 b
T3 - 60% BCCA + 40% BCLE	4,70 b	1,07 a	7,16 b	4,33 b	0,90 a	0,48 b
T4 - 40% BCCA + 60% BCLE	3,77 b	0,79 b	5,34 a	3,35 a	0,77 a	0,33 a
T5 - 20% BCCA + 80% BCLE	3,66 b	0,64 b	4,43 b	2,70 a	0,75 a	0,30 a
T6 - 100% BCLE	3,07 b	0,59 b	4,27 b	2,62 a	0,65 b	0,27 a
T7 – Substrato comercial	5,79 a	1,02 a	6,07 a	3,25 a	0,89 a	0,35 a
F	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11,24	11,91	7,05	12,91	10,95	14,11

Notas: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% de probabilidade. Fonte: da autora (2016).

Com relação ao acúmulo de P, o comportamento foi semelhante ao do N, onde apenas os tratamentos 2 e 3 acabaram se assemelhando ao tratamento controle, sendo que, para este elemento, houve uma variação de 0,59 a 1,33 g/planta, onde o substrato comercial apresentou

um teor aproximado de 1,02 g/planta de P (Tabela 7). Todavia, com o incremento do *biochar* a base de lodo de esgoto, notamos um declínio acentuado deste elemento na folha, redução esta que chega a alcançar cerca de 60% em função da ausência deste composto, até uma concentração de 100% de BCLE (Figura 7A). Para este nutriente ficou evidente que, apesar do aumento de sua concentração com o incremento de BCLE no substrato (Tabela 1), houve redução na produção de massa seca da parte aérea (Figura 5C), o que consequentemente provocou redução no conteúdo do elemento na planta (Figura 7B). Além disso, pode ter havido efeito de outros fatores, como à superação da capacidade metabólica por parte da planta em relação a absorção deste elemento, sendo que o excesso pode afetar o crescimento da planta (NOJOSA *et al.*, 2005; CARDOSO *et al.*, 2015).

Figura 7 – Equações de regressão para o conteúdo de macronutrientes na parte aérea de mudas de *Pachyveria glauca*, produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de BCCA e BCLE, aos 150 dias após o plantio. Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t



Fonte: da autora (2016).

Apesar do *biochar* proveniente de casca de arroz possuir maiores concentrações de K (Tabela 1), apenas os tratamentos contendo a partir de 40% de BCCA assemelhou-se ou superou o substrato comercial (Tabela 7). Uma possível explicação para este resultado é

decorrente da concentração deste elemento nas propriedades químicas do substrato inicial em torno de $6,91 \text{ g kg}^{-1}$ contra $6,40 \text{ g kg}^{-1}$ observado no substrato comercial. Sendo que, na ausência de *biochar* com fonte proveniente de lodo de esgoto, notamos um acúmulo de $8,63 \text{ g/planta}$ na massa seca foliar, observando-se um declínio linear com o incremento de BCLE (Figura 7C). A redução do conteúdo de K na massa seca da parte aérea pode ser atribuída principalmente a menor produção desta variável com o incremento de BCLE no substrato (Figura 5C).

De maneira geral podemos notar que apenas os tratamentos 2 e 3 apresentaram acúmulo foliar de Ca superior ao substrato comercial (Tabela 7), onde valores máximos foram obtidos com uma dosagem contendo 3,3% de BCLE (Figura 7D). Após este pico de absorção, o acúmulo deste elemento na folha apresentou tendência de decréscimo em decorrência do aumento da percentagem de BCLE no substrato, apesar das elevadas concentrações de Ca neste composto (Tabela 1). Uma possível explicação para este comportamento é o da menor produção de massa seca da parte aérea com o incremento de BCLE no substrato (Figura 5C), bem como, a inativação do Ca, devido à ligação e/ou precipitação na forma de oxalato ou fosfato de cálcio, o que reduziria a eficiência de absorção deste elemento (BEHLING et al., 1989; HORST et al., 1992).

