



**EFEITO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO NO  
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Erythrina velutina*  
*willd.***

**DANILO DIAS DE ARAUJO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**EFEITO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO NO  
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Erythrina velutina*  
*willd.***

**Danilo Dias De Araujo**

**ORIENTADOR: Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA  
COORIENTADOR: Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO:  
BRASÍLIA/DF: JUNHO DE 2016**

**Brasília, 06 de Junho de 2016**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

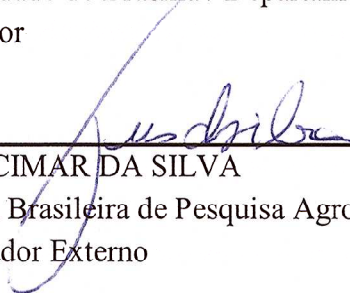
**Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina willd.***

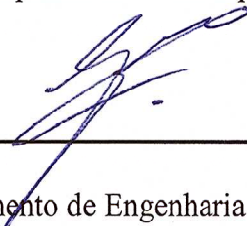
DANILO DIAS DE ARAUJO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA  
Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal – UnB  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Dr. JUSCIMAR DA SILVA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Hortaliças  
Examinador Externo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. ALCIDES GATTO  
Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal – UnB  
Examinador Interno

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. ROSANA DE CARVALHO C. MARTINS  
Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal – UnB  
Examinadora Suplente

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

AR663 e	Araujo, Danilo Dias de EFEITO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE <i>Erythrina velutina</i> willd. / Danilo Dias de Araujo; orientador ANDERSON MARCOS DE SOUZA; co-orientador CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO. -- Brasília, 2016. 79 p.  Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2016.  1. Substratos. 2. Qualidade de Mudas. 3. Resíduos. 4. Doses Crescentes . 5. Biochar.. I. MARCOS DE SOUZA, ANDERSON , orient. II. CÉLIO DE FIGUEIREDO, CÍCERO , co-orient. III. Título.
------------	--

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO. D. D. (2016). Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina willd.* Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM - 279/2016. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 79 f.

### CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Danilo Dias de Araujo

TÍTULO: Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina willd.*

GRAU: Mestre ANO: 2016

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Danilo Dias de Araujo  
[ddias.araujo@hotmail.com](mailto:ddias.araujo@hotmail.com)

*“Prefiro as lágrimas de não ter vencido  
do que a vergonha de não ter lutado.”*

Stephanie Whinter

A DEUS, aos meus Pais Luzia Fonseca Dias de Araujo e  
Bartolomeu Carvalho de Araujo, meus irmãos,  
a todos os meus familiares e amigos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela vida, por permitir que eu esteja vivendo com saúde, paz e possibilitando a realização de mais um sonho/meta pessoal e familiar.

Agradeço a minha mãe Luzia Fonseca Dias de Araujo e a meu pai Bartolomeu Carvalho de Araujo por sempre acreditar, pela confiança, pelo incentivo e por sempre aceitar as minhas escolhas.

Agradeço a todos os meus irmãos, em especial a minha irmã Gilmaria Dias de Araujo e meu cunhado Manoel Carvalho pelo incentivo, pela confiança, pela motivação e por abraçar minhas lutas e desafios como se fosse deles.

Agradeço a todos os demais familiares que direta ou indiretamente me ajudou por meio de incentivos, conselhos, orações, motivação e palavras de apoio que sempre nos cai bem.

Agradeço a meu professor orientador Anderson Marcos de Souza por ter prontamente aceitado me orientar nesta pesquisa, bem como por ter sido sempre paciente, flexível diante das limitações.

Agradeço à Universidade de Brasília – UnB, especialmente ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida para minha formação.

Agradeço a todos meus amigos, em especial a José Raimundo Luduvico pela força, ajuda, incentivo, encorajamento e norteamento sempre que foi necessário.

Agradeço a meus professores co-orientadores Cícero Célio de Figueiredo e Alexandra pela colaboração, parceria e disposição a ajudar sempre que procurei.

Agradeço a todo o corpo discente e docente da UnB pela colaboração, apoio, pela cooperação e boa convivência.

Agradeço Agradeço aos meus colegas de trabalhos do Núcleo de Regularização Ambiental de Paracatu pela paciência, colaboração e compreensão.

Enfim, agradeço a todos que tiveram ao meu lado de alguma forma durante todo o período de estudo para realização desta pesquisa.

Toda Conquista é fruto da coletividade... **Obrigado a todos!**

## RESUMO

### EFEITO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Erythrina velutina willd.*

**Autora:** Danilo Dias de Araujo

**Orientador:** Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza

**Co-orientador:** Dr. Cícero Célio de Figueiredo

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 06 junho de 2016.**

A produção de mudas de qualidade depende de vários fatores, dentre eles o substrato se destaca, por ter um papel de fornecer às mudas as condições químicas, físicas e biológicas, adequadas para um crescimento saudável, oferecendo as condições de transformar seu potencial genético em produtividade. A cadeia de produção de mudas florestais nativas, na tentativa de reduzir o custo final na produção de mudas, tem procurado através da utilização de diferentes resíduos no substrato, buscar por composições que permitam manter a qualidade das mudas. Assim, o presente estudo objetivou avaliar a influência do lodo de esgoto e do biochar de lodo de esgoto no desenvolvimento inicial de mudas de *Erythrina velutina Willd.* A pesquisa foi conduzida no viveiro florestal da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília - UnB, no período de janeiro a maio de 2015. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial diferenciado com três resíduos (lodo de esgoto e biochar de lodo de esgoto produzidos na temperatura de 300°C e biochar de lodo de esgoto produzidos na temperatura de 500°C) e cinco incorporações (doses de 10%, 20%, 30% 40% a 50% de cada resíduo) com adicional de um tratamento testemunha (100% de subsolo), com 10 repetições, sendo cada repetição constituída de três plantas, totalizando 480 mudas. Foram avaliadas as propriedades químicas do substratos e das folhas das mudas de *E. velutina* coletados 100 dias após o a semeadura. Foi avaliado o desenvolvimento inicial das mudas por meio das variáveis morfológicas, de índices de qualidades, da taxa de micorrização e da fixação biológica de nitrogênio. Os teores de nutrientes presentes nos substratos foram crescentes com o aumento das proporções dos resíduos incorporados, com apenas algumas exceções. Quanto à concentração dos nutrientes das folhas, as diferentes proporções dos resíduos não provocaram diferenças significativas nestes teores. Já quando se trata do desenvolvimento inicial das mudas, no geral os melhores resultados para as características morfológicas e para os índices de qualidade de mudas estudados foram obtidos com incorporação de biochar aos substratos, se destacando o biochar 300°C na dose de 40%. De acordo com os resultados obtidos, o biochar de lodo de esgoto produzido a 300°C de pirólise pode ser considerado promissor para o uso como substrato de produção de mudas.

Palavras-chave: Substratos; Qualidade de Mudas; Resíduos; Doses Crescentes e Biochar.



## ABSTRACT

### EFFECTS OF THE SEWAGE SLUDGE BIOCHAR ON THE INITIAL GROWTH OF *Erythrinavelutinawilld* SEEDLINGS

**Author:** Danilo Dias de Araujo

**Advisor:** Professor Anderson Marcos de Souza

**Co-advisor:** Professor Cícero Célio de Figueiredo

**Postgraduate Programme in Forest Sciences**

**Brasília, June 6 of 2016.**

The production of quality seedlings depends on several factors, among them, the substrate is highlighted due its role as provider of chemical, physical and biological conditions adequate for a healthy growth, being able to transform its genetic potential into productivity. The production chain of forestry seedlings, in order to reduce the final cost of production by using different residues from substrate, has been looking for compositions that allow to keep the seedlings quality. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of the sewage sludge and sewage sludge biochar on the initial growth of *Erythrinavelutina* Willd seedlings. The research was conducted in a forestry hatchery in the Agua Limpa Farm of the University of Brasilia, from January to May of 2015. The experimental design was completely randomized, under a factorial scheme differenced by three residues (sewage sludge and sewage sludge biochar produced at 300°C and sewage sludge biochar produced at 500°C) and five incorporations (doses of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of each residue). A testimony treatment was added, as well (100% of subsoil), with 10 repetitions, being each repetition constituted of three plants, totalizing 480 seedlings. The chemical proprieties of substrates and *E. velutina* seedlings leaves were evaluated, these samples were collected 100 days after the seeding. The initial development of the seedlings was evaluated through their morphological variables, quality indexes, mycorrhizal rate and biological nitrogen fixation. The nutrient contents existent in substrates grew with the increasing of the proportions of residues incorporated, with few exceptions. As for the nutrient concentration in the leaves, the different residues proportions did not cause significant differences on those contents. When it comes to the initial development of the seedlings, generally, the best options for the morphological characteristics and quality indexes of the seedlings studies were the biochar incorporation in the substrate, highlighting the biochar at 300°C in the 40% dose. According to the results obtained, the biochar from all sewage sludge produced at 300°C can be considered promising for use as substrate in the seedlings production.

Key words: Substrates; Seedlings quality; Residues; Crescent Doses and Biochar

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 – OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 – GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 – ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3 – REFERENCIALTEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 – SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 - LODO DE ESGOTO E SUA TRANSFORMAÇÃO EM BIOCHAR.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 - ESPÉCIE ESTUDADA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.1 - <i>Erythrina velutina</i> Willd .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4 – MICORRIZAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>3.5 - FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO.....</b>	<b>13</b>
<b>4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 - LOCAL DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 – AS SEMENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>4.3 – OBTENÇÃO E PREPAROS DOS RESÍDUOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 – PREPARO DO SUBSTRATO.....</b>	<b>17</b>
<b>4.5 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>18</b>
<b>4.6 – INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>19</b>
<b>4.7 – COLETA DOS DADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.7.1 - Dados Morfológicos .....</b>	<b>19</b>
<b>4.7.2 - Avaliação da Micorrização .....</b>	<b>22</b>
<b>4.7.3 - Avaliação da Fixação Biológica de Nitrogênio .....</b>	<b>23</b>
<b>4.7.4 - Análise Foliar e do substrato .....</b>	<b>24</b>
<b>4.8 - ANÁLISES DOS DADOS.....</b>	<b>24</b>
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 –CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SUBSTRATO .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2 - ANÁLISE FOLIAR .....</b>	<b>32</b>

<b>5.3 - PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E QUALIDADE DAS MUDAS.....</b>	<b>40</b>
<b>6 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Viveiro florestal localizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília.....	15
<b>Figura 2:</b> A avaliação do crescimento das mudas em viveiro. ....	20
<b>Figura 3:</b> A: Separação do sistema radicular da parte aérea, B: Coleta de raízes adventícias e secundária e, C: Coleta e contagem de nódulos.....	20
<b>Figura 4:</b> Procedimentos realizados na avaliação da micorrização em laboratório.....	22
Figura 5: Pesagem do peso verde e seco dos nódulos. ....	23
<b>Figura 6:</b> Valores médios das características químicas do substrato de mudas de <i>E. velutina</i> , com composições de incorporação de resíduos orgânicos. ....	30
<b>Figura 7:</b> Características químicas do substrato de mudas de <i>E. velutina</i> com diferentes composições de incorporação de lodos de esgoto e biochar. ....	32
<b>Figura 8:</b> Teste Dunnett para comparação das médias dos tratamentos incorporados com resíduos com a da testemunha, dos teores de macro e micronutrientes das folhas de <i>E. Velutina</i> .....	38
<b>Figura 9:</b> Gráficos de linha com barras de erros, mostrando a dispersão dos dados no entorno da média dos resultados dos macro e micronutrientes das folhas de <i>E. Velutina</i> . .	39
<b>Figura 10:</b> Valores médios de parâmetros morfológicos e qualidade de mudas de <i>Erythrina velutina</i> Willdem viveiro. ....	45
<b>Figura 11:</b> Principais variáveis morfológicas e o Índice de Qualidade Dickson (IQD) das mudas <i>E. velutina</i> em resposta a incorporação ao substratos de doses crescentes dos diferentes resíduos orgânicos estudados.....	51
<b>Figura 12:</b> Comportamento da quantidade de nódulos e taxa de micorrização verificada no sistema radicular das mudas de <i>E. velutina</i> . ....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Características químicas do lodo de esgoto e do biochar. ....	17
<b>Tabela 2:</b> Distribuição dos tratamentos utilizados no experimento.....	18
<b>Tabela 3:</b> Análise de variância das características químicas dos substratos (LE, BC300 e BC500) utilizados na produção de mudas <i>E. velutina</i> . em viveiro.....	25
<b>Tabela 4:</b> Atributos químicos do substrato de mudas <i>E. velutina</i> , com suas respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ).....	26
<b>Tabela 5:</b> Análise de variância para os atributos químicos das folhas das mudas de <i>E. velutina</i> . ....	33
<b>Tabela 6:</b> Características químicas das folhas de <i>E. velutina</i> e respectivas equações de regressão, em função das composições de incorporações (%) e resíduos orgânicos. ....	36
<b>Tabela 7:</b> Análise de variância dos parâmetros morfológicos e qualidades das mudas de <i>E. Velutina</i> em viveiro. ....	41
<b>Tabela 8:</b> Fatores de avaliação do crescimento inicial e qualidades das mudas de <i>E. velutina</i> em função das diferentes incorporações dos diferentes tipos de resíduos usados como substratos. ....	44
<b>Tabela 9:</b> Incrementos do DC, H e NF das mudas de <i>E. velutina</i> . ....	49
<b>Tabela 10:</b> Micorrização e nodulação de mudas de <i>E. velutina</i> em função das composições de incorporação e resíduos incorporados ao substrato. ....	52

# 1 – INTRODUÇÃO

A produção de mudas de espécies florestais nativas para a recuperação de áreas degradadas, restauração de áreas de preservação permanente e reflorestamento, implica que novas tecnologias sejam desenvolvidas e estabelecidas na cadeia de produção de mudas dos viveiros florestais.

O mercado de comercialização de mudas de espécies florestais nativas requer dos viveiristas que as práticas de manejo, sejam estabelecidas e direcionadas para maximizar a qualidade das mudas, otimizar o tempo de produção, com redução dos custos envolvidos.

Nos viveiros florestais determinados parâmetros morfológicos das mudas são utilizados para demonstrar os padrões de qualidade (SILVA et al., 2012; MARIMON-JUNIOR et al., 2012), e são considerados fundamentais para o êxito na formação dos futuros povoamentos florestais (DUTRA et al., 2012). Dentre os fatores que afetam a qualidade das mudas, o substrato é de grande importância, pois suas características químicas, físicas e biológicas, contribuem significativamente para o desenvolvimento do sistema radicular e crescimento das mudas (CALDEIRA et al., 1998).

A cadeia de produção de mudas florestais nativas, assim como outras cadeias produtivas, na tentativa de otimizar o custo do seu produto final, tem procurado através da combinação de diferentes materiais no substrato, buscar por composições de incorporações que permitam manter a qualidade das mudas, porém sem comprometer as funções ideais dos substratos de produção de mudas: boa porosidade, densidade, capacidade de retenção de água, troca de cátions, entre outras (DUTRA et al., 2015; COSTA et al., 2005).

Nas composições de substratos, determinados resíduos orgânicos têm ganhado destaque por atender as necessidades nutricionais das plantas (KRATZ e WENDLING, 2013; KREFTA et al., 2012), além disso, sua incorporação na cadeia de produção de mudas tem um forte apelo ambiental.

Dentre os resíduos orgânicos utilizados na composição de substratos para produção de mudas, o lodo de esgoto (LE) vem se destacando como uma alternativa, uma vez que grandes volumes destes produtos são gerados e, se não forem reutilizados, representam um problema ambiental. A sua utilização como componente no substrato, portanto, garante um destino apropriado para o mesmo, evitando que seu acúmulo se torne um problema ambiental (CALDEIRA et al., 2014).

O lodo de esgoto, subproduto oriundo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), é um resíduo de composição variável, rico em matéria orgânica e nutriente que após passar pelo processo de estabilização, torna-se um produto com características desejáveis para o setor agrícola e florestal (GOMES et al., 2013). Por ser rico em matéria orgânica, o lodo de esgoto é capaz de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do substrato, tornando assim uma alternativa viável para a produção de mudas de qualidade aliado ao baixo custo de aquisição (MELO et al., 1994).

A discussão ambiental que envolve a utilização do lodo de esgoto está relacionada à presença ou não dos agentes patogênicos presentes neste resíduo (PADOVANI, 2006). Devido a este fato, a legislação brasileira através da resolução 375 de 29 de agosto de 2006, estabelece critérios e procedimentos para o seu uso (BRASIL, 2006). Uma das alternativas para contornar tais exigências, é a transformação do lodo de esgoto em biocarvão ou biochar (SOUSA e FIGUEIREDO, 2015). A transformação do lodo de esgoto em biochar elimina patógenos e torna o produto mais seguro para seu uso (DEVI e SAROHA, 2013; LOPES, 2013). Assim, tem sido proposta a conversão deste resíduo em biochar, onde também se estabiliza o carbono (C) e retarda sua degradação e liberação no ambiente de gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (MUKHERJEE e ZIMMERMAN, 2013).

No comércio de mudas de espécies florestais nativas, as espécies da família de leguminosas arbóreas são preferencialmente comercializadas, principalmente pelo seu rápido crescimento quando implantadas no campo, pela deposição de resíduos orgânicos sobre o solo e por realizarem a fixação biológica de nitrogênio, contribuindo significativamente para a aceleração do processo de sucessão ecológica, e também associarem simbioticamente com fungos micorrízicos aumentando a área radicular de absorção de água e nutrientes.

Como a demanda dessas espécies é maior em relação às outras e suas características ecológicas favorecem à sua procura no mercado de vendas de mudas, pesquisas voltadas ao manejo da sua produção em viveiro são importantes, principalmente por servirem de referência na otimização da produção de mudas com melhores padrões de qualidade.

## **2 – OBJETIVOS**

### **2.1 – GERAL**

Avaliar a influência do lodo de esgoto e do biochar de lodo de esgoto no desenvolvimento inicial, na micorrização e fixação biológica de nitrogênio em mudas de *E. velutina*.

### **2.2 – ESPECÍFICOS**

- Comparar o efeito do uso lodo de esgoto e do biochar de lodo de esgoto produzidos nas temperaturas de 300 e 500° C, via processo de pirólise como substrato na produção de mudas de *E. velutina*.

- Avaliar o efeito das doses de 10, 20, 30, 40 e 50% de biochar de lodo de esgoto, comparado com as doses de lodo de esgoto *in natura*, na qualidade de mudas de *E. velutina*.

- Avaliar a qualidade do lodo de esgoto e do biochar de lodo de esgoto *in natura* na produção de mudas de *E. velutina*.

- Indicar qual a melhor dose e o resíduo para utilização na produção de mudas de *E. velutina*.



### **3 – REFERENCIALTEÓRICO**

#### **3.1 – SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS**

A produção de mudas de espécies florestais é uma das atividades mais importantes da silvicultura e representa o início de uma cadeia de operações que visa o estabelecimento de florestas e povoamentos, de forma que o sucesso da implantação e produção florestal tem relação direta com a qualidade das operações de viveiro e do seu produto, que são as mudas (SCHORN e FORMENTO, 2003).

A produção de mudas, independentemente da finalidade à que se destinará a muda seja ela para a composição de plantios comerciais, recuperação de áreas degradadas ou outros fins (CALDEIRA et al., 2012), deve ser embasada em parâmetros técnicos consistentes e bem elaborados (ESCREMIN-DIAS et al., 2006). E assim, o desenvolvimento de tecnologias de produção de mudas nativas envolve identificação botânica das espécies, métodos de colheita, beneficiamento e armazenamento, mecanismos de dormência, germinação de sementes, recipientes, substratos e manejo das mudas em viveiro (ZAMITH e SCARANO, 2004).

O padrão de qualidade de mudas varia entre as espécies, sendo que o objetivo é alcançar um nível de qualidade no qual as mudas apresentem capacidade de oferecer resistência às condições adversas que podem ocorrer após o plantio em campo (CARNEIRO, 1995).

Dentre os fatores que pode influenciar na qualidade das mudas em viveiro, está o substrato, que tem por finalidade garantir o desenvolvimento da planta com qualidade, em curto período de tempo e baixo custo (CUNHA et al., 2006; CALDEIRA et al., 2008), devendo o mesmo ser rico em nutrientes, ter boa estrutura física, de modo que haja adequada permeabilidade para troca de nutrientes e água do solo com a planta (SALOMÃO et al., 2003).