No caso do conteúdo de Mg na planta, verifica-se que somente o tratamento com 80% de BCCA e 20% de BCLE foi superior ao substrato comercial (Tabela 7). Este tratamento, embora tenha menor concentração de Mg no substrato (Tabela 1), também tem menor concentração de Ca, o que reduz em muito a competição iônica pela absorção do Mg pela planta (MOORE et al., 1961; MALAVOLTA, 2006). Com o aumento da proporção de BCLE no substrato, houve redução linear do conteúdo de Mg na parte aérea da planta (Figura 7E), o que pode ser explicado pelo aumento da competição com Ca pela absorção pela planta, bem como, pela menor produção de massa seca da parte aérea produzida (Figura 5C). Vale salientar que, na ausência de BCLE no substrato, houve acúmulo de $0,99 \text{ g/planta}$ de Mg, sendo notada uma redução em torno de 31% desse conteúdo com a maior proporção desse biochar.

Apesar da variação do acúmulo de S nas folhas situando entre $0,27$ a $0,57 \text{ g/planta}$, apenas doses superiores a 60% de BCLE se assemelharam ao substrato comercial ($0,35 \text{ g/planta}$) (Tabela 7). Entretanto, assim como para os demais elementos, a presença do S na folha reduziu significativamente em função do aumento da concentração de BCLE no substrato, redução esta que chegou a cerca de 60,1% na proporção máxima (Figura 7F). Tal fato pode ser atribuído a maior concentração de Ca no substrato em proporções mais elevadas de BCLE (Tabela 1), a qual pode ter favorecido a formação de sulfato de cálcio e favorecido alguma perda de S do substrato por lixiviação. Todavia, as plantas tendem a ser bastante eficientes na absorção de S (Rheinheimer et al., 2005), de forma que pode-se atribuir a redução do conteúdo deste elemento na planta com o aumento da proporção de BCLE, principalmente, a menor produção de massa seca da parte aérea (Figura 5C).

De maneira geral, podemos notar comportamento bastante semelhante entre a presença de B e Cu nas folhas de *Pachyveria glauca*, em relação ao substrato comercial, onde ambos os micronutrientes apenas em percentagens inferiores a 40% de BCLE não se assemelharam a testemunha (Tabela 8). Assim, na maior proporção de BCCA (100%), obteve-se maiores conteúdos destes elementos na folha, situando-se em 11,99 e 3,51 mg/planta de B e Cu, respectivamente (Figuras 8A e B). A redução do conteúdo de B e de Cu na planta com o aumento da percentagem de BCLE no substrato pode ser atribuída a redução da produção de massa seca da parte aérea (Figura 5C), conforme já citado para outros elementos.

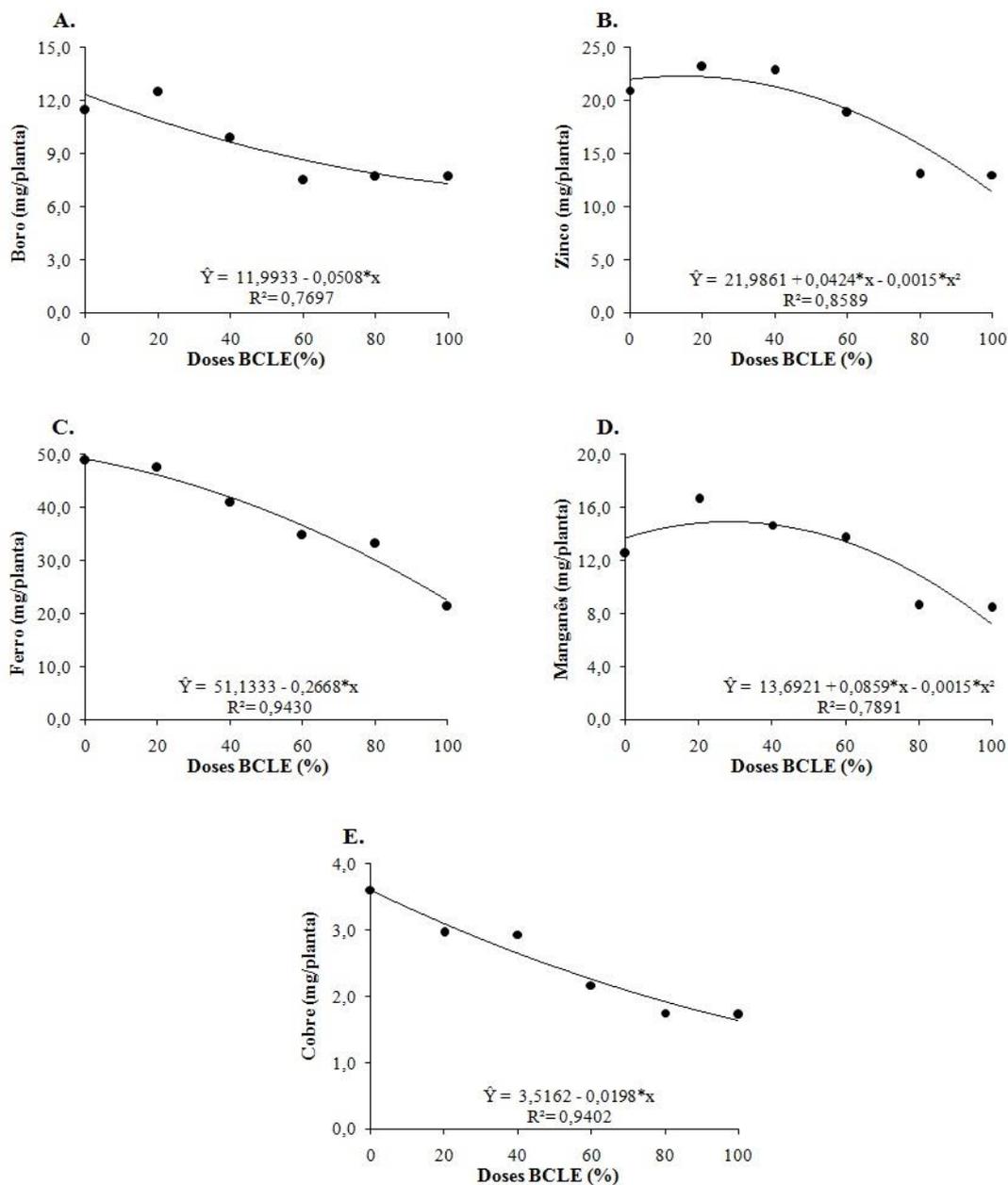
Tabela 8 – Médias dos conteúdos de micronutrientes na parte aérea de *Pachyveria glauca*

Tratamento	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	-----mg/planta-----				
T1 - 100% BCCA	11,47 b	3,61 b	20,98 b	12,56 b	48,88 b
T2 - 80% BCCA + 20% BCLE	12,49 b	2,97 b	23,18 b	16,65 b	47,57 b
T3 - 60% BCCA + 40% BCLE	9,87 b	2,94 b	22,89 b	14,70 b	40,95 a
T4 - 40% BCCA + 60% BCLE	7,48 a	2,17 a	18,85 b	13,71 b	34,75 a
T5 - 20% BCCA + 80% BCLE	7,70 a	1,75 a	13,06 a	8,63 a	33,25 a
T6 - 100% BCLE	7,71 a	1,73 a	13,01 a	8,46 a	21,36 b
T7 – Substrato comercial	7,70 a	1,83 a	15,09 a	9,10 a	36,75 a
F	**	**	**	**	**
CV (%)	8,51	15,86	6,81	6,15	6,43

Notas: Médias seguidas da mesma letra da testemunha (T7) na vertical não diferem dessa última pelo teste de Dunnett até 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% de probabilidade. Fonte: da autora (2016).

Os conteúdos de Zn e Mn foram superiores ao substrato comercial nos substratos contendo até 60% de BCLE (Tabela 8). Entretanto, ambos os elementos apresentaram um comportamento quadrático em função do aumento da concentração de BCLE com consequente redução de BCCA no substrato, onde as dosagens que maximizaram estas variáveis foram de 14,1 e 28,6% de BCLE o que culminou em um acúmulo de 22,2 e 14,9 mg/planta de Zn e Mn respectivamente nas folhas. Apesar destes elementos sofrerem maior influência devido a variação do pH, com consequente redução de suas absorções em decorrência de seu aumento (SOUZA et al., 2010), este comportamento não foi observado no presente estudo (Tabela 1; Figuras 8C e D). Todavia, atribui-se as reduções nos conteúdos de Zn e Cu na parte aérea da planta, com o aumento da proporção de BCLE, a redução da produção de matéria seca da parte aérea (Figura 5C).