Os substratos para a produção de mudas podem ser definidos como sendo o meio adequado para a sua sustentação e retenção das quantidades suficientes e necessárias de água, oxigênio e nutrientes, além de apresentar pH compatível, ausência de elementos químicos em níveis tóxicos e condutividade elétrica adequada (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003). E tem por finalidade garantir o desenvolvimento de uma planta com qualidade, em curto período de tempo, e baixo custo. A qualidade física do substrato é

importante, por ser utilizado num estágio de desenvolvimento em que a planta é muito suscetível ao ataque por microrganismos e pouco tolerante ao déficit hídrico (CUNHA et al., 2006)

Segundo Andreoli et al. (2006) um substrato é uma combinação de componentes utilizada para a produção de mudas, fornecendo as condições químicas e físicas favoráveis à germinação das sementes e ao seu desenvolvimento, dando sustentação às plântulas, apresentando grande variação em sua composição devido a uma grande gama de materiais que podem ser utilizados. Ele poderá ser composto pela mistura de vários componentes que podem ser de origem animal, vegetal e mineral (OLIVEIRA et al., 2005).

Normalmente, se utiliza uma mistura de materiais visando à adequação do substrato à espécie cultivada em relação à densidade, equilíbrio nutricional, retenção de água, e outros fatores (ANDREOLI et al., 2006). Na sua composição, a fonte orgânica é responsável pela retenção de umidade e fornecimento de parte dos nutrientes para o crescimento de plântulas (SOBRINHO et al., 2010). As fontes mais comuns de matéria orgânica que contêm macro e micronutrientes são os adubos orgânicos. Para estes, não se deve levar em consideração somente o conteúdo de nutrientes, mas também seu efeito sobre o solo ou substrato como: processos microbianos, aeração, estrutura e capacidade de reter água além da regulação da temperatura do meio (PONS, 1983).

De modo geral, pode-se dizer que é preferível à mistura de dois ou mais materiais para a obtenção de um substrato adequado e de boa qualidade, sendo que na escolha dos materiais utilizados deve considerar a espécie a ser cultivada, as condições de produção (sistema de irrigação, fertilização, tamanho de recipiente, etc.), a disponibilidade e preço do material, além de aspectos técnicos relacionados ao seu uso (BACKES, 1989).

Os substratos podem ser compostos por diferentes matérias-primas, sendo os resíduos orgânicos os mais utilizados, visto que a matéria orgânica é componente fundamental para que os substratos cumpram a sua finalidade básica, que é aumentar a sua capacidade de reter água e nutrientes para as mudas, além de reduzir a densidade aparente e aumentar da porosidade do substrato (PADOVANI, 2006).

Na busca por opções que sejam de fácil aquisição, baixo custo e de fontes renováveis, uma grande diversidade de materiais tem sido utilizada como componentes alternativos para a formulação de substratos (NEVES et al., 2010). Destacam-se: vermiculita, composto orgânico, esterco bovino, moinha de carvão, terra de subsolo, areia, casca de árvores, composto de lixo, terra de mato, serragem, bagaço de cana, acículas de *Pinus sp.*, turfa entre outros (FONSECA, 1988).

Portanto, há disponíveis no mercado diferentes fontes de substratos para produção de mudas, no entanto dependendo da finalidade de uso, pode tornar-se inviável economicamente, como no caso de implantação de reflorestamento para recuperação de áreas degradada (CUNHA et al., 2006), e também outro fator que deve ser considerado é o fato de alguns materiais estarem concentrados em regiões específicas do país, tornando-se escassos e caros em regiões mais distantes (DUARTE et al., 2002). Na tentativa de contornar os transtornos causados pela crescente produção de lixo e resíduos industriais, têm-se buscado estratégias de reutilização desses rejeitos como componente de substrato (TRAZZI et al., 2012), possibilitando o seu reaproveitamento, e com isso garantir a obtenção de um material alternativo, de baixo custo, de fácil disponibilidade e auxiliar na redução do seu acúmulo no ambiente (CALDEIRA et al., 2014).

### **3.2 - LODO DE ESGOTO E SUA TRANSFORMAÇÃO EM BIOCHAR**

O lodo de esgoto é um resíduo resultante do tratamento dos líquidos e sólidos urbanos (domésticos, comerciais, industriais) encaminhados por meio das redes coletoras às estações de tratamento de esgoto (PEQUENO et al., 2008), com a finalidade de torná-lo o menos poluído possível, de modo a permitir seu retorno ao ambiente sem que sejam agentes de poluição (CASSINI et al., 2003). Durante o tratamento do esgoto, bactérias e fungos quebram as moléculas orgânicas que servem como fonte de energia para seu desenvolvimento, utilizando os nutrientes para crescerem e se reproduzirem. Quando esses microorganismos morrem, eles constituem a massa orgânica do lodo de esgoto (PEQUENO et al., 2008). Após passar pelo processo de estabilização, o lodo de esgoto passa a ser denominado biossólido (GOMES et al., 2013).

Em grandes centros urbanos produzem diariamente centenas de toneladas de lodo de esgoto e existe uma relação direta entre o crescimento populacional e o volume de esgoto produzido (NUVOLARI, 2003). Só no Distrito Federal são produzidas cerca de 400 toneladas de lodo de esgoto por dia (CAESB, 2016).

As estações de tratamento de esgoto removem as cargas poluentes do esgoto através de processos físicos, químicos ou biológicos, devolvendo ao ambiente o produto final, tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental (CAESB, 2013). Entre os diversos princípios capazes de promover a desinfecção do lodo de esgoto, os fatores mais indicados são: temperatura, pH e a radiação. Em determinadas condições

ambientais os organismos se mantêm presentes ou em desenvolvimento no lodo, mas, quando é quebrado esse equilíbrio, os organismos são eliminados. A intensidade e o tempo em que esses fatores são aplicados à massa de lodo de esgoto determinam a eficiência da desinfecção (ILHENFELD et al., 1999).

Quanto aos diferentes níveis de tratamentos, eles podem ser divididos em tratamento preliminar (ou pré-tratamento), tratamento em nível primário, secundário e terciário. Portanto de acordo com o nível do tratamento recebido, o lodo de esgoto pode variar consideravelmente a sua composição química, que é um fator importante a ser considerado na sua destinação final (MACHADO, 2001).

A disposição adequada do lodo de esgoto é uma etapa problemática no processo operacional das estações de tratamento (SAITO, 2007; GOMES et al., 2013). As práticas usuais de disposição do lodo de esgoto, como incineração, disposição oceânica, reuso industrial e disposição em aterros sanitários (SILVA et al., 2000), todas são alternativas de custo elevado ou têm potencial para produzirem impactos ambientais indesejáveis (SAITO, 2007).

Uma das opções para essa problemática é a utilização do lodo de esgoto como fonte de nutrientes e matéria orgânica para fins agrícolas e florestais. O uso do biossólido/lodo de esgoto devidamente tratado traz benefícios sociais e ambientais, além de econômicos, já que uso de fertilizantes minerais apresenta custo elevado, não ser renovável e no futuro esgotamento das fontes (DURVAL-JUNIOR et al., 2005). Como esse resíduo é rico em matéria orgânica e em macro e micronutriente para as plantas, tem mostrado potencial fertilizante e condicionador das propriedades físicas e químicas do solo (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

A utilização do lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas florestais pode contribuir para minimizar problemas com a contaminação ambiental por elementos potencialmente tóxicos, uma vez que a quantidade de substrato contida nos recipientes é insignificante perto do volume de solo em que essas mudas são plantadas (ROCHA et al., 2013). Além disso, o seu uso como substrato pode propiciar um melhor aproveitamento de nutrientes pela planta, em relação à adubação mineral, visto que os mesmos estão na forma orgânica e são liberados gradativamente, suprimindo de modo mais eficiente as exigências nutricionais das mudas (CARVALHO e BARRAL, 1981). E ainda, este resíduo pode ser usado, como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, considerando seu teor de matéria orgânica e nutriente (MELO et al., 1994).

No entanto, como o lodo de esgoto apresenta possíveis riscos de possuir agentes contaminantes, essa prática pode resultar em adição direta de patógenos diversos não desejáveis no solo (SAITO, 2007). Como forma de controlar o uso deste material o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 375, definiu os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola/florestal. Assim, o uso do lodo de esgoto para a nutrição de espécies florestais, seja na produção de mudas ou em campo deve respeitar as normas vigentes, devido ao risco de contaminação humana e ambiental.

Contudo, além dos métodos convencionais para a disposição do lodo de esgoto, como por exemplo, o uso direto na agricultura, recentemente tem aumentado o interesse pelo processamento térmico desse material (FRANCA et al., 2010; HEJAZIFAR et al., 2011; SOUSA e FIGUEIREDO, 2015). E entre os tratamentos térmicos, a pirólise é um método bastante promissor (HWANG et al., 2007). A pirólise é um processo termoquímico endotérmico de decomposição térmica direta de componentes orgânicos em biomassa, gerando produtos como o biochar (VIEIRA, 2012).

Biochar é a denominação internacional para o biocarvão, um termo criado recentemente que define um produto rico em carbono obtido pelo aquecimento de biomassa na ausência de oxigênio ou com baixos teores desse gás, processo conhecido como carbonização (um tipo de pirólise), em temperaturas que variam de 300 °C a 800 °C (LEHMANN e STEPHEN, 2009; MANGRICH et al., 2011), tendo como resultado deste processo produtos úteis, tais como: o líquido, denominado bio-óleo; gases, tais como H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; e o sólido que é denominado biocarvão ou biochar (VIEIRA, 2012). A produção deste tipo de produto surgiu da tentativa por parte de pesquisadores de conseguir um material com as mesmas características das terras pretas de índios pré-colombianos encontradas em partes da floresta amazônica, que possui características de condicionamento dos solos (MANGRICH et al., 2011).

No processo de produção do biochar alguns parâmetros, tais como a temperatura, tempo de residência, velocidade de aquecimento, e tamanho de partícula de matéria-prima utilizada podem afetar a quantidade e as características do biochar produzido. Dentre estes parâmetros, a temperatura de pirólise tem o maior efeito na qualidade do produto final (ANTAL e GRONLI, 2003).

O biochar pode ser produzido a partir de biomassa (animal ou vegetal), ou seja qualquer matéria prima, desde que não contenha em sua composição mais de 2% de contaminantes em peso seco (INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE, 2012), a

exemplo de alguns resíduos orgânicos, tais como, lodo de esgoto, bagaço e palha de cana de açúcar, esterco de galinha, entre outros, que nos últimos anos tem sido proposta a conversão destes resíduos em biochar, principalmente como forma de estabilizar o carbono (C) e retardar sua degradação e liberação no ambiente como CO<sub>2</sub> (LEHMANN et al., 2006). As características do biochar, dependem da matéria prima usada e do método de processamento a que foi submetido a biomassa inicial (BRICK e LYUTSE, 2010).

O lodo de esgoto é uma das diversas matérias-primas que podem ser utilizadas para a produção de biochar (HOSSAIN et al., 2011), e a sua transformação em biochar elimina os patógenos e torna o produto mais seguro para aplicação no solo (DEVI e SAROHA, 2013). A produção de biochar de lodo de esgoto pode viabilizar a utilização desse resíduo na agricultura, representando uma excelente alternativa para resolver o problema ambiental gerado pelo acúmulo de lodo nas estações de tratamento de esgoto (SPOKAS et al., 2012). A conversão pirolítica do lodo de esgoto para biochar é um método promissor para gerenciar resíduos e, simultaneamente, tirar proveito dos benefícios ambientais (AGRAFIOTI, et al., 2013), uma vez que o mesmo é rico em matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de melhorar a eficiência dos fertilizantes através das melhorias das propriedades químicas do solo (MIKAN e ABRAMS, 1995).

O biochar tem se destacado na comunidade científica nos últimos anos devido ao seu potencial para melhorar a produtividade do solo (STEINER et al., 2008), remediar solos contaminados (BEESLEY et al., 2010) e mitigar as alterações climáticas (WOOLF et al., 2010). O biochar contém propriedades únicas que fazem dele um produto sustentavelmente benéfico à produtividade e qualidade biológica do solo, além de ser uma ferramenta apropriada para fixação de dióxido de carbono da atmosfera no solo por períodos longos em uma tentativa de mitigar o aquecimento global (WOOLF et al., 2010). Sua aplicação no solo agrega valor, pois, usado como um condicionador do solo, pode aumentar sua fertilidade e melhorar a sua qualidade elevando o pH (HOSSAIN et al., 2011), também, pode aumentar a capacidade de retenção de umidade e melhorar a capacidade de troca catiônica, ajudando o solo a manter os nutrientes (LEHMANN et al., 2011).

A adição de biochar ao solo proporciona um ganho na produtividade das culturas, independente do tipo de matéria prima e da taxa de aplicação, com aumento médio de cerca de 10%. Esse ganho se deve a contribuição do biochar no aumento do pH, da capacidade de retenção de água e da disponibilidade de nutrientes (JEFFERY et al., 2011).

O biochar no solo possui uma baixa taxa de decomposição, podendo permanecer até 100 anos, desta forma auxiliar na mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> (JHA et al., 2010).

### **3.3 - ESPÉCIE ESTUDADA**

#### **3.3.1 - *Erythrina velutina* Willd**

Segundo a classificação taxonômica, a *Erythrina velutina* é uma espécie pertencente à família Fabaceae (Leguminosae-Papilionoideae), subfamília-Faboideae (JOLY, 2002), conhecida popularmente como suinã, mulungu, canivete, corticeira, mulungu-da-catinga, pau-de-coral, sanaduí, sananduva, dentre outros (LORENZI, 1992). É uma árvore de grande porte, decídua, que mede cerca de 8 a 12 m de altura, e tronco de 40-70 cm de diâmetro quando adulta; possui fruto do tipo legume, flores de coloração vermelha e folhas alternadas compostas e trifolioladas, sustentadas por pecíolo de 6-14 cm; folíolos cartáceos, com face ventral apenas pulverulenta e dorsal de cor verde mais clara revestida por densa pilosidade felpuda (LORENZI, 1998).

*Erythrina velutina* é uma espécie nativa da flora brasileira utilizada na medicina popular de algumas regiões do Nordeste brasileiro, como sudorífico, calmante, emoliente peitoral e anestésico local, é uma árvore de grande resistência à seca, apresentando rusticidade e rápido crescimento, podendo ser usada para recuperação de áreas degradadas. Sua madeira é leve e pouco resistente a agentes agressivos, com expressiva utilização no artesanato para confecção de tamancos, brinquedos, caixotes, dentre outros (LORENZI e MATOS, 2002).

A espécie tem potencial paisagístico em arborização urbana, pois, apresenta grande exuberância com suas flores vermelho-vivo que atraem avifauna. É indicada para plantio em margens de corpos d'água, ruas, praças, avenidas, parques e jardins (MATOS e QUEIROZ, 2009).

A produção de mudas desta espécie pode ser feita por meio de sementes, as quais apresentam dormência tegumentar que requer escarificação para diminuir a desuniformidade e acelerar o processo germinativo, e quando o objetivo é produção comercial de mudas de *Erythrina velutina*, a propagação por via assexuada pode ser mais importante que a propagação por meio de sementes, pois normalmente é mais rápida (XAVIER et al., 2009).

A espécie floresce a partir do final do mês de agosto quando a planta encontra-se sem folhas, até dezembro, os frutos amadurecem de janeiro a fevereiro (LORENZI, 2002), os frutos são do tipo legume (vagem) deiscente, com 5 a 8 cm de comprimento, contendo 1-3 sementes reniformes de cor vermelha e brilhantes (LORENZI e MATOS, 2008). Anualmente produz uma grande quantidade de sementes, e a sua coleta é feita de forma extrativista. Em algumas regiões do nordeste brasileiro ocorre a retirada de quase todas as sementes para a utilização no artesanato (NEVES et al., 2006).

### **3.4 – MICORRIZAÇÃO**

O termo micorriza foi, de início, proposto pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, em 1885 (SOUZA et al., 2005), micorriza (do grego: Mykes – fungos, rhiza – raiz) é a denominação dada para associação simbiótica entre determinados fungos de solo e as raízes de planta (Santos, 2014), no qual os fungos micorrízicos, em troca de carboidratos, vitaminas e outros minerais, geralmente beneficiam seus hospedeiros por elevar a área de absorção do sistema radicular e a capacidade de assimilação de água e nutrientes, como N e P (HOBBIE et al., 2005).

As associações micorrízicas podem ser classificadas em: arbusculares, ectomicorrízicas, orquidoides, ericoides, arbutoides, monotropoides e ectendomicorrízicas. Mas há uma classificação simplificada das micorrizas em ectomicorriza e endomicorriza que permite distinguir a micorriza onde o fungo não penetra nas células da planta hospedeira (ecto), daquela em que o fungo entra nas células e forma estruturas fúngicas específicas (endo) (Moreira & Siqueira, 2006). As micorrizas arbusculares ou as endomicorrizas arbusculares se destacam por serem cosmopolitas e predominantes nas espécies vegetais em ecossistemas tropicais (CALDEIRA et al., 2003).

Os fungos micorrízicos arbusculares causam impactos que vão desde suas relações com plantas, com comunidades vegetais e com os processos relacionados à estabilidade de ecossistemas, ao participarem de forma ativa e significativa na dinâmica do C e agregação do solo (VAN DER HEIJDEN et al., 1998).

Os fungos micorrízicos arbusculares são simbiotróficos obrigatórios, ou seja, não são capazes de completar seu ciclo de vida, sem estarem associados com um hospedeiro metabolicamente ativo (STÜRMER e SIQUEIRA, 2013), na ausência de uma planta hospedeira estão presentes no solo como esporos multinucleados envolvidos por uma



parede célula ou como fragmentos de hifas em raízes mortas ou secas, a germinação do esporo, a proliferação e a ramificação das hifas são estimuladas por sinais moleculares sintetizados e secretadas pela raiz. Essas moléculas são geralmente flavonóides, várias das quais também servem como sinais nas simbioses rizóbio-leguminosas (HIRSCH e KAPULNIK, 1998).

Os fungos micorrízicos propiciam benefícios às plantas, por meio do surgimento de alterações metabólicas diversas, e essas alterações se refletem positivamente sobre o desenvolvimento e nutrição da planta. Essas alterações metabólicas conferem às plantas maior resistência aos efeitos oriundos de estresses de natureza biótica ou ecológica, a micorrização proporciona melhor utilização e conservação dos nutrientes disponíveis no sistema solo-planta, por permitir às plantas melhor adaptação ao ecossistema (COLOZZI-FILHO e NOGUEIRA, 2007).

Os fungos micorrízicos formam estruturas especializadas (hifas, vesículas e arbúsculos) dentro do córtex radicular das plantas, e crescem além da superfície das raízes (STÜRMER et al., 2009), Isto proporciona, funcionalmente, o aumento do sistema radicular, abrangendo maior área de exploração radicular, tendo como consequência maior desenvolvimento das plantas, pelo aumento da absorção de nutrientes e água (MACHINESKI et al., 2009).

As micorrizas ampliam a capacidade de absorção de todos os nutrientes, no entanto tem uma maior absorção dos nutrientes com baixa mobilidade no solo como o P, Zn e Cu (STÜRMER e SIQUEIRA, 2013). Os fungos também proporcionam outras melhorias para a planta como maior capacidade a planta de superar estresses bióticos e abióticos e melhor absorção de água (Moreira e Siqueira, 2006). Além das vantagens diretas para a planta esses fungos influenciam nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BERBARA et al., 2006).

Quase todas as plantas necessitam de uma associação mutualística com fungos. Sem auxílio, os pelos radiculares dessas plantas não absorvem água ou nutrientes necessários para manter o crescimento (SADAVA et al., 2009). Diante disto, estudos têm destacado a importância e o potencial dos fungos micorrízicos como agentes recuperadores de áreas impactadas. (COLODETE et al., 2014).

Em leguminosas arbóreas a presença de micorrizas pode contribuir para expandir a área de captação do P, Mo, Zn e outros nutrientes de baixa mobilidade no solo, que são absorvidos por contato com as raízes, permitindo o crescimento em solos extremamente pobres e deficientes em nitrogênio (MOSSE, 1976). O conhecimento da capacidade de

espécies de plantas formar simbiose com estes fungos é importante para o sucesso do processo de revegetação de áreas (JASPER et al., 1991).