Figura 8 – Equações de regressão para o conteúdo de micronutrientes na parte aérea de mudas de *Pachyveria glauca*, produzidas em substratos compostos de diferentes proporções de BCCA e BCLE, aos 150 dias após o plantio



Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.
 Fonte: da autora (2016).

Além deste fator, Malavolta et al. (1989) ressalta que outro aspecto que poderia influenciar a absorção do Zn seria através da inibição competitiva com o Ca em função de elevadas concentrações deste último no meio de cultivo, fato este, aqui verificado (Tabela 1).

Estes autores ainda alavancam a premissa de que o mesmo ocorre para o Mn, todavia esta inibição só ocorreria com excesso de Fe na solução. Entretanto, é válido ressaltar que mesmo sem a inibição da absorção destes elementos sua presença em excesso pode ocasionar redução na taxa absorptiva do elemento em questão, o que é verificado por Silva et al. (2015), com o emprego de doses crescentes de Zn, porém este comportamento pode ser variável em decorrência da espécie estudada.

Para o Fe, notamos que apenas os tratamentos contendo concentrações de *biochar* de casca de arroz situando entre 20 e 60% com proporções equivalentes a 80 e 40% de *biochar* a base de lodo de esgoto no substrato se assemelharam ao tratamento comercial, sendo que proporções de BCCA a partir de 80% proporcionaram conteúdos de Fe na planta superiores a testemunha (Tabela 8). Apesar da concentração de Fe se manter praticamente estável no substrato em decorrência das variações de proporção das fontes de *biochar* (BLCE e BCCA), situando-se entre 29,7 e 38,5 mg / kg (Tabela 1), houve um declínio acentuado em seu acúmulo nas folhas, chegando a apresentar uma redução em torno de 52,2% da menor para a maior dose de BLCE (Figura 8E).

Apesar de elevadas concentrações de Fe no substrato promoverem aumento da absorção deste elemento pela planta (JUCOSKI et al., 2016), constatou-se redução linear do conteúdo deste elemento com o incremento da proporção de BCLE no substrato (Figura 8E). Tal fato pode ser atribuído a redução da produção de massa seca da parte aérea com o aumento da proporção de BCLE no substrato (Figura 5C).

De maneira geral, pode-se constatar que os conteúdos de nutrientes na planta apresentaram comportamentos bastantes semelhantes entre si (Figuras 7 e 8) e relacionados as características de crescimento da planta (Figuras 3, 4 e 5). Entretanto, é válido ressaltar que são escassas na literatura as informações nutricionais ideais para o cultivo de *Pachyveria glauca*, todavia, ao comparar com o substrato comercial, notamos que o emprego de *biochar* com fontes provenientes de lodo de esgoto associado a casca de arroz, pode vir a ser uma alternativa bastante viável como matéria prima na produção de substratos.

8 CONCLUSÕES

- A utilização de substratos com 60 a 80% de biochar de casca de arroz e 40 a 20% de biochar de lodo de esgoto para produção de mudas de *Pachyveria glauca*, por meio da estaquia, proporciona mudas com qualidade e estado nutricional equivalentes ou superiores às aquelas produzidas em substrato comercial.
- A utilização de apenas o biochar de casca de arroz ou de 80% desse biochar misturado a até 20% de biochar de lodo de esgoto no substrato, favorece uma brotação mais rápida das estacas, demonstrando o pleno potencial de uso do biocarvão na produção de mudas ornamentais.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Manual de Análise de Fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259p.
- ARAÚJO, D. D. **Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina* willd.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília: FT, 2016. 79p.
- BEHLING, J.P.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 113, n.2, p.189-196, 1989.
- BELLE, S.; KAMPF, A. N. Utilização de casca de arroz carbonizada como condicionador hortícola para um solo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 8, p.1265-1271, 1994.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de Esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2006. 350p.
- BOSA, N.; CALVETE, E. O.; KLEIN, V. A.; SUZIN, M. Crescimento de mudas de gipsofila em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p. 514-519, 2003.
- CARDOSO, A. A. S.; ZANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; FARIAS, E. P.; MOURA, R. P. M. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.
- DISPENZA, V. **Utilizzo del biochar come substrato alternativo nella coltivazione di specie ornamentali in vaso**. 2014. 82f. Tese (Doutorado) – Università Degli Studi Di Palermo, Palermo, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 247p.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para características de física de substratos**. 2003. 80f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.569-577, 2004.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p. (Cadernos didáticos, 72).