As respostas positivas de crescimento de leguminosas em relação à colonização micorrízica são normalmente interpretadas como efeito da melhora na nutrição mineral das plantas, devido ao aumento na absorção de nutrientes, pelas raízes micorrizadas (MENGE, 1983), melhora na absorção de água, e resistência a doenças da raiz (GIANINAZI-PEARSON & GIANINAZZI, 1983).

### **3.5 - FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO**

O nitrogênio é um dos principais componentes das biomoléculas, faz parte da estrutura de ácidos nucléicos, aminoácidos, proteínas, etc, o que o torna, portanto, essencial à sobrevivência e crescimento dos organismos. Diferentemente de outros elementos que ocorrem na natureza, suas reservas minerais são relativamente raras (KIM e REES, 1994). A disponibilidade de nitrogênio para as plantas é provavelmente o segundo maior limitante de seu desenvolvimento, perdendo apenas para deficiência hídrica (GRAHAM e VANCE, 2000). O nitrogênio pode ser absorvido do solo pelas plantas na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), na forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) ou através do  $\text{N}_2$  atmosférico pela fixação biológica, ou seja, transformação do  $\text{N}_2$  em  $\text{NH}_4^+$  através de processo simbiótico com bactérias. (TAIZ e ZIEGER, 2004).

A fixação biológica de nitrogênio é um processo primário através do qual o nitrogênio, quimicamente indisponível para a maioria dos organismos, se torna fisiológica e metabolicamente disponível, inicialmente sob a forma de amônia e, posteriormente, na ciclagem do nitrogênio (FERGUSON, 1998). Na natureza, este processo é realizado por um pequeno número de microrganismos, denominados diazotróficos ou fixadores de nitrogênio, que é capaz de reduzir nitrogênio atmosférico a amônia (EADY e POSTGATE, 1974).

A fixação biológica de nitrogênio atmosférico é um processo ecológico e economicamente vantajoso, pois pode substituir os adubos fertilizantes minerais nitrogenados, que são bastante onerosos (LACERDA et al., 2004).

Plantas da família Leguminosae podem formar associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, chamadas de rizóbio (HARLEY e SMITH, 1983), esse processo ocorre em nódulos radiculares induzidos pela infecção bacteriana (URIBE, 1994).

O rizóbio se localiza nas células especiais do nódulo, fixa o nitrogênio atmosférico disponibilizando-o sob forma de amônia para a planta, a qual, em contrapartida, fornece carboidratos para os microssimbiontes (ALEN e ALEN, 1981; HARLEY e SMITH, 1983).

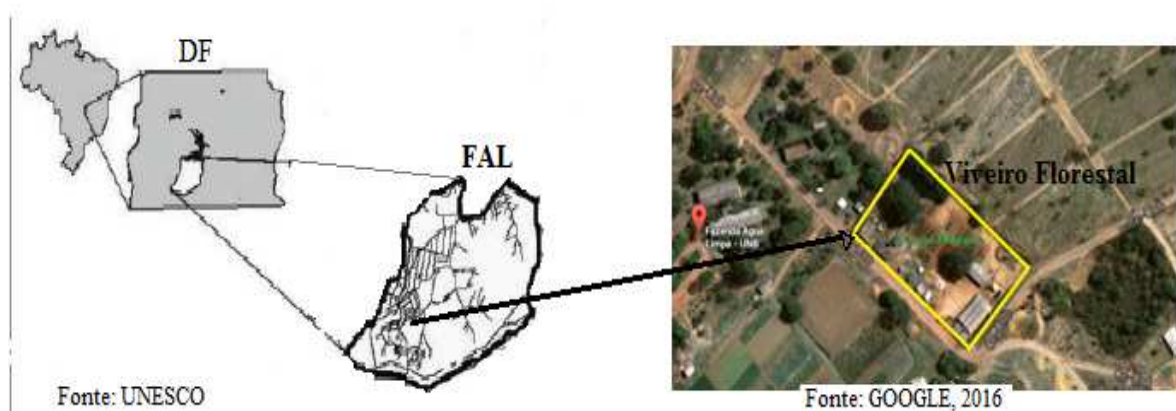
Os nódulos se desenvolvem principalmente em regiões de alongamento e nas zonas de formação de pequenos pêlos radiculares, considerada a região preferencial para a infecção da bactéria fixadora de nitrogênio (BHUVANESWARI et al ., 1980).

A eficiência do processo de fixação de nitrogênio entre as plantas e as bactérias fixadoras de nitrogênio pode ser analisada observando-se os efeitos dessa associação na planta hospedeira, tais como no crescimento do sistema radicular e da parte aérea, no aumento da área foliar, teor de nitrogênio, do número de nódulos e na disposição destes no sistema radicular, entre outros (BRUIJN et al., 1994).

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 - LOCAL DE EXECUÇÃO

A pesquisa foi conduzida no período de janeiro a maio de 2015, no viveiro florestal na Fazenda Água Limpa (FAL) (Figura 1), pertencente à Universidade de Brasília – UnB, localizado a 3 km do Plano Piloto em Brasília, Distrito Federal, cujas coordenadas geográficas são: 15°56'14"S e 47°46'08"W.



**Figura 1:** Viveiro florestal localizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília.

A altitude média da região é de 1.100 m, com clima do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem distintas, estação seca e fria no período de junho a setembro e outra quente e chuvosa, entre outubro a maio (IBGE, 2004). A temperatura pode variar de 12 no inverno até 28,5°C no verão e precipitação média anual de 1.500 mm (IBGE, 2004).

### 4.2 – AS SEMENTES

As sementes de *E. velutina*, foram, coletadas de 10 árvores adultas localizadas no Campus Universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, localizado na Asa Norte, nos meses de outubro a dezembro de 2015.

Após coletadas as sementes foram beneficiadas por meio da limpeza manual e posteriormente foram acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em temperatura

ambiente no Laboratório de Tecnologia de Sementes e Biotecnologia no Centro de Recuperação de Áreas Degradadas – CRAD.

Durante o período de armazenamento as sementes foram selecionadas, e composto o lote das sementes intactas (sem danos físicos e presença de insetos) e com boas características estabelecidas para germinação (não chochas ou murchas, sementes duras).

#### **4.3 – OBTENÇÃO E PREPAROS DOS RESÍDUOS**

Foram avaliados três tipos de resíduos: lodo de esgoto doméstico “*in natura*” (LE); biochar de lodo de esgoto produzido nas temperaturas de 300 e 500°C de pirólise (denominados respectivamente de BC300 e BC500).

O lodo de esgoto foi obtido junto à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), onde este é produzido a partir de um sistema de tratamento em nível secundário, no qual o lodo é tratado em digestores que têm a função de estabilizar a matéria orgânica.

O biochar foi produzido no Laboratório de Qualidade e Preservação da Madeira, localizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília. Onde porções de lodo, passada por peneira com malha de 8 mm, foram submetidas à pirólise nas temperaturas de 300 e 500°C, com um tempo de residência de quatro horas em mufla (Linn Elektro Therm). O controle de temperatura durante a pirólise foi realizado com o uso de um termopar tipo K de penetração, modelo MTK-15, acoplado a um termômetro digital KT-160A.

A biomassa de lodo de esgoto foi colocada em um recipiente de metal adaptado ao espaço interno da mufla que contém um sistema de saída de gases e bio-óleo, com mecanismo para evitar o fluxo de oxigênio. Após a pirólise, o biochar foi acondicionado em sacos plásticos até ser utilizado no experimento. As características químicas do biochar (BC300 e BC500) e do lodo de esgoto são apresentadas na tabela 1.

Para a caracterização das amostras de lodo de esgoto e biochar, após a pirólise todas as amostras foram moídas e passadas em peneira com malha de 0,5 mm, sendo que somente a amostra do lodo não pirolisada foi deixada em estufa a 65°C até peso constante. A determinação do pH foi realizada em solução de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>), onde foram pesados 10g da amostra da biomassa (LE ou biochar) e transferidos para recipiente plástico e adicionados 50ml da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup>. Após isso, as amostras foram

agitadas em agitador circular horizontal por 10 minutos a 220 rpm. Após a agitação foram deixadas em repouso por 30 minutos e os valores de pH em suspensão foram medidos em pHmetro PHTEK modelo PHS-3B. Já os teores de macro e micronutrientes foram determinados após extração nitroperclórica (Silva, 2009), e as quantificações nos extratos foram realizadas de acordo com os seguintes procedimentos: o fósforo foi determinado por espectrofotometria; potássio por fotometria de chama; boro pelo método colorimétrico da azomethina-H; e os nutrientes cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre, ferro, manganês e zinco foram analisados por espectrofotometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado – ICP-OES.

**Tabela 1:** Características químicas do lodo de esgoto e do biochar.

Propriedade Química	LE	BC 300	BC 500
P (g kg <sup>-1</sup> )	35,7	41,1	61,3
K <sup>+</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,08	0,16	1,25
Ca <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	6,6	9,7	7,8
Mg <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	1,7	1,8	1,7
S (g kg <sup>-1</sup> )	6,7	15,1	7,4
B (mg kg <sup>-1</sup> )	6,19	9,1	12,03
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	1,32	1,4	1,14
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	379	450	540,9
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	0,76	1,0	1,2
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	4,4	5,3	6,22
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,8	6,0	6,5

LE: Lodo de Esgoto; BC300: Biochar 300°C; BC500: Biochar 500°C.

#### 4. 4 – PREPARO DO SUBSTRATO

Como recipientes foram utilizados sacos de polietileno para produção de mudas com dimensões de 15 x 25 cm (0,97 L). Para a composição do substrato, a terra de subsolo foi previamente peneirada, assim como o lodo “*in natura*”. cada elemento em separado foi utilizado para se realizar as composições de incorporação, as quais foram realizadas na proporção volume/volume. Uma vez feita às proporções, os materiais foram misturados até se tornar um material homogêneo.

Para as composições de incorporação foram utilizadas as seguintes proporções: 0, 10, 20, 30, 40 e 50% de lodo “*in natura*” e dos respectivos biochar 300 e 500 (BC300 e BC500). Essas proporções foram incorporadas a terra de subsolo até se completar os 100%. O subsolo foi coletado em uma área de cerrado na própria fazenda água limpa (FAL). Tanto o subsolo quanto os três resíduos testados não passaram por nenhum tipo de adubação química.

#### 4.5 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 5 (sendo três resíduos: LE, BC300 e BC500 e cinco proporções: 10, 20,30, 40 e 50%), mais um adicional, o qual continha a testemunha/controle (formada de 100% de subsolo) (3 x 5 +1), contendo cada tratamento 30 mudas, totalizando 480 mudas.

**Tabela 2:** Distribuição dos tratamentos utilizados no experimento.

Resíduos	Tratamentos	Discriminação
Lodo de Esgoto (LE)	T1	10% de LE + 90% subsolo
	T2	20% de LE + 80% subsolo
	T3	30% de LE + 70% subsolo
	T4	40% de LE + 60% subsolo
	T5	50% de LE + 50% subsolo
Biochar 300°C (BC300)	T6	10% de BC300 + 90% subsolo
	T7	20% de BC300 + 80% subsolo
	T8	30% de BC300 + 70% subsolo
	T9	40% de BC300 + 60% subsolo
	T10	50% de BC300 + 50% subsolo
Biochar 500°C (BC500)	T11	10% de BC500 + 90% subsolo
	T12	20% de BC500 + 80% subsolo
	T13	30% de BC500 + 70% subsolo
	T14	40% de BC500 + 60% subsolo
	T15	50% de BC500 + 50% subsolo
Testemunha/Controle	Test.	100% de subsolo

BC300: Biochar de LE produzido a uma temperatura de 300°C de pirólise; BC500: Biochar de LE produzido a uma temperatura de 500°C pirólise.

## **4. 6 – INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO**

Na instalação do experimento as sementes foram separadas em lotes de 30 sementes/tratamento, onde foram escarificadas do lado oposto ao hilo, com lixa nº 80. Após a escarificação as sementes foram imersas em água destilada por 30 minutos, a fim de induzir e acelerar o processo de germinação.

Para o semeio, as unidades amostrais receberam uma prévia irrigação com regador, e posteriormente as sementes foram semeadas a 2 cm de profundidade na posição horizontal. Nesta ocasião, cada unidade amostral ou saco com substrato, recebeu duas sementes cada.

O experimento foi instalado a pleno sol, sendo que as unidades amostrais foram dispostas sobre o chão dos canteiros e durante todo o experimento foi realizada duas irrigações por dia, uma pela manhã e outra à tarde.

A germinação foi acompanhada periodicamente, e após germinadas e obtidas as plântulas e a formação de dois a três pares de folhas, foi realizado o raleio ou desbaste, mantendo apenas uma plântula por unidade amostral ,sendo considerada como principal a plântula mais vigorosa.

Semanalmente foi realizada a monda, a fim de se eliminar as espécies invasoras, as quais podiam comprometer o desenvolvimento das mudas.

## **4. 7 – COLETA DOS DADOS**

### **4. 7. 1 - Dados Morfológicos**

A primeira avaliação das mudas ocorreu aos 30 dias após a semeadura (DAS), seguidas por duas avaliações (60 e 100 dias). Nas avaliações foram medidas as seguintes variáveis: diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (H) e número de folhas (NF). A altura foi medida com uma régua milimétrica, da seção superior do saco plástico até a gema apical mais alta da muda e o diâmetro do coleto foi determinado ao nível do substrato com o uso de um paquímetro digital. Já o número de folhas foi realizado a partir da contagem direta (figura 2).





A: Paquímetro; B: medição do diâmetro do coleto e C: medição da altura da parte aérea das mudas.

**Figura 2:** A avaliação do crescimento das mudas em viveiro.

Os valores de incremento foram determinados para cada variável (H; DC e NF) através da subtração dos valores obtidos da data de avaliação com os valores obtidos na avaliação anterior. Assim foram determinados dois incrementos para cada variável: incremento 1 – IC1 (valores obtidos aos 60 DAS, menos os valores obtidos 30 DAS), incremento 2 – IC2 (valores obtidos aos 100 DAS, menos os valores obtidos 60 DAS).

Na última avaliação aos 100 DAS, após a medição das variáveis DC, H e NF, as mudas foram retiradas das unidades amostrais e feita a separação do sistema radicular e da parte aérea, contagem de nódulos, coleta de raízes adventícias e secundárias para análise de micorrização e coleta de substrato para análise de solo, sendo todos esses materiais acondicionados nas devidas embalagens apropriadas e encaminhados ao laboratório (figura 3).



**Figura 3:** A: Separação do sistema radicular da parte aérea, B: Coleta de raízes adventícias e secundária e, C: Coleta e contagem de nódulos.

A partir da coleta do sistema radicular e da parte aérea foi determinada a massa seca da parte aérea e da massa seca do sistema radicular. O sistema radicular foi lavado, para a retirada do substrato aderido às raízes, e posteriormente os indivíduos foram levados à estufa de ventilação forçada, a 70°C até atingirem peso constante, por cerca de 72 horas. Após o processo de secagem foi realizada pesagem em balança eletrônica de precisão de 0,01g (BÖHM, 1979), obtendo-se assim a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa seca da raiz (MSR) e a massa seca total (MST).

No final deste processo foi realizada a avaliação da qualidade das mudas por meio da altura da parte aérea (H), em cm; diâmetro de coleto (DC), em mm; número de folhas (NF); massa seca da parte aérea (MSPA), em g; massa seca da raiz (MSR), em g; a relação da altura da parte aérea com o diâmetro de coleto (RHDC); a relação da altura da parte aérea com a massa seca da parte aérea (RHMSPA); e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON et al., 1960).

A RHDC foi obtida por meio da divisão do valor da altura da parte aérea pelo seu diâmetro de coleto. Quanto menor for o seu valor, maior é a capacidade de sobrevivência e estabelecimento da muda no campo.

A RHMSPA foi calculada através da divisão da altura da parte aérea pela massa seca da parte aérea. Quanto menor o valor obtido mais lenhificada é a muda e maior a sua capacidade de sobrevivência no campo.

O índice de qualidade de Dickson foi calculado a partir da fórmula:

$$IQD = \frac{PMST}{\frac{H}{DC} + \frac{PMSPA}{PMSR}}$$

Sendo:

- peso de matéria seca total em gramas (PMST);
- peso de matéria seca da parte aérea em gramas (PMSPA);
- peso de matéria seca do sistema radicular em gramas (PMSR);
- altura da parte aérea em cm (H);
- diâmetro de coleto em mm (DC).

Tanto a RHDC, quanto a RHMSPA e o IQD foram utilizados para prever o potencial de sobrevivência da muda no campo.

#### 4. 7. 2 - Avaliação da Micorrização

Para a avaliação e análise da taxa de colonização micorrízica, foram coletadas amostras de um grama de raízes frescas e finas e armazenadas em pequenos potes contendo álcool 70%, para cada tratamento utilizou-se três repetições. No laboratório as raízes foram lavadas com água corrente e clareadas em solução de KOH 10%, aquecidas a 60°C durante 30 minutos em banho Maria, lavados novamente com água. Em seguida foram imersas em HCl 2% por 15 minutos, lavadas novamente com água destilada, para a retirada do excesso de KOH, posteriormente foi feita a coloração com azul de tripano 0,05% a 60°C, durante 15 minutos em banho Maria, e por fim, para conservar as amostras foram armazenadas em recipientes com tampa contendo solução de glicerol (Figura 4) (BRUNDRENTT et al., 1996).



A: Etapas do clareamento das raízes; B: Etapas da coloração das raízes e; C: Avaliação da porcentagem de micorrização das raízes.

**Figura 4:** Procedimentos realizados na avaliação da micorrização em laboratório.

A percentagem do comprimento de raízes finas colonizadas com micorrizas foi avaliada pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI e MOSSE, 1980), por meio

da avaliação de segmentos de raízes contendo estruturas fúngicas, com auxílio de microscópio óptico binocular com aumento de 100 vezes. As raízes já coloridas foram dispostas de forma aleatória em uma placa de petri de 8,5 cm de diâmetro, contendo um grid de linhas. Em cada campo visual, foi visualizada a interseção da raiz com a linha horizontal do grid e realizada a anotação da presença ou ausência de colonização micorrízica do segmento da raiz que está em contato com a linha do grid (figura 4).

O cálculo da taxa de colonização foi feito pela relação entre o total de pontos com colonização (presença de colonização) sobre o total de observações (presença + ausência de colonização), que multiplicado por 100 forneceu a porcentagem ou taxa de colonização micorrízica. Estas avaliações foram realizadas do Laboratório de Microbiologia do Solo da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília - UNB.

#### 4. 7. 3 - Avaliação da Fixação Biológica de Nitrogênio

Para avaliação da fixação biológica de nitrogênio foi feita contagem direta de nódulos presente no sistema radicular de todos os indivíduos do experimento e posteriormente realizada a pesagem, do peso verde e peso seco, após 24 e 48 horas de ventilação forçada em estufa a 40°C. A pesagem foi feita em balança eletrônica com precisão de 0,01g (Figura 5).



**Figura 5:** Pesagem do peso verde e seco dos nódulos.

#### **4.7.4 - Análise Foliar e do substrato**

Para a realização das análises foliares foi retirada de cada muda as folhas medianas, formando três repetições por tratamento, e em cada repetição foi coletado uma quantidade mínima de 10g de peso seco. Com relação à análise ao substrato foi coletado também três amostras por tratamento, sendo que cada amostra foi formada por substratos de três unidades amostrais e cada amostra continha 500g de substratos. Em ambos os casos os materiais foram encaminhados para o laboratório CAMPO (Centro de Tecnologia Agrícola e Ambiental) de análise química para realização das análises químicas desejadas.

#### **4.8 - ANÁLISES DOS DADOS**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão, mediante o “teste F” a 1% e 5% de probabilidade. As médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico ASSISTAT 7.6 (SILVA, 2015), bem como o software Excel 2007.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 –CARACTERISTICAS QUIMICAS DO SUBSTRATO

A análise de variância das características químicas do substrato aos 100 dias (Tabela 3), mostrou que ocorreram diferenças significativas ( $p < 0,01$  ou  $p < 0,05$ ) pelo teste “F”, para a interação os tipos de resíduos e as composições de incorporações, para quase todas as variáveis analisadas, exceto para o Ca.

**Tabela 3:** Análise de variância das características químicas do substratos (LE, BC300 e BC500) utilizados na produção de mudas *E. velutina*. em viveiro.

Fonte de variação	Valores de Quadrados Médios					
	GL	K	P	Ca	Mg	Al
Resíduos (F1)	2	1078,28**	20662,61*	0,15 <sup>ns</sup>	0,25**	0,13**
Incorporações (F2)	4	13302,01**	499815,59**	26,18**	0,52**	0,011**
F1 X F2	8	1819,46**	44402,80**	2,39**	0,90**	0,018**
Fat x Testemunha	1	24317,18**	642957,85**	28,05**	0,36**	0,032**
Resíduo	32	47,06	4815,62	0,14	0,006	0,0017

Fonte de variação	Valores de Quadrados Médios					
	GL	H+Al	CTC	pH em CaCl <sub>2</sub>	pH (H <sub>2</sub> O)	V%
Resíduos (F1)	2	27,96**	26,46**	0,83**	1,18**	244,69**
Incorporações (F2)	4	25,72**	123,82**	0,25**	0,25**	548,52**
F1 X F2	8	2,34**	4,18**	0,18**	0,25**	164,02**
Fat x Testemunha	1	64,08**	202,78**	0,03 <sup>ns</sup>	1,04**	1331,17**
Resíduo	32	0,19	0,55	0,009	0,02	4,83

GL – graus de liberdade; \* e \*\* - significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo.

A interação entre os fatores estudados e a testemunha foram significativas ( $p < 0,01$ ) pelo teste “F”, para todas as variáveis estudadas, exceto para o pH em CaCl<sub>2</sub> (tabela 3), mostrando que a incorporação de lodo de esgoto e biochar, em qualquer uma das composições, apresentam bons resultados com relação aos componentes químicos do substrato.

Os valores de K apresentaram aumentos lineares e significativos de acordo com o aumento das incorporações utilizadas dos resíduos BC300 e BC500, ocorrendo uma variação de 53,63 a 173,57 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 4). Já para o resíduo LE, não houve o mesmo comportamento, não sendo ajustado o modelo de regressão correspondente. Contudo, menor teor deste elemento foi verificado na menor composição de incorporação. Segundo

Kookana et al. (2011), quando aplicado biochar no solo, pode proporcionar aumento na disponibilidade de potássio, Yao et al. (2010), também observaram incrementos no teor de potássio no solo com a aplicação de biochar.

**Tabela 4:** Atributos químicos do substrato de mudas *E. velutina*, com suas respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Resíduos	Incorporações					Equações de regressão	$R^2$
	10%	20%	30%	40%	50%		
<b>K (mg/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	70,77 aC	136,6 aA	147,40 bA	109,40 cB	139,83 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=120,81$	NS
BC300	53,63 bD	72,47 cC	111,77cB	161,80 aA	173,00 aA	$\hat{Y}=16,113+3,280^{**}X$	0,96**
BC500	63,36 aE	115,77 bD	161,77 aB	142,10 bC	173,57aA	$\hat{Y}=57,29+2,47^{*}X$	0,79*
<b>P (mg/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	159,03 aD	387,50 aC	522,53bB	514,37 aB	1025,00aA	$\hat{Y}=-35,96+18,59^{*}X$	0,86*
BC300	138,03aC	451,07aB	439,87 bB	540,00 aB	695,00bA	$\hat{Y}=91,93+12,09^{*}X$	0,87*
BC500	140,50 aC	290,03 bB	638,67 aA	625,00 aA	622,33bA	$\hat{Y}=73,72+12,99^{*}X$	0,77*
<b>Ca (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	1,50 aC	3,17 aB	3,40 bB	3,73 bB	5,23 bA	$\hat{Y}=1+0,08^{**}X$	0,90**
BC300	0,80 aD	2,03 bC	2,33 cC	4,50 aB	6,67 aA	$\hat{Y}=-1,04+0,14^{**}X$	0,92**
BC500	1,17 aE	1,90 bD	4,57 aB	3,30 bC	5,27 bA	$\hat{Y}=0,36+0,09^{*}X$	0,77*
<b>Mg (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	0,13 Ac	0,43 aB	0,20 cC	0,27 cC	0,67 cA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,34$	NS
BC300	0,20 aD	0,40 aC	0,37 bC	0,77 aB	1,10 aA	$\hat{Y}=-0,08+0,02^{*}X$	0,89*
BC500	0,23 aD	0,40 aC	0,80 aA	0,57 bB	0,80 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,56$	NS
<b>Al (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	0,10 bC	0,10 aC	0,30 aA	0,30 aA	0,20 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,2$	NS
BC300	0,20 aA	0,10 aB	0,17 bA	0,03 bB	0,03 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,11$	NS
BC500	0,03bA	0,00 bA	0,00 cA	0,03 bA	0,00 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,01$	NS
<b>H+Al (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	5,87 aE	7,07 aD	9,40 aC	10,73 aB	11,57 aA	$\hat{Y}=4,41+0,150^{**}X$	0,97**
BC300	5,33 aD	6,70 aC	7,77 bB	8,37 bB	10,30 bA	$\hat{Y}=4,211+0,12^{**}X$	0,97**
BC500	5,30 aB	5,70 bB	5,60 cB	7,10 cA	7,30 cA	$\hat{Y}=4,58+0,05^{*}X$	0,84*
<b>pH em CaCl<sub>2</sub></b>							
LE	4,60 aA	4,73 bA	4,60 bA	4,53 bA	4,67 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=4,63$	NS
BC300	4,37 bC	4,63 bB	4,67 bB	5,03 aA	5,13 aA	$\hat{Y}=4,19+0,02^{**}X$	0,95**
BC500	4,73 aD	5,00 aC	5,57 aA	4,93 aC	5,20 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=5,08$	NS
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>							
LE	4,90 bB	5,13 bA	4,83 bB	4,77 bB	4,97 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=4,92$	NS
BC300	4,53 cC	5,00 bB	4,90 bB	5,23 aA	5,40 aA	$\hat{Y}=4,42+0,02^{*}X$	R=0,87*
BC500	5,17 aC	5,37 aB	6,03 aA	5,20 aC	5,47 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=5,45$	NS
<b>CTC (cmolc/dm<sup>3</sup>)</b>							
LE	7,67 aE	11,00 aD	13,40 aC	15,03 aB	17,80 aA	$\hat{Y}=5,69+0,24^{**}X$	0,98**
BC300	6,43 aD	9,33 bC	10,57 bC	14,03 aB	18,47 aA	$\hat{Y}=3,13+0,29^{**}X$	0,96**
BC500	6,83 aD	8,30 bC	11,37 bB	11,30 bB	13,83 bA	$\hat{Y}=5,23+0,17^{**}X$	0,94**
<b>V (%)</b>							
LE	23,33 aC	35,33 aA	30,00 bB	28,33 bB	35,00 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=30,39$	NS
BC300	17,00 bC	28,00 bB	26,33 bB	40,33 aA	44,00 aA	$\hat{Y}=11,23+0,66^{**}X$	0,91**
BC500	22,33 aD	31,33 bC	50,67 aA	37,00 aB	47,33 aA	$\hat{Y}=\bar{Y}=37,73$	NS

Letras minúsculas e distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; Letras maiúsculas e distintas na linha diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; \* e \*\* - significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo

As crescentes composições de incorporação aos substratos, promoveram o aumento nos teores de P (Tabela 4), caracterizando um aumento linear em todos os substratos, evidenciando o aumento da disponibilidade deste nutriente para a muda, à medida que se aumento a composição de incorporação de cada um dos resíduos.

Estes resultados corroboram com os estudos realizados por Faustino et al. (2005), que estudando o lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Senna siamea*, verificou que quanto maior sua incorporação no substrato, maior foi a concentração de P encontrada. Já Sousa e Figueiredo (2015), avaliando o biochar, testou doses crescentes, no cultivo de rabanete e observou que quanto maior as doses, maiores foram os teores de P encontrados no solo. Segundo Novais e Smyth (1999), o P é classificado como macronutriente, pela grande quantidade exigida pelas plantas, e ser o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa na maioria dos solos tropicais.

Baseando-se nos níveis de fertilidade de solo proposto por Ribeiro et al. (1999), os teores de P obtidos em todos os tratamentos incorporados com os resíduos de LE, BC300 e BC500 (valores variando de 138,03 a 1.025 mg/dm<sup>3</sup>), são classificados como níveis muito bons (>45 mg dm<sup>-3</sup>).

Os teores de Ca no substrato, também aumentaram significativamente no substrato das mudas com o aumento da adição dos resíduos (Tabela 4). A quantidade de cálcio apresentados nos substratos incorporados pelos resíduos são considerados adequados para os solos do Cerrado (SOUSA e LOBATO, 2004). De acordo com os níveis de interpretação de fertilidade do solo estabelecida por Alvarez et al. (1999), os valores de Ca obtidos nas maiores composições (40% e 50%) do resíduo BC300, são considerados muitos bons (>4,00 cmolc/dm<sup>3</sup>).

Os macronutrientes K, P e Ca apresentaram teores altos e crescentes de acordo com o aumento das composições de incorporação dos resíduos de biochar 300 e 500°C (Tabela 4), isso pode ser explicado de acordo com Gaskin et al. (2008), pelo fato que a concentração de tais nutrientes é aumentada com processo de pirólise do lodo de esgoto.

Diferentemente do P e Ca que se ajustaram ao modelo de regressão linear para os três resíduos estudados, o Mg apresentou valores diferentes para os três resíduos, sendo que apenas no resíduo BC300, verificou-se um comportamento linear, com valores variando de 0,20 a 1,10 cmolc/dm<sup>3</sup>, os demais resíduos apesar de não ter se ajustado a nenhum modelo de regressão, tiveram seus maiores níveis nos tratamentos de maiores incorporações (Tabela 4).

As concentrações dos macronutrientes K, P, Ca e Mg presentes nos substratos



incorporados tanto com lodo de esgoto quanto com biochar foram altas e houve pouca variação nos teores deste nutrientes.

Segundo Gaskin et al. (2008), os macronutrientes de P, K, Ca e Mg aumentam com o processo de pirólise. Também tem o fato que o biochar pode melhorar significativamente as propriedades físicas do substrato, contribuindo assim para um melhor desempenho das mudas. Dumroese et al. (2011), avaliando o biocarvão como componente de substrato na produção de mudas em tubetes, concluíram que o biochar proporcionou melhoria nas propriedades físicas do substrato, principalmente na condutividade hídrica e porosidade.

Para os teores de Al não se ajustou em nenhum modelo de regressão, devendo destacar que em todos os tratamentos houve uma variação dos valores deste elemento de 0,00 a 0,33 cmolc/dm<sup>3</sup> (Tabela 4). Essa concentração é classificada como muito baixa e adequada para o cultivo das culturas em geral (ALVAREZ et al., 1999). Níveis altos de Al é provavelmente o fator mais limitante ao crescimento e produção vegetal nos solos ácidos, pois este elemento pode inibir a divisão celular, diminuindo o índice mitótico das células meristemáticas do ápice das raízes, resultando na diminuição do comprimento e engrossamento das raízes (BELLO et al., 2012).

Já para os valores da acidez potencial (H+Al) ocorreu um efeito significativo na medida em que aumentaram as proporções incorporadas, se ajustando assim ao modelo de regressão linear para os três resíduos estudados, os valores variaram de 5,30 a 11,57 cmolc/dm<sup>3</sup> (Tabela 4).

Com relação os valores de pH, tanto os valores de pH em H<sub>2</sub>O, quanto os de pH em CaCl<sub>2</sub> não oscilaram muito entre os tratamentos, no geral variaram de 4,5 a 5,5. Portanto, em nenhum dos resíduos se ajustaram aos modelos de regressão. Segundo Kämpf (2000), a faixa ideal recomendada para o pH de substratos onde predomina a matéria orgânica é de 5,0 a 5,8. Este resultado evidencia que os substratos incorporados com diferentes proporções de lodo de esgoto e de biochar não provocou grandes alteração no pH.

Em geral, quanto maior a temperatura de pirólise, mais elevado será o pH do biochar (ZHAO et al, 2013; ZHANG et al, 2015). Fato este que não se confirmou nesta pesquisa, uma vez que tanto o pH registrado no biochar produzido na temperatura de 300°C pirólise quanto no de 500°C não apresentaram variações significativas (Tabela 1 e 4)

Os valores da CTC do solo aumentaram linearmente na medida em que se aumentou a composição de incorporação, sendo que o BC500 o resíduo que apresentou os

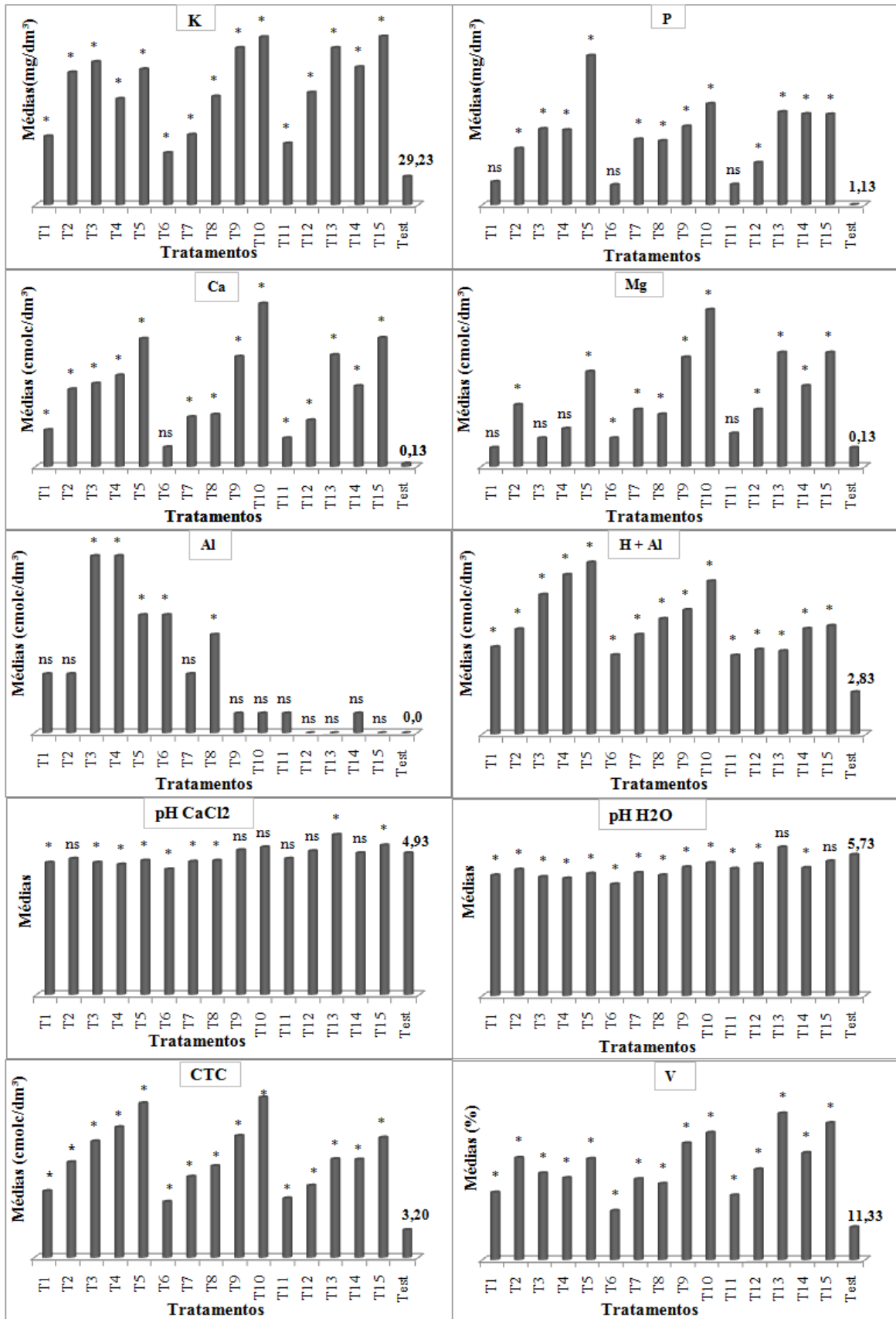
menores valores (Tabela 4). Os valores menores obtidos pelo BC500 em relação ao BC300, também foi verificado por Méndez et al. (2013), que verificaram uma diminuição do valor da CTC com o aumento da temperatura de pirólise do biochar. Segundo Sousa e Figueiredo (2015), esta é uma propriedade fundamental para solos extremamente intemperizados e ácidos como os que predominam no Cerrado brasileiro. Uma provável explicação para os valores crescentes de CTC verificados na medida em que se aumentou a proporção dos resíduos incorporados aos substratos, pode ser o aumento da quantidade de matéria orgânica incorporada, uma vez que quanto maior a proporção do resíduo maior a quantidade de matéria orgânica. Segundo Carneiro (1995), o aumento da CTC está relacionado principalmente ao aumento do teor de matéria orgânica, contudo afirma que esse efeito pode variar de acordo com a fonte de matéria orgânica.

Com relação à soma de bases, apenas o BC300 se ajustou ao modelo de regressão linear. Os demais resíduos não tiveram um padrão na variação de seus dados, mesmo assim seus maiores valores foram obtidos nas maiores composições de incorporação (Tabela 4).

Na figura 6 estão apresentados os resultados do teste Dunnett para comparação entre as médias de todos os tratamentos com a média da testemunha para todas as variáveis químicas do substrato estudadas. O teste Dunnett é utilizado para comparar o tratamento controle ou testemunha com os outros tratamentos de interesse testados de forma individualizados.

Sendo assim, em todas as características químicas avaliadas, pode-se observar que as médias de todos os tratamentos foram diferentes significativamente ao nível de 5% de probabilidade da média da testemunha, com apenas algumas exceções como foi o caso nas médias das menores incorporações que em determinadas variáveis não apresentaram diferença significativa em relação à testemunha, como a variável Al que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos do resíduo BC500 e a testemunha. Quando se analisa especificamente os macronutrientes (K, P, Ca e Mg), fica evidente que quanto maior for a incorporação de lodo de esgoto e de biochar ao solo, maior é o aumento da concentração destes nutrientes no substratos.

Na testemunha o teor médio de K foi de 29,23 mg/dm<sup>3</sup>, este valor foi inferior aos tratamentos com incorporação e significativamente diferente. O teor de P presente na testemunha foi de 1,13 mg/dm<sup>3</sup> (Figura 6), este teor é extremamente inferior aos demais tratamentos que variaram de 138,03 a 1025 mg/dm<sup>3</sup>. O teor de Ca foi de 0,13 cmolc/dm<sup>3</sup>, valor esse muito abaixo do nível considerado adequado.



\*: A média do tratamento é diferente estatisticamente a média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett. ns: A média do tratamento é igual estatisticamente a média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

**Figura 6:** Valores médios das características químicas do substrato de mudas de *E. velutina*, com composições de incorporação de resíduos orgânicos.

E não diferente do comportamento ocorrido nos demais macronutrientes avaliados até aqui, o Mg foi encontrado em baixíssima concentração no tratamento testemunha, apresentado um valor de  $0,13 \text{ cmolc/dm}^3$  (Figura 6).

A testemunha apresentou zero de concentração Al, e a incorporação dos diferentes resíduos não provocou uma elevação do Al ao ponto de torná-lo um limitante no desenvolvimento das mudas (Figura 6).

A acidez potencial (H+Al) da testemunha foi diferente significativamente de todos os tratamentos com composições de incorporação, com valores superiores à testemunha, a qual obteve um valor médio de 2,83% (Figura 6).

O pH do tratamento testemunha foi de 4,93 (pH em  $\text{CaCl}_2$ ) e de 5,75 (pH em  $\text{H}_2\text{O}$ ). Já os valores da CTC no tratamento testemunha foi no mínimo duas vezes inferior aos dos demais tratamentos. Os valores da soma de bases saíram de 11,3% da testemunha, para uma média de 37,73 nos tratamentos do BC500.