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.267-280, 2006.

HORST, W.J.; CURRLE, C. & WISSEMEIER, A.H. Differences in calcium efficiency between cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars. **Plant and Soil**, Netherlands, v.146, n.2, p.45-54, 1992.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; NELSON, P. F. Agronomic properties of wastewater sludge *biochar* and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, Amsyterdã, v.78, n.9, p.1167-1171, 2010.

IBI – International *Biochar* Initiative. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for *Biochar* That Is Used in Soil**. v. 8. 2012. Disponível em: <http://www.biocharinternational.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf>. Acesso em: 17 out. 2017.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

JUCOSKI, G. O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 720-728, 2016.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 14, n.1, p. 37-52, 2008.

KAUDAL, B. B.; CHEN, D.; MADHAVAN, D. B.; DOWNIE, A.; WEATHERLEY, A. An examination of physical and chemical properties of urban *biochar* for use as growing media substrate. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 84, n.1, p. 49-58, 2016.

KAUDAL, B. B.; CHEN, D.; MADHAVAN, D. B.; DOWNIE, A.; WEATHERLEY, A. Pyrolysis of urban waste streams: Their potential use as horticultural media. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. Amsterdam, v. 112, n.1, p.105-112, 2015.

KIM, H. S.; KIM, K. R.; YANG, J. E.; OK, Y. S.; KIM, W. I.; KUNHIKRISHNAN, A.; KIM, K. H. Amelioration of horticultural growing media properties through rice hull *biochar* incorporation. **Waste and Biomass Valorization**, Switzerland, v.8, n.2, p.483-492. 2017.

LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.48, n.2, p.263-284, 1976.

MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p. 176-177, 1962.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.

MAPA - Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. **Diário Oficial da União**, seção 1, n. 99, 2007. (Instrução Normativa SDA Nº 17).

MENDEZ, A.; TERRADILLOS, M.; GASCÓ, G. Physicochemical and agronomic properties of *biochar* from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v.102, n.1, p.124-130, 2013.

MINAMI, K.; SALVADOR, E. D. **Substrato para plantas**. Piracicaba: Degaspari, 2010, 226p.

MOORE, D. P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interaction with calcium in excised barley roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 36, n. 3, p. 290-295, 1961.

NOJOSA, G. B. A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, A. V. Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência. In: CALVACANTE, L. S. (Ed.) **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 139-153.

OHSE, S.; M. V.; SANTOS, O. S.; LOPES, S. J.; MANFRON, P. A. Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 7/8, n.1, p. 41-50. 2001.

PAIVA, P. D. O.; LESSA, M. A. **Cultivo de cactos e suculentas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 53p.

PAULUS; D.; PAULUS, E. Efeito de substratos agrícolas na produção de mudas de hortelã propagadas por estaquia. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.25, p.594-597. 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSÓRIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.562-569, 2005.

RODRIGUES, S. **Emergência de plântulas de soja e milho sob sistema plantio direto e sua relação com a qualidade física da cama de semeadura**. 2013. 124f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de São Paulo, 2013.

SILVA, R. F.; WEIRICH, S. W.; ROS, C. O.; SCHEID, D. L.; GROLLI, A. L.; VIEL, P. Acumulação e translocação de zinco em mudas de espécies do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.11, p.1114–1120, 2015.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA, A. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOUZA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C.; SUJII, E. R.; PIRES, C. S. S.; SOUZA, L. M. *Biochar* de lodo de esgoto: efeitos no desenvolvimento agrônomo do rabanete. **Cadernos de Agroecologia**, Pernambuco, v. 10, n. 3, p. 1-5, 2015.

SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; VILLANI, E. M. A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Brady rhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5 p. 1641-1652, 2010.

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de Aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.657-665, 2014.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JUNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 300-311, 2014.