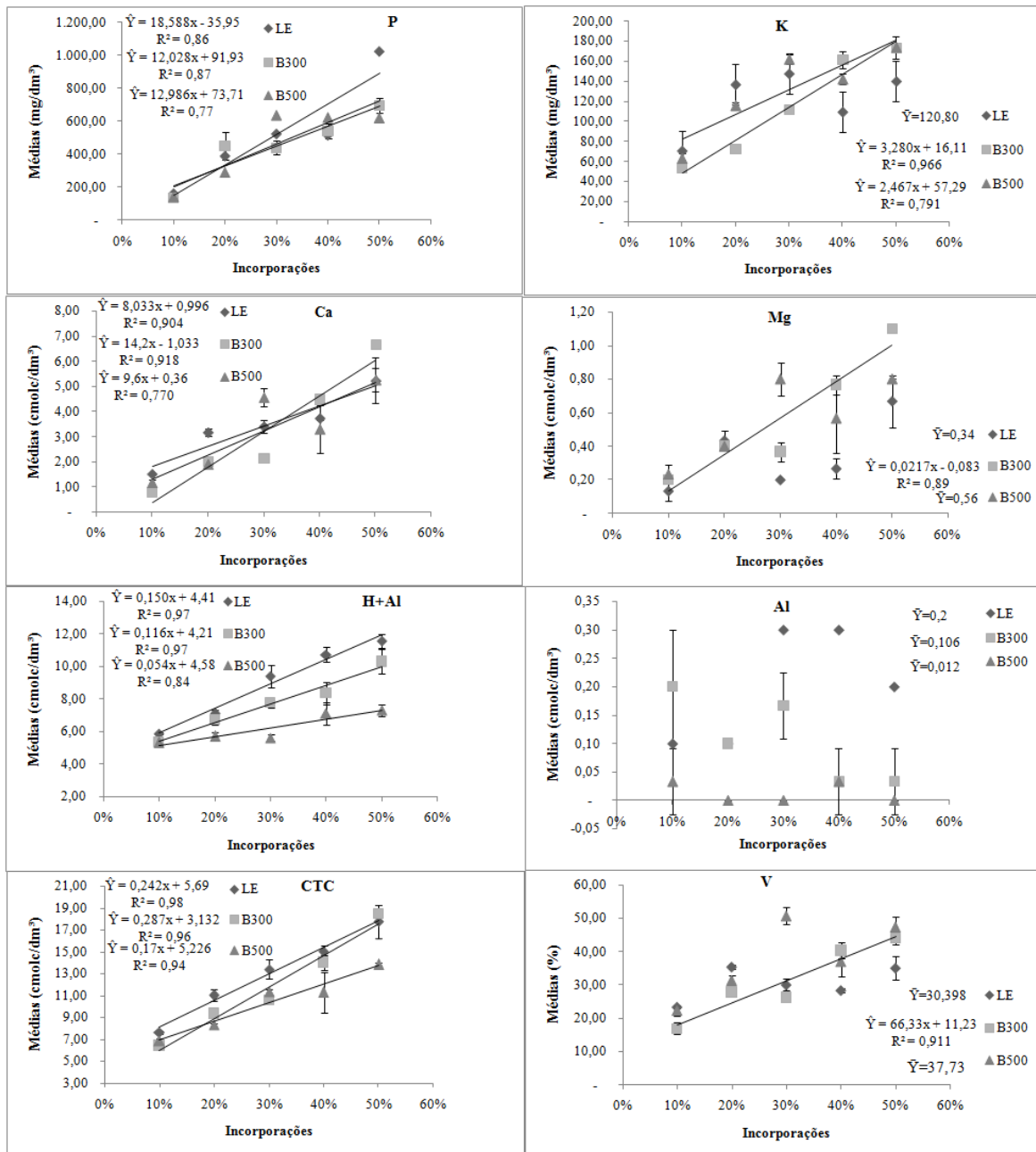
Para as variáveis relacionadas a acidez do solo como H+Al e Al, o resíduo de lodo de esgoto apresentou valores superiores aos do Biochar tanto o BC300 quanto o BC500. O mesmo ocorreu com a CTC do solo, na qual os maiores valores foram apresentados pelo lodo de esgoto, seguidos pelo BC300 e BC500.

A partir da análise da figura 7, é possível visualizar mais facilmente o crescimento das médias das variáveis químicas do substrato, na medida em que se aumentou a proporção dos resíduos incorporados no substrato.

De forma geral as incorporações de lodo de esgoto e de biochar aos substratos promoveram o aumento dos conteúdos dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg), manteve os componentes da acidez do solo (pH, Al e H+Al) em equilíbrio e cresceu os valores dos indicadores de fertilidade do solo (CTC e saturação por bases). Estes dados ficam mais evidentes quando se compara com os valores obtidos pela testemunha, a qual é formada de 100% de solo de Cerrado (Tabela 3 e Figuras 7 e 6). Sendo assim, estes resíduos promovem melhorias nas condições dos substratos que permitiram um melhor desenvolvimento na fase inicial de crescimento das mudas de *E. velutina*.

Inúmeras pesquisas têm sido publicadas evidenciando o aumento da fertilidade do solo e substratos a partir da aplicação de lodo de esgoto ou de biochar (LIU et al., 2014;

SMIDER e SINGH, 2014; ORAM et al., 2014; SOINNE et al., 2014; TAMMEORG et al., 2014; SOUSA e FIGUEIREDO, 2015).



**Figura 7:** Características químicas do substrato de mudas de *E. velutina* com diferentes composições de incorporação de lodos de esgoto e biochar.

## 5.2 - ANÁLISE FOLIAR

Ocorreram respostas significativas a 5% de probabilidade pelo teste F para a interação entre as composições de incorporação e os diferentes resíduos, exceto para o macronutriente K, que não apresentou efeito significativo para interação entre os fatores.

Além dos nutrientes N, K e Ca que não apresentaram efeito entre as incorporações (Tabela 5).

**Tabela 5:** Análise de variância para os atributos químicos das folhas das mudas de *E. velutina*.

Fonte de Variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		N	P	K	Ca	Mg
Resíduos (F1)	2	192,60**	2,17**	83,89**	85,09**	77,34**
Incorporações (F2)	4	39,13ns	0,74**	7,02ns	3,70ns	2,94*
F1 X F2	8	62,87**	1,43**	7,02ns	14,02**	6,00**
Fat x Testemunha	1	539,59**	6,65**	65,70**	9,29ns	41,52**
Resíduo	32	16,97	0,16	4,07	3,64	1,08

Fonte de variação	GL	Valores de Quadrados Médios			
		S	Cu	Fe	Mn
Resíduos (F1)	2	3,18**	57,86**	18.039,62**	40.359,80**
Incorporações (F2)	4	1,84ns	11,13*	26.092,09**	724,42**
F1 X F2	8	1,03**	36,95**	61.582,21**	668,36**
Fat x Testemunha	1	2,99**	86,11**	245.606,67**	5.797,01**
Resíduo	32	0,15	3,25	2.773,88	173,20

Fonte de variação	GL	VALORES DE QUADRADOS MÉDIOS	
		Zn	Bo
Resíduos (F1)	2	3.244,29**	7.813,80**
Incorporações (F2)	4	500,19*	1.267,26**
F1 X F2	8	916,46**	1.768,36**
Fat x Testemunha	1	338,94ns	667,01ns
Resíduo	32	151,25	8.020

GL – graus de liberdade; \* e \*\* - significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo.

Os teores de P nas folhas das mudas *E. velutina* (Tabela 6), em nenhum dos resíduos se ajustaram aos modelos de regressão, ocorrendo uma pequena variação entre os tratamentos com valores variando de 2,97 a 5,55 g/kg. Sendo que nos tratamentos com lodo de esgoto, os maiores teores foram constatados nos tratamentos de menor incorporação, já no resíduo BC300, não obteve-se diferença significativa entre nenhum de seus tratamentos, e os valores para o resíduo BC500 obteve o maior resultado na maior incorporação. Os teores crescentes de P, encontrados nos substratos na medida em que se aumentaram as proporções dos resíduos, não refletiu o mesmo comportamento nos valores encontrados nas folhas de *E. velutina*. Diferentemente deste comportamento apresentado neste estudo, Sousa e Figueiredo (2015), avaliando o biochar de lodo de esgoto, através da incorporação de doses crescentes de biochar no solo para o cultivo de rabanete, observou que quanto maior as doses de biochar, maiores foram os teores de P encontrados tanto no

solo quanto nas folhas, evidenciando que os altos teores do nutriente obtidos no solo se reproduziu nas folhas.

No tratamento testemunha a concentração de P foi de 2,1 g/kg (Figura 8), este resultado é inferior aos maiores resultados obtidos pelos demais tratamentos, no entanto, quando se compara os teores de P encontrados neste estudo, em todos os tratamentos incorporados com lodo de esgoto ou biochar, bem como na testemunha com os teores considerados adequados para as essências florestais sugeridos por Malavolta et al. (1997), estão em sua grande maioria acima da faixa ideal que varia de 1,0 a 2,3 g/kg. Não tendo havido portanto deficiência deste nutriente para as mudas de *E. Velutina*.

A incorporação das doses crescentes de lodo de esgoto e do BC500, não influenciaram significativamente nos teores de N nas folhas, nos quais não se constatou ajuste nos modelos de regressão, mas houve efeito significativo para o resíduo BC300, que se ajustou ao modelo linear (Tabela 6). Os teores de N variaram de 29,07 a 47,30 g/Kg, sendo que no geral os tratamentos com as maiores proporções dos resíduos incorporados aos substratos, obtiveram os maiores teores, já a testemunha obteve uma média de 23,07 g/kg, este teor é inferior a grande maior parte dos demais tratamentos. Segundo Malavolta et al. (1997), estes resultados são suficientes para suprir as necessidades de espécies florestais.

As doses crescentes dos três resíduos testados não provocaram efeito significativo nos valores obtidos de K nas folhas de *E. Velutina*, tendo seus valores variando de 7,53 a 13,97g/Kg, ocorreu variação entre os resíduos e não variou entre as incorporações. Os tratamentos com lodo de esgoto obtiveram os melhores desempenhos, seguidos pelo BC300 e por último o BC500 (Tabela 6), o teor deste nutriente obtido pela testemunha foi de 6,27 g/kg (Figura 8), tendo como base o teste dunnnett apresentado na figura 8 considera-se que não há diferença significativa entre a média da testemunha e as médias de quase todos os tratamentos incorporados com biochar, sendo considerado diferente apenas entre os tratamentos incorporados com lodo de esgoto.

Comparados com os teores considerados ideais para as essências florestais, sugeridos por Malavolta et al. (1997), apenas o resíduo BC500 não obteve valores K dentro da faixa de 10 a 14 g/kg. É importante ressaltar que apesar dos teores de K nos substratos terem apresentados valores superiores para os tratamentos com o biochar (Tabela 4), o mesmo comportamento não ocorreu nas concentrações encontradas nas folhas, tendo em vista que os maiores resultados foram obtidos pelos tratamentos incorporados com lodo de esgoto. Diferentemente dos resultados obtidos neste trabalho, Oram et al. (2014),

estudando a correção do solo com biochar, concluiu que doses crescentes de biochar oriundo de madeira elevaram os teores de potássio nas plantas.

O comportamento dos teores Mg presente nos substratos se repetiu nos teores encontrados nas folhas de *E. velutina*, que também foram semelhante ao comportamento do N, em que as doses crescentes do resíduo BC300 refletiu um crescimento linear nos teores de Mg, na medida em que se aumentou a proporção incorporada deste resíduo ao substrato. Já o lodo de esgoto e o BC500 praticamente não apresentaram diferença entre as diferentes proporções, sendo que os teores presentes nos tratamentos com lodo de esgoto, foram muito inferiores aos do biochar (Tabela 6). A concentração de Mg no tratamento testemunha, foi superior a todos os tratamentos incorporados com os resíduos de lodo de esgoto e biochar (Figura 8). Este resultado difere do estudo realizado por Sousa e Figueiredo (2015), em que qualquer dose de biochar incorporada ao solo proporcionou teores de Mg superior ao da testemunha.

Ao contrário do que ocorreu com os teores de Ca nos substratos, que se ajustou ao modelo de regressão linear para ambos os resíduos, nas folhas a absorção deste nutriente não seguiu o mesmo comportamento, ocorrendo uma pequena variação entre os valores dentro de cada resíduo, como foi o caso do BC500, que em todas as proporções foram consideradas iguais significativamente (Tabela 6). Apesar de não ter havido o crescimento proporcional aos aumentos das doses, os resultados de Ca ficaram todos acima da faixa considerada adequada para as essenciais florestais (MALAVOLTA et al., 1997). A concentração deste nutriente presente na testemunha, foi considerado estatisticamente igual a quase todos as médias dos demais tratamentos (Figura 8).

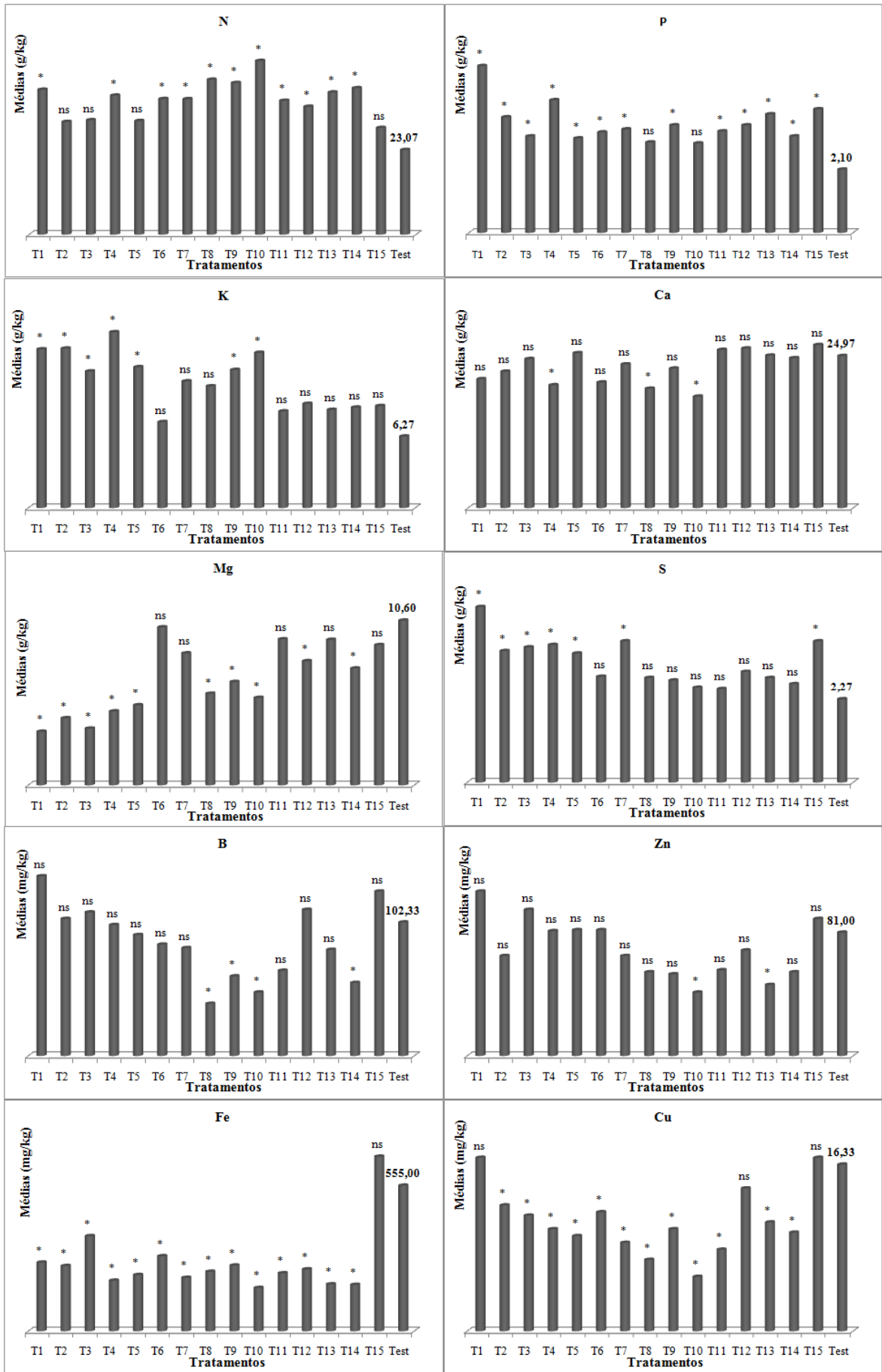
Os valores de S nas folhas de *E. Velutina* não seguiram nenhum padrão de comportamento com a incorporação das doses crescentes dos resíduos estudados, sendo que de forma geral, houve pouca variação dos valores entres todos os tratamentos, se destacando as mudas produzidas nos substratos incorporados com lodo de esgoto apresentando os maiores teores de enxofre nas folhas (Tabela 6). De forma geral, não houve efeito significativo dos teores de S nas folhas de *E. Velutina* com o aumento das doses de biochar, este resultado também foi observado por Sousa e Figueiredo (2015), que testou doses crescentes de biochar no solo para o cultivo de rabanete, e concluíram que os teores de enxofre nas folhas de rabanete não foram alterados. A testemunha apresentou um teor inferior apenas aos tratamentos de lodo de esgoto (Figura 8).



**Tabela 6:** Características químicas das folhas de *E. velutina* e respectivas equações de regressão, em função das composições de incorporações (%) e resíduos orgânicos.

Resíduos	Incorporações					Média	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	10%	20%	30%	40%	50%			
<b>N (g/Kg)</b>								
LE	39,47 aA	30,70 aB	31,17 bB	37,87 aA	30,93 bB		$\bar{Y}=\bar{Y}=34,03$	NS
BC300°	36,93 aB	36,90 aB	42,20 aA	41,30 aA	47,30 aA		$\hat{Y}=33,384+0,251X^*$	R=0,85*
BC500°	36,47 aA	34,83 aA	38,73 aA	39,90 aA	29,07 bB		$\bar{Y}=\bar{Y}=35,79$	NS
<b>P (g/Kg)</b>								
LE	5,53 aA	3,83 aC	3,20 bD	4,40 aB	3,13 bD		$\bar{Y}=\bar{Y}=4,02$	NS
BC300°	3,33 bA	3,43 aA	3,00 bA	3,57 bA	2,97 bA		$\bar{Y}=\bar{Y}=3,26$	NS
BC500°	3,37 bB	3,57 aB	3,93 aA	3,20 bB	4,10 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=3,63$	NS
<b>K (g/Kg)</b>								
LE	13,9	13,97	11,97	15,4	12,33	<b>13,51 a</b>	$\bar{Y}=\bar{Y}=13,51$	NS
BC300°	7,533	11,1	10,67	12,1	13,6	<b>11 b</b>	$\bar{Y}=\bar{Y}=11,00$	NS
BC500°	8,467	9,13	8,6	8,8	8,93	<b>8,79 c</b>	$\bar{Y}=\bar{Y}=8,79$	NS
<b>Média</b>	<b>9,96 a</b>	<b>11,40 a</b>	<b>10,41 a</b>	<b>12,10 a</b>	<b>11,62 a</b>			
<b>Ca (g/Kg)</b>								
LE	21,17 bB	22,40 aB	24,47 aA	20,17 bB	25,43 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=22,72$	NS
BC300°	20,63 bB	23,60 aA	19,60 bB	22,90 aA	18,30 bB		$\bar{Y}=\bar{Y}=21,00$	NS
BC500°	25,97 aA	26,20 aA	25,03 aA	24,60 aA	26,77 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=25,71$	NS
<b>Mg (g/Kg)</b>								
LE	3,43 bA	4,30 bA	3,63 cA	4,73 bA	5,13 bA		$\bar{Y}=\bar{Y}=4,24$	NS
BC300°	10,17 aA	8,50 aA	5,87 bB	6,67 aB	5,60 bB		$\hat{Y}=10,653-0,109X$	R=0,80*
BC500°	9,40 aA	8,00 aA	9,37 aA	7,53 aA	9,03 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=8,67$	NS
<b>S (g/Kg)</b>								
LE	4,80 aA	3,60 aB	3,70 aB	3,77 aB	3,53 aB		$\bar{Y}=\bar{Y}=3,88$	NS
BC300°	2,90 bB	3,87 aA	2,87 bB	2,8 bB	2,60 bB		$\bar{Y}=\bar{Y}=3,01$	NS
BC500°	2,57 bB	3,03 bB	2,87 bB	2,70 bB	3,87 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=3,01$	NS
<b>B (g/Kg)</b>								
LE	137,67 aA	105,00 aB	110,00 aB	100,33 aB	92,67 bB		$\hat{Y}=137,53-0,95X$	R=0,76*
BC300°	85,33 bA	82,67 aA	40,00 cB	61,00 bB	48,67 cB		$\bar{Y}=\bar{Y}=63,53$	NS
BC500°	65,33 bB	112,00 aA	81,33 bB	56,00 bB	126,0aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=88,132$	NS
<b>Zn (mg/Kg)</b>								
LE	108,00 aA	65,67 aB	96,00 aA	82,00 aB	82,67 aB		$\bar{Y}=\bar{Y}=86,87$	NS
BC300°	82,67 bA	65,67 aA	55,00 bB	53,67 bB	41,67 bB		$\hat{Y}=87,936-0,94X^{**}$	R=0,93**
BC500°	56,33 cB	69,33 aB	46,67 bB	55,00 bB	90,00 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=63,45$	NS
<b>Mn (mg/Kg)</b>								
LE	31,33 cA	37,33 cA	32,67 bA	37,67 bA	51,67 bA		$\bar{Y}=\bar{Y}=38,13$	NS
BC300°	80,00 bB	122,33 bA	125,00 aA	133,00 aA	137,33 aA		$\hat{Y}=81,9+1,25X^{**}$	R=0,75**
BC500°	135,33aA	149,00 aA	131,00 aA	135,67 aA	121,67 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=134,53$	NS
<b>Cu (mg/Kg)</b>								
LE	17,00 aA	12,33 aB	11,33 aB	10,00 aB	9,33 bB		$\hat{Y}=17,29-0,177X$	R=0,85*
BC300°	11,67 bA	8,67 bA	7,00 bB	10,00 aA	5,33 cB		$\bar{Y}=\bar{Y}=8,53$	NS
BC500°	8,00 cB	14,00 aA	10,67 aB	9,67 aB	17,00 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=11,87$	NS
<b>Fe (mg/Kg)</b>								
LE	262,00 aB	249,00aB	362,67 aA	193,00 aB	214,67bB		$\bar{Y}=\bar{Y}=256,27$	NS
BC300°	286,00 aA	203,66aA	227,00 bA	250,67 aA	165,33 bA		$\bar{Y}=\bar{Y}=226,53$	NS
BC500°	221,00 aB	236,00 aB	179,00 bB	177,00 aB	665,33 aA		$\bar{Y}=\bar{Y}=295,67$	NS

Letras minúsculas e distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; Letras maiúsculas e distintas na linha diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; \* e \*\* - significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo



\*: A média do tratamento é diferente estatisticamente a média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett. ns: A média do tratamento é igual estatisticamente a média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.

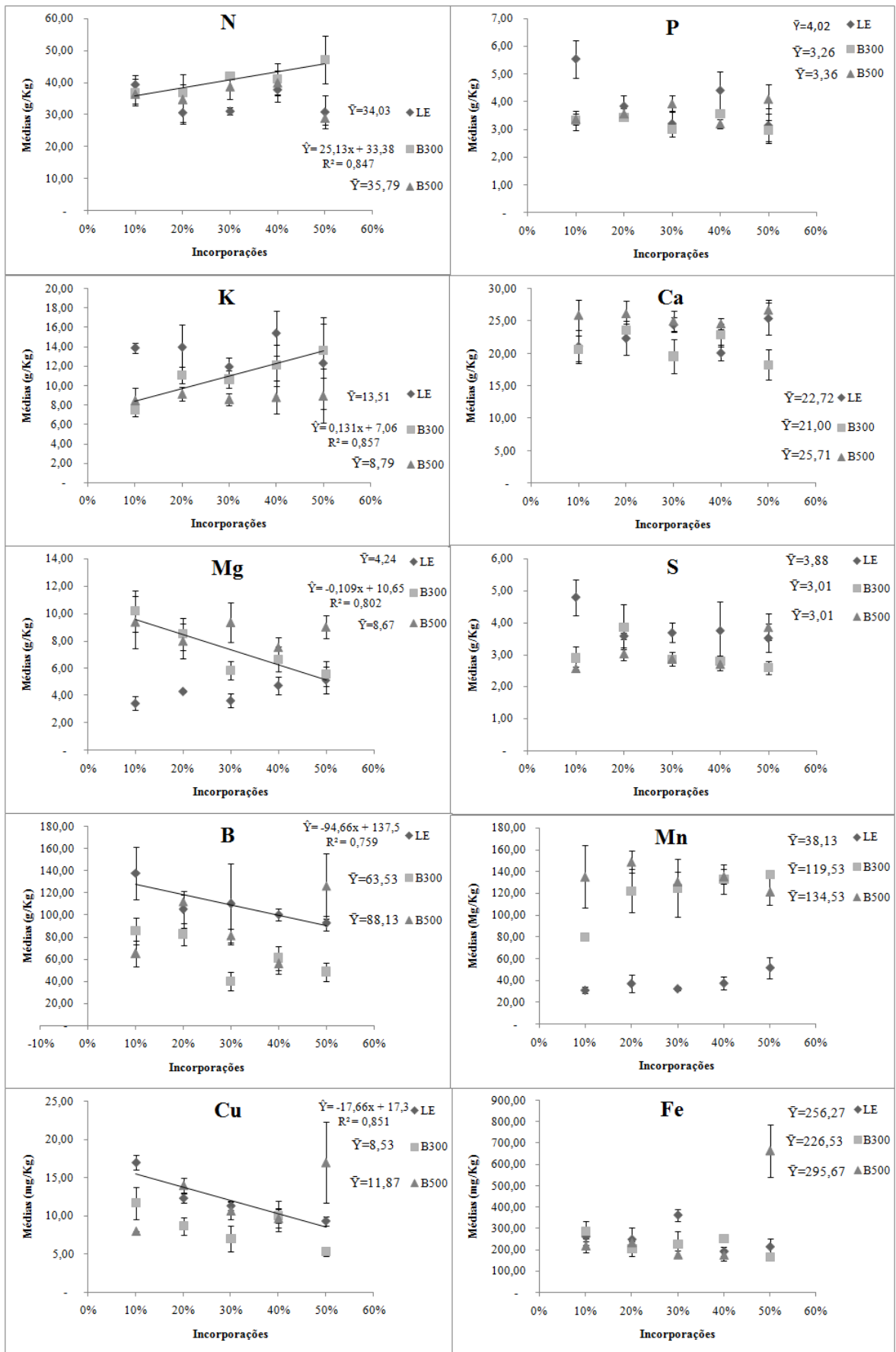
**Figura 8:** Teste Dunnett para comparação das médias dos tratamentos incorporados com resíduos com a da testemunha, dos teores de macro e micronutrientes das folhas de *E. Velutina*.

A incorporação de doses crescentes de LE e BC300 reduziu significativamente os teores dos micronutrientes B, Zn e Cu absorvidos pelas mudas de *E. Velutina*, na medida em que se aumentaram as doses incorporadas nos substratos, tendo seus teores reduzidos pela metade com o aumento da dose de 10% para a de 50%. Já as doses do resíduo BC500 não seguiram o mesmo comportamento, se caracterizando com uma pouca variação nas diferentes doses, mas tendo obtido o maior teor no tratamento de maior incorporação (50%) (Tabela 6).

A redução dos teores destes micronutrientes nas folhas na medida em se aumenta as doses de LE e BC300, mostra que pequenas doses desses resíduos supri a necessidades das mudas para tais nutrientes, com tudo de forma antagônica a maior dose de BC500, proporcionou uma maior absorção dos mesmos nutrientes nas mudas *E. Velutina*. Para ambos os nutrientes, os teores encontrados, estão dentro da faixa de variação considerada adequada para espécies florestais (MALAVOLTA et al., 1997). Outra peculiaridade recorrente nos micronutrientes B, Zn e Cu, foi o fato em que na testemunha os teores destes nutrientes foram de forma geral igual ou até mesmo superior os tratamentos incorporados com os resíduos estudados (Figura 8).

O Mn teve um resultado atípico com relação aos demais nutrientes analisados, uma vez que, não apresentou diferença significativa entre as incorporações dentro de cada resíduo, havendo apenas a diferença entre os resíduos, na qual os tratamentos com os resíduos BC300 e BC500 se destacaram com os maiores teores presentes nas folhas de *E. Velutina*, obtendo valores variando de 80 a 149 mg/kg, enquanto os tratamentos com LE variaram de 31,33 a 51,63 mg/kg (Tabela 6)

O Fe foi o micronutriente que apresentou uma maior concentração nas folhas, entre todos os avaliados nesta pesquisa, tendo os valores variando de 165,33 a 665,33 mg/kg (Tabela 6), sendo que a testemunha apresentou um teor ainda maior do que a maioria dos demais tratamentos (Figura 8). Este resultado pode ser o reflexo dos altos teores de Fe presentes nos substratos utilizados, com relação os demais micronutrientes (Tabela 1).



**Figura 9:** Gráficos de linha com barras de erros, mostrando a dispersão dos dados no entorno da média dos resultados dos macro e micronutrientes das folhas de *E. Velutina*.

Com relação comportamento dos teores do micronutriente Fe, quando se analisa os diferentes resíduos e as doses crescentes incorporadas aos substratos, pode-se observar que os dados não se ajustaram aos modelos de regressão e nem diferenciaram de forma significativa entre os resíduos e as doses estudadas.

Na figura 9 são expostos os gráficos de dispersão dos teores médios dos nutrientes presentes nas folhas de *E. Velutina* produzidas em substratos incorporados com diferentes doses de lodo de esgoto e de biochar, bem como expõe as barras de erros entorno das médias, os modelos de regressão quando os dados se ajustaram e a média geral para cada resíduo nos casos em que não houve ajuste em nenhum dos modelos de regressão. A partir da análise de todas essas informações evidenciam que a variação dos dados foi pequena, ocorreu poucos casos que os dados se ajustaram aos modelos de regressão e por último, fica claro, que as concentrações dos macro e micronutrientes presentes nas folhas não diferiram drasticamente com o uso dos diferentes resíduos testados, com exceção apenas do Mg e Mn, os quais os tratamentos formados com lodo de esgoto apresentaram teores bastantes inferiores dos tratamentos incorporados com biochar.

### **5.3 - PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E QUALIDADE DAS MUDAS**

Para todas as características morfológicas observou-se que a interação entre os fatores resíduos (LE, BC300 e BC500) e composições de incorporações 10%, 20%, 30%, 40% e 50%) foi significativa a 1% de probabilidade pelo teste “F”. O efeito também foi significativo para os tipos de resíduos e para as diferentes incorporações (Tabela 7). Os parâmetros morfológicos de desenvolvimento inicial, tais como altura da parte aérea, diâmetro de coleto e massa seca, são características utilizadas como critério na avaliação da qualidade de mudas (CALDEIRA et al., 2007; TRAZZI et al., 2010).

No desdobramento das interações, para a variável DC, verificou-se ajuste aos modelos de regressão apenas para o resíduo biochar produzido a 500<sup>0</sup>C, a qual se ajustou ao modelo linear:  $\hat{Y} = 16,859 + 0,069X$  ( $R^2 = 0,91^{**}$ ), tendo seu máximo desempenho obtido pelo tratamento BC500-50%, com o resultado médio de 20,71 mm de DC. Os demais resíduos (LE e BC300) obteve médias sem muita variação, à partir da incorporação 20% (Tabela 8). Quando comparamos esses dados com os resultados obtidos pela testemunha, observa-se que apenas os tratamentos T1, T3 e T4, correspondente respectivamente aos tratamentos incorporados com 10, 30 e 40% do resíduo lodo de

esgoto, não apresentaram diferença significativa com relação à média da testemunha (Figura 10).

**Tabela 7:** Análise de variância dos parâmetros morfológicos e qualidades das mudas de *E. Velutina* em viveiro.

Fonte de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		DC	H	NF	MSR	MSPA
Resíduos (F1)	2	129,73**	7.689,88**	246,48**	129,88**	1.958,17**
Incorporações (F2)	4	17,84**	2.561,61**	155,78**	39,23**	379,56**
F1 X F2	8	17,87**	361,10**	29,52**	8,59**	178,21**
Fat x Testemunha	1	110,78**	4.101,97**	251,55**	93,33**	972,96**
Resíduo	32	3,2	64,73	9,64	2,36	22,45

Fonte de variação	GL	Valores de Quadrados Médios			
		MST	RHDC	RHMSPA	IQD
Resíduos (F1)	2	3.044,34**	14,67**	30,79**	51,73**
Incorporações (F2)	4	652,89**	5,59**	2,78 <sup>ns</sup>	11,96**
F1 X F2	8	198,77**	0,39*	4,01 <sup>ns</sup>	4,21**
Fat x Testemunha	1	1.669,38**	7,62**	106,43**	43,93**
Resíduo	32	27,35	0,16	2,26	1,32

GL – graus de liberdade; \* e \*\* - significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo.

Segundo Daniel et al. (1997), o DC é um parâmetro utilizado para indicar a capacidade de sobrevivência da muda no campo. Trabalhos publicados com a utilização de lodo de esgoto na composição de substratos apresentam similaridades com os resultados encontrados nesta pesquisa. Como foi o caso de Gomes et al. (2013), que estudando o lodo de esgoto como substratos para a produção de mudas de *Tectona grandis*, concluiu que incorporação de 40% de lodo de esgoto ao substrato foi a proporção que obteve melhor desempenho para a variável DC.

Assim como o DC, a variável H obteve seus melhores desempenhos nas maiores incorporações dos três resíduos estudados. O LE e o BC500 apresentaram um crescimento linear, tendo seu maior valor na incorporação 50%, já o BC300 teve os maiores valores na incorporação 40%, sendo que todos os resultados variaram de 14,04 a 56,98 cm (Tabela 8). Já a média da testemunha foi 15,51 cm, média essa considerada igual estatisticamente somente com as médias das primeiras incorporações do lodo de esgoto (Figura 10). Para Gomes et al. (2013), o efeito positivo do substrato enriquecido com resíduo proveniente de lodo de esgoto no crescimento em altura de mudas pode estar relacionado com a maior disponibilidade de P, Ca, Mg e K em níveis adequados ao crescimento das plantas.

Segundo Gomes e Paiva (2004), a altura é um dos parâmetros amplamente utilizados para classificação e seleção das plantas, no entanto, o tamanho ideal para o plantio está condicionado à espécie e ao sistema de plantio, além de ser influenciada pelas práticas utilizadas nos viveiros. Com tudo, esta variável pode não ser um bom indicativo quando observada isoladamente, considerando-se que uma muda alta e com diâmetro do coleto reduzido, poderá tombar facilmente logo após o plantio (GASPARIN et al., 2014).

Leite et al. (2014), avaliando o crescimento inicial de mudas da mesma espécie utilizada neste trabalho, com a mesma idade e condições similares obteve como seus melhores resultados, valores inferiores aos melhores desempenho obtido neste estudo para as variáveis DC e H.

Quando se trata da comparação entre os tipos de resíduos testados neste estudo, utilizando as variáveis DC e H como parâmetros, o resíduo BC300 e BC500, sempre obtiveram os melhores desempenhos na produção das mudas de *E. velutina* em quase todas as incorporações utilizadas, exceto no caso da incorporação 50% que para a variável DC, a média do LE foi igual estatisticamente a média do BC300 (Tabela 8). Baseando-se neste resultado fica evidente que a transformação do lodo de esgoto em biochar é promissora para utilização do mesmo na produção de mudas de *E. velutina*.

Quanto ao número de folhas, houve um efeito significativo na medida em que se aumentou a porcentagem dos resíduos incorporados ao substrato, tendo seu pico na maior porcentagem incorporada (50%) para os resíduos LE e BC500, já para o BC300 o melhor desempenho ocorreu na incorporação 40% (Tabela 8). Para esta variável tanto as primeiras incorporações do lodo de esgoto quanto à incorporação 10% de BC300 e BC500, apresentaram resultados iguais estatisticamente à média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett (Figura 10). Os resultados da variável NF tiveram seu comportamento semelhante ao ocorrido pela variável H e DC, isto mostra que os efeitos positivos ou negativos que ocorrem com uma determinada variável se reproduzem em todas as outras. José et al. (2005), citam a importância da variável NF na formação de mudas de alta qualidade, uma vez a quantidade de folhas reflete diretamente em superfície foliar, e conseqüentemente nas taxas fotossintéticas e evapotranspiração.

Com relação os valores de MSR, só houve um crescimento linear para as incorporações do resíduo BC300, ajustando assim ao modelo de regressão  $\hat{Y} = 3,084 + 0,109 * X$  ( $R = 0,80^*$ ), por meio deste modelo verificou-se que a máxima eficiência foi obtida na incorporação 50%, obtendo uma produção média de 8,6 g. Já o LE, a MSR não teve incremento significativo com o aumento das proporções incorporadas ao

substratos, sendo que todas as suas médias foram consideradas iguais estatisticamente pelo teste Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade. O resíduo BC500 teve seus melhores resultados nas incorporações 30%, 40% e 50% (Tabela 8). A média obtida pela testemunha para a variável MSR foi de 1,56 g, apesar de ser uma média baixa comparada à dos demais tratamentos, ela é considerada igual estatisticamente às médias das incorporações de 10,20, 30 e 40% do resíduo LE e da incorporação 10% do BC300 e BC500 (Figura 10).

De acordo com Gomes e Paiva (2004), a MSR é uma importante variável para prever a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no plantio no campo, afirma ainda que, quanto mais abundante o sistema radicular, maiores as chances de sobrevivência no campo.

Santos & Coelho (2013), estudando sombreamento e substratos na produção de mudas de *Erythrina velutina*, encontraram resultados para a variável MSR variando entre 2,72 a 4,52g. Estes resultados foram inferiores aos encontrados neste estudo que ficaram entre 2,75 a 8,6g. Apesar dos estudos estarem testando fatores diferentes, como a espécie utilizada é a mesma, essa comparação serve como referência para entendermos a dinâmica do desenvolvimento inicial da espécie e por fim podermos inferir com propriedade a respeito da qualidade da mudas.

Os resíduos de biochar incorporados ao substrato proporcionaram maiores rendimentos de MSPA de *E. velutina* em relação ao LE e a testemunha, sendo que o BC300 teve o melhor desempenho na proporção 40%, com média de 23,02g e o BC500 na proporção 50%, com rendimento médio de 22,46g. Com relação ao lodo de esgoto, o mesmo obteve um crescimento linear com o aumento das proporções incorporadas ao substrato, no entanto a maior média do LE ocorrida para a proporção 50%, teve um rendimento médio de 10,41g, resultado esse, muito inferior aos obtidos pelos resíduos de biochar (Tabela 8), estes resultados são totalmente antagônicos quando comparados com a média obtida pela testemunha que foi 3,07g (Figura 10). Tais resultados mostram que tanto a incorporação de lodo de esgoto quanto a de biochar, apresentam rendimentos lineares e satisfatórios de MSPA de mudas *E. velutina*, e ainda evidenciam que o processamento do lodo de esgoto para biochar é viável quando se pretende utilizá-lo como componente de substratos, uma vez que os resultados obtidos com o biochar foram mais que duas vezes melhores do que a do lodo de esgoto “*in natura*”.

Souchie et al. (2011), verificaram que a adição de doses crescentes de até 50% de biochar (carvão pirogênico), proporcionaram incrementos lineares em massa seca de raiz e parte aérea para a espécie *Tachigali vulgaris*. Para Gomes e Paiva (2004), o maior acúmulo

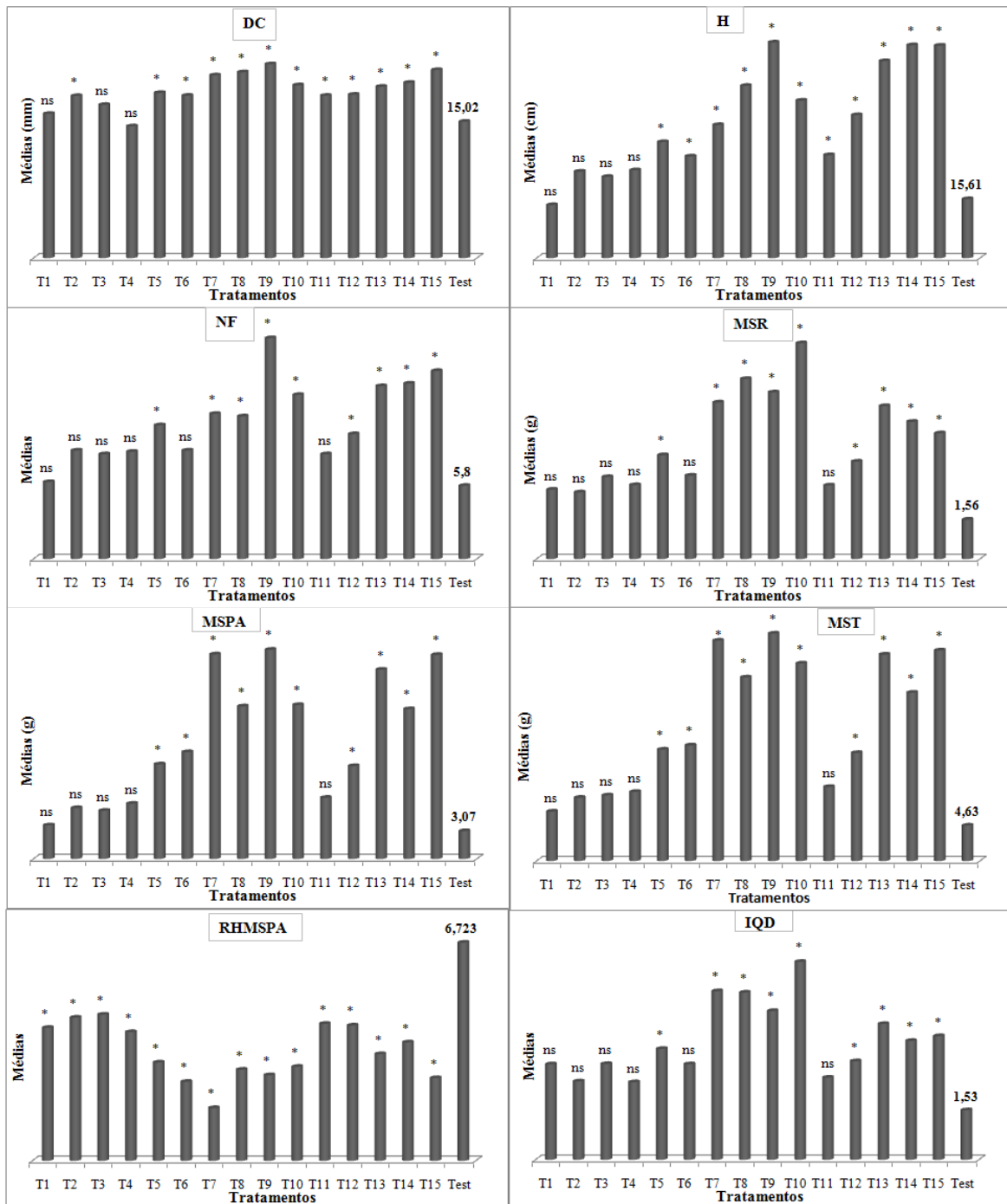


de fitomassa seca em muda é considerado um bom indicativo para uma maior capacidade de sobrevivência das mudas em campo.

**Tabela 8:** Fatores de avaliação do crescimento inicial e qualidades das mudas de *E. velutina* em função das diferentes incorporações dos diferentes tipos de resíduos usados como substratos.

Resíduos	Incorporações					Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	10%	20%	30%	40%	50%		
<b>DC (mm)</b>							
<b>LE</b>	15,89 bB	17,85 bA	16,87 bA	14,52 bB	18,18 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=16,658$	NS
<b>BC300</b>	17,89 aB	20,12 aA	20,46 aA	20,54 aA	18,15 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=19,77$	NS
<b>BC500</b>	17,88 aB	17,99 bB	18,87 aB	19,29 aB	20,71 aA	$\hat{Y}=16,859+0,069^{**}X$	R=0,91**
<b>H (cm)</b>							
<b>LE</b>	14,04 bC	22,88 bB	21,48 bB	23,24 bB	30,66 cA	$\hat{Y}=12,38+0,336^{*}X$	R=0,81*
<b>BC300</b>	26,87 aD	35,18 aC	45,52 aB	56,98 aA	41,63 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=41,24$	NS
<b>BC500</b>	27,21 aC	37,79 aB	52,05 aA	56,24 aA	56,13 aA	$\hat{Y}=22,998+0,762^{**}X$	R=0,88**
<b>NF</b>							
<b>LE</b>	6,10 aA	8,60 aA	8,30 bA	8,50 cA	10,60 bA	$\hat{Y}=5,75+0,089^{**}X$	R=0,78*
<b>BC300</b>	8,60 aC	11,50 aB	11,30 aB	17,50 aA	13,00 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=12,38$	NS
<b>BC500</b>	8,30 aB	9,90 aB	13,70 aA	13,90 bA	14,90 aA	$\hat{Y}=6,98+0,172^{**}X$	R=0,89**
<b>MSR (g)</b>							
<b>LE</b>	2,75 aA	2,64 bA	3,25 bA	2,93 bA	4,12 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=3,14$	NS
<b>BC300</b>	3,31 aD	6,20 aB	7,14 aB	5,6 aC	8,6 aA	$\hat{Y}=3,084+0,109^{*}X$	R=0,80*
<b>BC500</b>	2,92 aB	3,86 bB	6,06 aA	5,44 aA	4,98 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=4,65$	NS
<b>MSPA (g)</b>							
<b>LE</b>	3,71 bB	5,61 cB	5,31 bB	6,08 cB	10,41 cA	$\hat{Y}=2,048+0,139^{*}X$	R=0,76*
<b>BC300</b>	11,76 aC	22,51 aA	16,79 aB	23,02 aA	16,94 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=18,20$	NS
<b>BC500</b>	6,74 bC	10,22 bC	20,83 aA	16,49 bB	22,46 aA	$\hat{Y}=3,987+0,379^{*}X$	R=0,78*
<b>MST (g)</b>							
<b>LE</b>	6,46 bB	8,26 cB	8,56 bB	9,01 cB	14,53 bA	$\hat{Y}=4,292+0,169^{*}X$	R=0,77*
<b>BC300</b>	15,06 aB	28,71 aA	23,92 aA	29,63 aA	25,51 aA	$\hat{Y}=\bar{Y}=24,57$	
<b>BC500</b>	9,65 bC	14,08 bC	26,89 aA	21,93 bB	27,44 aA	$\hat{Y}=6,97+0,434^{*}X$	R=0,75*
<b>RHDC</b>							
<b>LE</b>	0,89 bC	1,26 bB	1,28 cB	1,59 bA	1,68 cA	$\hat{Y}=0,767+0,019^{**}X$	R=0,93**
<b>BC300</b>	1,49 aC	1,76 aC	2,24 bB	2,67 aA	2,18 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=2,07$	NS
<b>BC500</b>	1,52 aC	2,10 aB	2,75 aA	2,90 aA	2,72 aA	$\hat{Y}=1,44+0,032^{*}X$	R=0,76*
<b>RHMSPA</b>							
<b>LE</b>	4,09	4,41	4,50	3,97	3,03	$\hat{Y}=\bar{Y}=4,0$	NS
<b>BC300</b>	2,43	1,63	2,81	2,64	2,89	$\hat{Y}=\bar{Y}=2,48$	NS
<b>BC500</b>	4,22	4,17	3,29	3,65	2,55	$\hat{Y}=\bar{Y}=3,57$	NS
<b>IQD</b>							
<b>LE</b>	2,95 aA	2,41 bA	2,95 bA	2,39 bA	3,46 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=2,82$	NS
<b>BC300</b>	2,95 aC	5,19 aB	5,15 aB	4,58 aB	6,10 aA	$\hat{Y}=\bar{Y}=4,81$	NS
<b>BC500</b>	2,53 aB	3,036 bB	4,18 aA	3,66 aA	3,81 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=3,44$	NS

Letras minúsculas e distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; Letras maiúsculas e distintas na linha diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; \* e \*\* - significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo.



\*: A média do tratamento é diferente estatisticamente a média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett.;ns: A média do tratamento é igual estatisticamente a média da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnett; DC: Diâmetro do coleto em (mm); H : Altura da parte aérea em (cm) e; MSR: Massa seca da raiz , MSPA : Massa seca parte aérea e, MST: Massa seca total em (g); Relação Altura Massa seca da Parte Aérea (RHMSPA) e IQD: Índice de Qualidade Dickson.

**Figura 10:** Valores médios de parâmetros morfológicos e qualidade de mudas de *Erythrina velutina* Willd. viveiro.

Sousa e Figueiredo (2015), avaliando o biochar de lodo de esgoto no cultivo de rabanete, testaram doses crescentes de biochar no solo e concluiu que os indicadores de desenvolvimento da planta como número de folhas, altura da planta e massa seca da parte

aérea apresentaram resposta positiva a aplicação de biochar. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos nesta pesquisa, demonstrando assim que a aplicação do biochar de lodo de esgoto no solo ou em substratos pode suprir as necessidades nutricionais do vegetal, reduzindo assim os custos de produção, uma vez que o mesmo é um resíduo encontrado em grande quantidade e em qualquer região. E assim, Assenheimer (2009), concluiu que a produção de mudas é uma atividade extremamente propícia para o destino final de resíduo urbano (biossólido).

Quanto à avaliação da RHDC, neste estudo os valores variaram de 0,89 a 2,90, ocorrendo um crescimento linear e tendo seu melhor desempenho na maior proporção incorporada aos substratos para os três resíduos estudados, com exceção do resíduo BC300 que teve seu maior valor na incorporação 40%. Quando se compara os valores desta relação entre os resíduos, os tratamentos incorporados com lodo de esgoto obtiveram os menores resultados (Tabela 8). Leite et al. (2014), estudando o crescimento de *Erythrina velutina* sob adubação fosfatada e inoculação micorrízica obtiveram valores da relação RHDC variando de 2,8 a 3,2.

A relação RHDC é um importante índice de qualidade, que avalia o equilíbrio de crescimento das mudas (CARNEIRO, 1995) e reflete o acúmulo de reservas assegurando maior resistência e melhor fixação no solo (ARTUR et al., 2007). De acordo com Birchler et al. (1998), esse índice deve ser menor que 10 para considerar mudas com qualidade. De acordo com Gomes e Paiva (2012), quanto menor seu valor, melhor a qualidade das mudas. Baseado neste histórico, os valores da relação RHDC obtidos no estudo em questão, implicam que as mudas produzidas com substratos incorporados com lodo de esgoto e biochar apresentam uma boa qualidade e propícias a serem estabelecidas em campo.

Não se verificou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores estudados, para os valores da relação RHMSPA; apesar disto os resultados variaram de 1,63 a 4,50. O lodo de esgoto apresentou os maiores valores para essa relação e o BC300 obteve os menores índices (Tabela 8). Já a média da testemunha para este índice foi de 6,723, muito superior aos tratamentos incorporados com os resíduos estudados (Figura 10). Segundo Gomes e Paiva (2012), quanto menor esse índice, mais lenhificada será a muda e maior deverá ser sua capacidade de sobrevivência no campo. Já Brissette e Barnett (1991), recomendam como ideal um índice de aproximadamente 2,00 sem especificação da espécie. Melo e Cunha (2008), avaliando o crescimento de *Erythrina velutina* sob diferentes níveis de luminosidade obtiveram valores para a relação RHMSPA variando

entre 1,59 a 3,66. Baseando-se na faixa ideal recomendada por Brissette e Barnett (1991), os tratamentos que obtiveram os valores mais próximos desta faixa foram os tratamentos incorporados com o BC300, que variou de 1,63 a 2,89.

A análise de variância do índice de qualidade de Dickson (IQD) (Tabela 7) mostra a ocorrência de efeito significativo tanto para os fatores isoladamente, quanto para suas interações. Segundo Fonseca et al. (2002), o índice de qualidade de Dickson (IQD) é um bom indicador da qualidade das mudas, pois no seu cálculo são considerados a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade de mudas.

Quanto ao desdobramento das interações não se verificaram ajustes aos modelos de regressão para as médias do IQD de nenhum dos resíduos avaliados. Tais resultados não seguiram a mesma tendência das variáveis morfológicas avaliadas que teve em sua grande maioria um crescimento linear na medida em que crescia a doses dos resíduos incorporados aos substratos, isto é explicado devido o fato que este índice aglutina todas as demais variáveis analisadas até aqui. O IQD teve um comportamento diferente para cada resíduo estudado, no caso do lodo de esgoto as médias de todos os tratamentos foram consideradas iguais estatisticamente, tendo como sua média de maior valor a incorporação de 50% que obteve um índice de 3,46. Já para o biochar, apesar de não ter tido o crescimento linear seu melhor desempenho ocorreu nas incorporações de maior proporção, sendo que o BC300 se destacou com as maiores médias em todas as proporções, tendo seu maior índice na incorporação 50% com média igual a 6,10 (Tabela 8). O IQD obtido pelas mudas do tratamento controle/testemunha foi 1,53, valor esse, muito inferior aos demais tratamentos.

Leite et al. (2014), ao avaliar o crescimento e partição da biomassa de mudas de mulungu (*E. velutina*) sob adubação fosfatada e inoculação micorrízica, tendo os mesmos findado o experimento aos 98 dias após a semeadura, sendo que obtiveram como resultados para o IQD valores variando de 4,7 a 5,5. De acordo com Bernardino et al. (2005), avaliando a qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, afirmaram que as mudas com maior IQD são classificadas como de melhor qualidade.

Na literatura não existe nenhum intervalo que seja considerado como ideal para os possíveis resultados do índice de Qualidade Dickson (IQD), possibilitando assim inferir a qualidade de mudas e compará-las umas com as outras. O que existe a respeito é o valor mínimo recomendado, que é de 0,20, proposto por Hunt (1990). No entanto a partir da análise de alguns estudos pode-se notar que o IQD é um índice bastante variável, como

pode ser observados nos dos estudos de Gomes et al. (2002), que estudando parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas, encontrou índices com variação de 0,00 a 0,48; Caldeira et al. (2012), que encontraram este índice variando de 0,5 a 2,1; Gonçalves et al. (2014), obteve índice que variou de 0,69 a 1,37; Oliveira et al. (2014), avaliando o Crescimento de mudas encontrou índice variando de 4,2 a 18,42.

Segundo Caldeira et al. (2013), o IQD pode variar em função da espécie, manejo das mudas no viveiro, tipo e proporção do substrato, volume do recipiente e, principalmente, da idade em que a muda foi avaliada. Portanto pode se concluir que o IQD é um eficiente parâmetro para se determinar a qualidade de uma determinada espécie, avaliadas sobre condições semelhantes, não sendo possível usar este índice como parâmetros comparativos entre espécies.

A respeito do comportamento do Índice de Qualidade Dickson (IQD) observado neste estudo, há dois pontos a ser destacados para melhor avaliar esses resultados quanto a qualidade das mudas em relação ao uso de lodo de esgoto e de biochar de lodo de esgoto incorporados aos substratos. O primeiro é que o lodo de esgoto apresentou os resultados inferiores aos obtidos pelo biochar, e o segundo ponto é o fato que o BC500 não se destacou em relação ao BC300, ficando claro que a o biochar de lodo de esgoto produzido na temperatura de 300°C é o ideal para o uso deste material como componente de substratos.

De forma sintetizada partir da análise da figura 8 pode ser observado à superioridade de todos os tratamentos que foi utilizado o resíduo biochar incorporado ao substrato (T6 a T15) com relação ao tratamento controle ou testemunha, com exceção apenas dos tratamentos de menor proporção utilizada (T6-BC300-10% e T11-BC500-10%) que apresentaram média considerada igual á média da testemunha pelo teste Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. A partir do teste Dunnett fica claro o melhor desempenho de quase todos os tratamentos com relação ao tratamento testemunha para as variáveis morfológicas e os índices avaliados nesta pesquisa, confirmando o grande incremento de nutrientes adicionado aos substratos ou a melhorias das condições físicas a partir da incorporação dos resíduos de lodo de esgoto ou de biochar de lodo de esgoto.

Com relação os incrementos, a análise de variância do primeiro incremento do diâmetro do coleto (IC1: DC-60-30), mostrou que não houve interação significativa entre os fatores e nem entre as incorporações avaliadas, ocorrendo uma pequena diferença entre os valores obtidos de incremento de todos os tratamentos, os resultados variaram de 3,39 a 4,92mm de DC. O segundo incremento (IC2: DC-100-60) também não apresentou

interação significativa entre os fatores, no entanto houve interação significativa entre as incorporações e entre os resíduos testados, sendo assim a incorporação que apresentou melhor resultado foi à proporção de 50% e o resíduo de melhor desempenho foi o BC300 (Tabela 9).

No incremento da altura da parte aérea (Tabela 9), ao final do experimento, aos 100 dias da semeadura, observou-se que as mudas produzidas com substratos incorporados com o BC500 apresentaram os maiores incrementos tanto no IC1 quanto no IC2, ambos se ajustaram a um modelo de regressão, sendo o que o IC1 se ajustou ao modelo linear e o IC2 ao modelo quadrático com o pico na proporção 40%. Quanto ao incremento em altura das mudas produzidas com substratos incorporados com LE e B3C00, apresentaram respectivamente o melhor desempenho nos tratamentos incorporados nas proporções de 50 e 40%.

**Tabela 9:** Incrementos do DC, H e NF das mudas de *E. velutina*.

Resíduos	Incorporações					Média	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	10%	20%	30%	40%	50%			
<b>IC1-DC - 60-30</b>								
<b>LE</b>	3,89 Aa	4,51 aA	4,46 Aa	3,88 aA	4,62 aA		$\hat{Y}=\bar{Y}=4,27$	NS
<b>BC300</b>	3,59 Aa	4,35 Aa	4,19 aA	4,82 aA	4,09 aA		$\hat{Y}=\bar{Y}=4,21$	NS
<b>BC500</b>	4,43 aa	3,73 aA	4,09 aA	4,92 aA	4,57 aA		$\hat{Y}=\bar{Y}=4,35$	NS
<b>IC2 - DC -100-60</b>								
<b>LE</b>	7,09	7,59	7,16	5,7	8,37	<b>7,18 b</b>	$\hat{Y}=\bar{Y}=7,18$	NS
<b>BC300</b>	8,31	9,95	9,88	10,6	10,53	<b>9,85 a</b>	$\hat{Y}=\bar{Y}=9,85$	NS
<b>BC500</b>	7,93	8,23	9,11	8,91	10,18	<b>8,87 a</b>	$\hat{Y}=\bar{Y}=8,87$	NS
<b>Média</b>	<b>7,78 b</b>	<b>8,89 a</b>	<b>8,72 a</b>	<b>8,13 b</b>	<b>9,39 a</b>			
<b>IC1-H -60-30</b>								
<b>LE</b>	3,07 bB	6,44 bA	6,39 bA	5,14 bB	8,41 bA		$Y=5,89$	NS
<b>BC300</b>	6,93 aB	11,25 aA	8,91 bB	13,29 aA	9,91 bB		$\hat{Y}=\bar{Y}=10,06$	NS
<b>BC500</b>	7,13 aC	9,81 aC	11,76 aB	12,98 aB	16,22 aA		$Y=5,176+0,213^{**}X$	R=0,98**
<b>IC2- H -100-60</b>								
<b>LE</b>	2,53 bA	6,61 bA	6,86 bA	9,01 bA	11,85 bA		$Y=1,06+0,21^{**}X$	R=0,94**
<b>BC300</b>	10,95 aC	14,87 aC	26,62 aB	34,17 aA	25,78 aB		$\hat{Y}=\bar{Y}=22,45$	NS
<b>BC500</b>	11,25 aC	19,23 aB	30,74 aA	33,26 aA	30,29 aA		$Y=-6,106+1,843^{*}X-0,022^{ns}X^2$	R=0,96*
<b>IC1-NF -60-30</b>								
<b>LE</b>	3,00 aB	2,60 bB	2,80 aB	2,50 cB	3,90 aA		$\hat{Y}=\bar{Y}=2,96$	NS
<b>BC300</b>	3,50 aB	4,80 aA	3,60 aB	5,00 aA	3,70 aB		$\hat{Y}=\bar{Y}=4,12$	NS
<b>BC500</b>	3,30 aA	4,00 aA	4,00 aA	3,90 bA	4,60 aA		$\hat{Y}=\bar{Y}=3,96$	NS
<b>IC2- NF -100-60</b>								
<b>LE</b>	1,00	3,30	2,70	3,40	4,00	<b>2,88 b</b>	$\hat{Y}=\bar{Y}=2,88$	NS
<b>BC300</b>	2,50	4,20	4,70	9,40	7,00	<b>5,56 a</b>	$\hat{Y}=\bar{Y}=5,56$	NS
<b>BC500</b>	2,50	3,50	6,80	7,00	7,80	<b>5,52 a</b>	$\hat{Y}=\bar{Y}=5,52$	NS
	<b>2,00 d</b>	<b>3,66 c</b>	<b>4,73 b</b>	<b>6,60 a</b>	<b>6,26 a</b>			

Letras minúsculas e distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; Letras maiúsculas e distintas na linha diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; \* e \*\* - significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo.

Para os incrementos de números de folhas (IC1 e IC2) (tabela 9), houve interação significativa entre os fatores apenas para o IC1, que teve como melhor resíduo em quase

todas as proporções o B500 e a melhor proporção incorporada a de 50% para o LE e o B500 e para o resíduo B300 a proporção 40%. O IC2 apesar de não ter ocorrido interação significativa entre os fatores, os maiores valores foram obtidos pelo biochar nas maiores proporções deste resíduo incorporadas aos substratos.

Observando a figura 11, pode observar-se que no geral os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos de maiores proporções incorporados aos substratos, sendo que os tratamentos com biochar, tanto o BC300 quanto o BC500 apresentaram resultados superiores com relação ao lodo de esgoto. O fato das maiores proporções, terem obtidos melhores resultados, pode estar relacionada com a maior quantidade de nutrientes presentes nos substratos e disponível para as mudas em virtude da maior concentração de matéria orgânica a partir do aumento as proporções incorporadas.

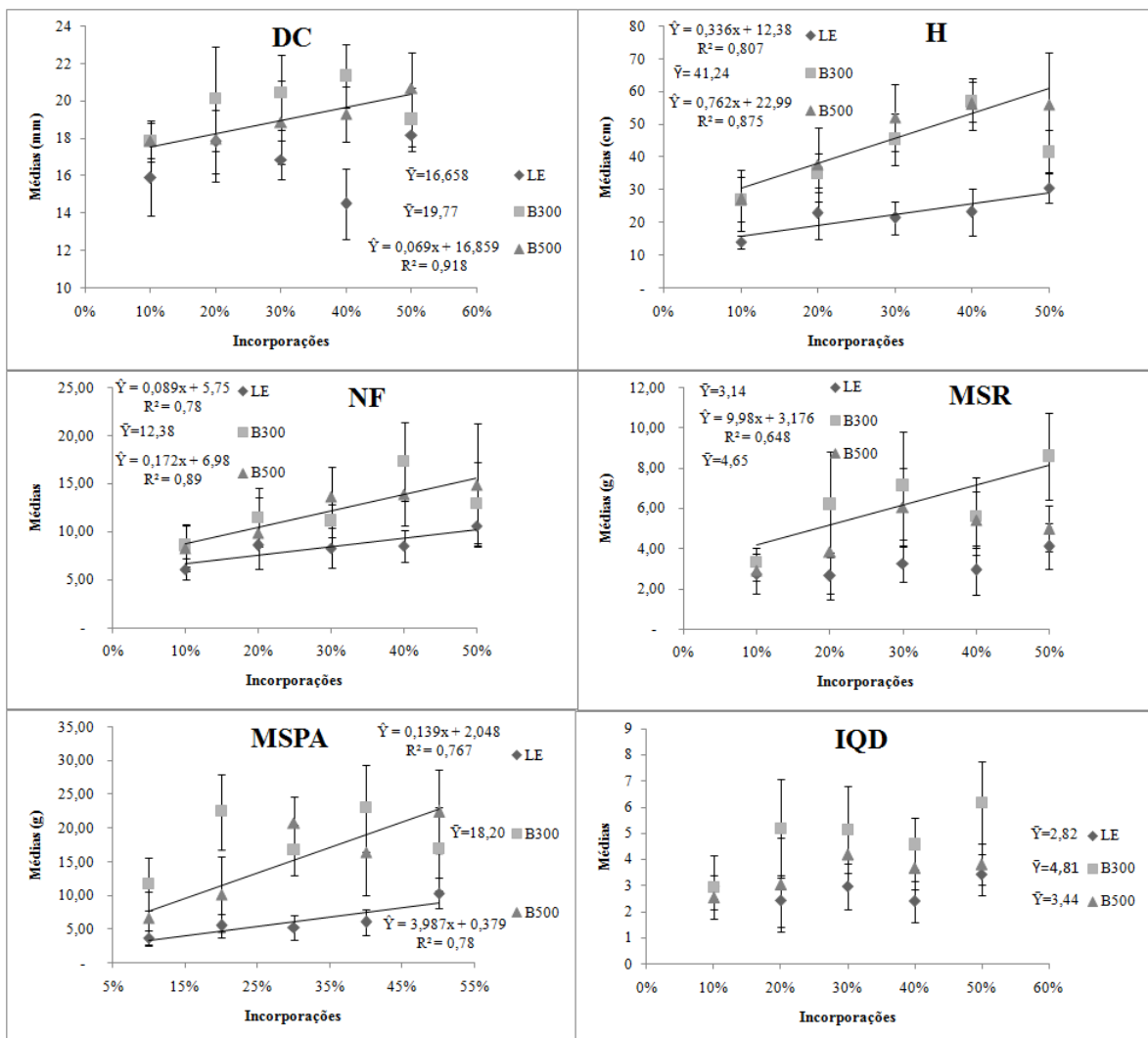
Rocha et al. (2013), estudando composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto, verificaram que os tratamentos com quantidades do composto acima de 40% proporcionaram o maior crescimento vegetativo das mudas de eucalipto, e ainda os mesmo autores afirmam que estes resultados estão associados às maiores quantidades de nutrientes presentes nas maiores proporções de composto na composição dos substratos.

De acordo com Petter (2010), uma das possíveis explicações para as respostas positivas do desenvolvimento das plantas à aplicação do biochar, é devido o biochar contribuir para uma maior absorção de nutrientes, principalmente em função das superfícies reativas nas bordas das estruturas aromáticas dos poros do biochar, atuando como condicionador do substrato. Essa característica do biochar eleva as concentrações de bases e conseqüentemente reduz a acidez no substrato.

Na avaliação da taxa de micorrização nas raízes das mudas de *Erythina velutina* produzidas com substratos incorporados com diferentes proporções de lodo de esgoto e biochar, não se verificou ajuste aos modelos de regressão em nenhum dos resíduos testados. Quando se trata da comparação entre os resíduos, os tratamentos incorporados com o LE apresentaram as maiores taxas de micorrização, sendo que seus valores foram crescentes até a proporção 30%, e a partir daí decrescendo com o aumento da incorporação. Apesar do BC300 ter obtidos valores inferiores em relação ao LE, apresentou o mesmo comportamento, tendo seus valores crescentes até a proporção 30%. Já o BC500 não teve uma tendência crescente ou decrescente em seus valores (Tabela 10).

Estes resultados demonstram que a partir da incorporação de 30% dos resíduos testados houve um decréscimo na taxa de micorrização, tal comportamento pode estar relacionado ao fato de que quanto maior as proporções incorporadas dos resíduos aos

substratos, maior será a quantidade de nutrientes disponível para as mudas e consequentemente menor a necessidade das mesmas de associarem simbioticamente aos fungos micorrízicos como forma de absorver mais nutrientes. Cavalcante et al. (2009) afirmam que dentre as condições ambientais do substrato, a matéria orgânica exerce influência na estrutura, composição de nutrientes e na capacidade de armazenar água, e ainda pode influenciar direta ou indiretamente a atuação dos fungos micorrízicos arbusculares. E de acordo com Pouyu-Rojas et al. (2006), a colonização radicular é influenciada por diversos fatores externos, como o teor de nutrientes presente nos substratos, principalmente fósforo.



D: Diâmetro do Coleto (mm); H: Altura da Parte Aérea (cm); MST: Matéria seca total; IQD: Índice de Qualidade Dickson; NF: Numero de Folhas; MSR: Matéria Seca da Raiz; MSPA: Matéria Seca da Parte Aérea.

**Figura 11:** Principais variáveis morfológicas e o Índice de Qualidade Dickson (IQD) das mudas *E. velutina* em resposta a incorporação ao substratos de doses crescentes dos diferentes resíduos orgânicos estudados.



Quanto à avaliação da quantidade de nódulos presentes nas raízes, observou que as mudas produzidas com substratos incorporados com o resíduo de lodo de esgoto foi o que apresentou uma maior quantidade de nódulos, sendo que os maiores valores foram obtidos pelas proporções de 10%, 20% e 30%, respectivamente com os seguintes números de nódulos 14,9; 17,8 e 12,90. Nos tratamentos que utilizou biochar, houve a presença de nódulos apenas nas menores proporções, tanto o BC300 quanto o BC500 não apresentaram nódulos nas incorporações de 40% e 50% e as quantidades de nódulos apresentadas nas primeiras proporções foram muito inferiores aos obtido pelo lodo de esgoto (Tabela 10). Este comportamento se assemelha com o ocorrido com a taxa de micorrização. Com relação ao peso verde e seco dos nódulos presentes nas raízes de *E. velutina*, os resultados apresentaram os mesmo comportamentos do obtido pelo número de nódulos (Tabela 10).

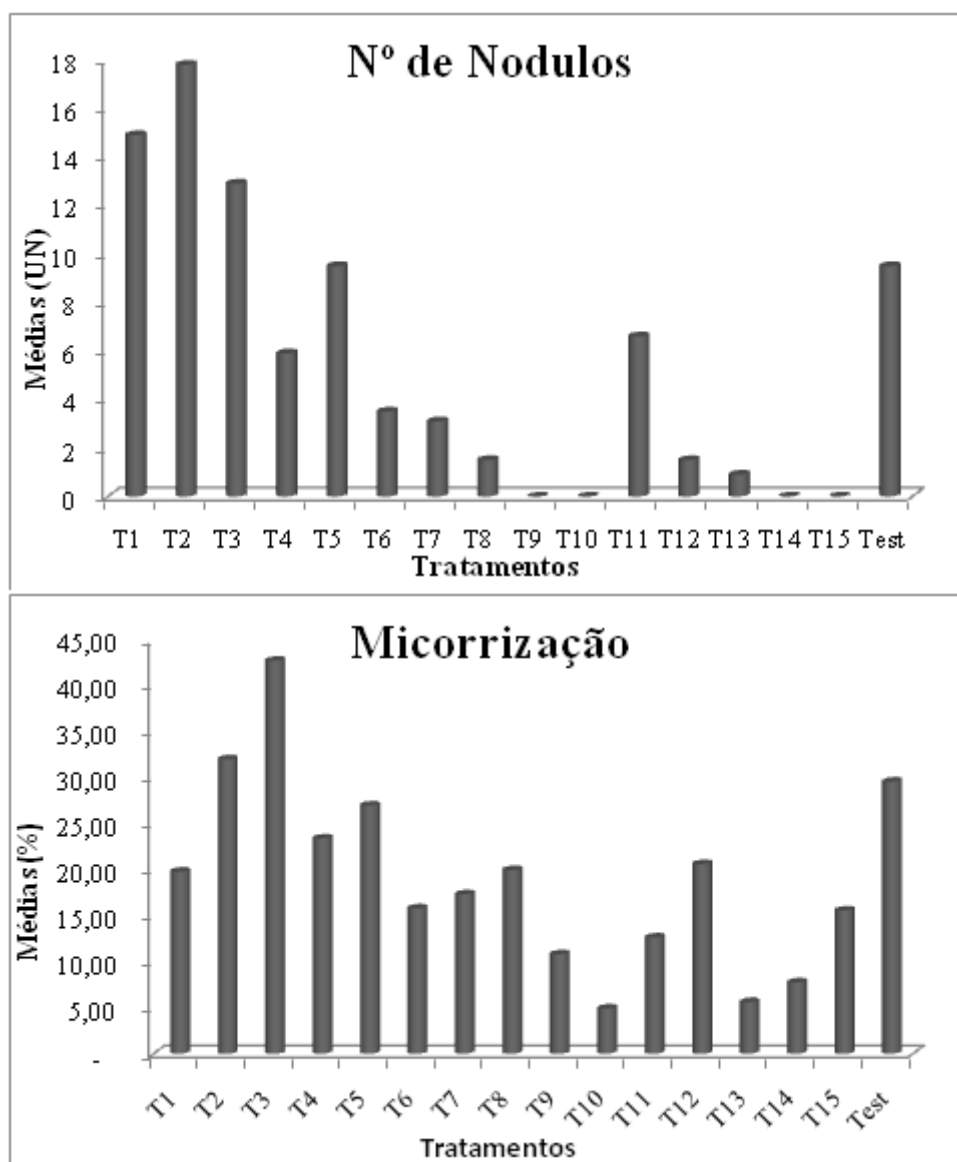
**Tabela 10:** Micorrização e nodulação de mudas de *E. velutina* em função das composições de incorporação e resíduos incorporados ao substrato.

Resíduos	Incorporações					Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	10%	20%	30%	40%	50%		
<b>Micorrização (%)</b>							
<b>LE</b>	22,13 aB	40,23 aA	42,80 aA	29,47 aB	27,03 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=32,33$	NS
<b>BC300</b>	15,83 aA	20,23 bA	22,40 bA	12,80 bB	6,30 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=15,51$	NS
<b>BC500</b>	14,53 aB	25,33 bA	6,33 cB	9,23 bB	12,85 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=13,66$	NS
<b>Nº Nódulos</b>							
<b>LE</b>	14,90 aA	17,80 aA	12,90 aA	5,90 aB	9,50 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=12,2$	
<b>BC300</b>	3,50 bA	3,10 bA	1,50 bA	0,00 bA	0,00 bA	$\hat{Y}=4,65-0,101^{**}X$	R=0,95**
<b>BC500</b>	6,60 bA	1,50 bB	0,90 bB	0,00 bB	0,00 bB	$\hat{Y}=\bar{Y}=1,8$	NS
<b>Peso Verde dos Nódulos (g)</b>							
<b>LE</b>	0,50 aB	1,10 aA	0,38 aB	0,18 aC	0,203 aC	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,47$	NS
<b>BC300</b>	0,07 bA	0,06 bA	0,07 bA	0,00 aA	0,00 aA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,04$	NS
<b>BC500</b>	0,21 bA	0,03 bA	0,06 bA	0,00 aA	0,00 aA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,06$	NS
<b>Peso Seco dos Nódulos (g)</b>							
<b>LE</b>	0,33 aA	0,21 aB	0,12 aB	0,16 aB	0,16 aB	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,196$	NS
<b>BC300</b>	0,02 bA	0,05bA	0,07 aA	0,00 bA	0,00 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,028$	NS
<b>BC500</b>	0,06 bA	0,01 bA	0,02 aA	0,00 bA	0,00 bA	$\hat{Y}=\bar{Y}=0,018$	NS

Letras minúsculas e distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; Letras maiúsculas e distintas na linha diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade; \* e \*\* - significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo.

Assim como ocorreu na avaliação da micorrização, a nodulação também foi influenciada pelas proporções de resíduos incorporadas aos substratos, como pode ser observada na figura 12, na qual o número de nódulos apresenta-se de forma decrescente na medida em que se aumenta as incorporações e a taxa de micorrização apresenta-se uma tendência quadrática com um pico na proporção de 30% de cada resíduo incorporado aos

substratos. Sendo assim, fica evidente que as maiores proporções inibem tanto a taxa de micorrização quanto a nodulação no sistema radicular de *E. velutina*.



**Figura 12:** Comportamento da quantidade de nódulos e taxa de micorrização verificada no sistema radicular das mudas de *E. velutina*.

## 6 – CONCLUSÕES

O lodo de esgoto e o biochar de lodo de esgoto incorporados aos substratos na produção de mudas de *E. velutina* promoveram efeitos positivos no crescimento inicial, na micorrização e na fixação biológica de nitrogênio, bem como na qualidade das mudas.

Doses crescentes de lodo de esgoto e de biochar de lodo de esgoto utilizado até o limite de 50% do substrato na produção de mudas de *E. velutina* melhoraram significativamente os parâmetros morfológicos e os índices que determinam a qualidade das mudas.

As doses de 30%, 40% e 50% lodo de esgoto e de biochar de lodo de esgoto promoveram os melhores desempenhos nas variáveis que determinam o desenvolvimento inicial das mudas de *E. velutina*.

O biochar de lodo de esgoto incorporado ao substrato para produção de mudas de *E. velutina* apresentou um efeito positivo maior e significativo do que o apresentado pelo lodo de esgoto “*in natura*” na qualidade e desenvolvimento inicial das mudas.

O biochar incorporado ao substrato reduz a nodulação do sistema radicular de mudas de *E. velutina* na medida em que se aumenta as doses.

## REFERÊNCIAS

AGRAFIOTI, E.; BOURAS, G.; KALDERIS, D.; DIAMADOPOULOS, E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 101, p.72–78, 2013.

ALLEN, O. N.; ALLEN, E. K. **The leguminosae: A source book of characteristics, uses and nodulation**. Madison, The University of Wisconsin Press, 1981. 812p.

ALVAREZ V., W. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V.; V. H. **Recomenendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

ANTAL, M. J.; GRONLI, M. The art, science, and technology of charcoal production. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 42, n. 8, p. 1619-1640, 2003.

ANDREOLI, C. V.; TAMANINI, C. R.; HOLSBACH, B.; PEGORINI, E. S.; NEVES, P. S. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: ANDREOLI, C.V. (Coord). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Prosab/ABES, 2006. p. 87-116.

ARTUR, A. G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARRETTO, V. C. M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.6, p. 843-850, 2007.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, v.5, n.2, p.321-330, 2009.

BACKES, M. A. **Composto do lixo urbano como substrato para plantas ornamentais**. 1989. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FERNADES, M. S. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociendade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de Esgoto, impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna –SP: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 1ªed. 2006. 346p.

BEESELEY, L.; MORENO-JIMÉNEZ, E.; GOMEZ-EYLES, J.L. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. **Environmental Pollution**, v.158 p. 2282–2287, 2010.

BELLO, I. A.; ESCOBAR, I. R.; TESTILLANO, P. S.; RISUENO, M. C. Efectos del aluminio en la división y el alargamiento celular en plántulas de arroz (*Oryza sativa L.*). **Cultivos Tropicales**, San José de las Lajas, v. 33, n. 1, p. 35-40, 2012.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer Verlag, 1979. 188 p.

BHUVANESWARI, T. V.; TURGEON, B. G.; BAUER, W. D. Early events in the infection of soybean by *Rhizobium japonicum*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, p. 1027-1031, 1980.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006 – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 17 de abril de 2015.

BRISSETTE, J. C.; BARNETT, T. D. Container Seedlings. In: DURYEY, M. L.; DOUGHERTY, P. M. **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1991. p. 117-141.

BRUIJN, F. J.; CHEN, R.; FUJIMOTO, S. Y.; PINAEV, A.; SILVER, D.; SZCZYGLOWSKI, K. Regulation of nodulin gene expression. **Plant and Soil**, v. 161, p. 59-68, 1994.

BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1996. 12p. ACIAR Monograph 32.

BRICK, S.; LYUTSE, S. **Biochar: Assessing the promise and risks to guide U.S policy**. New York: Natural Resources Defense Council, 2010. 24p.

CALDEIRA, M. V.W; SCHUMACHER, M.V; BARICHELLO, L. R; VOGEL, H. L. M; OLIVEIRA, L. S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna Smith* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 28, n.1/2, p.19-30, 1998.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, E. M. R.; FRANCO, A. A; WATZLAWICK, L. F. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de três leguminosas arbóreas. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.1, p. 27-32, 2003.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAAD, 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**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 311-323, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27 - 33 2008.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. **Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular**. Recife: Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, n. 5, v. 6, p. 180-208, 2009.

CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SPERANDIO, H. V.; TRAZZI, P. A. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toonaciliata VAR. australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.6, p. 1009-1017, 2012.

CALDEIRA, M. V. DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVESE, O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M. V. W.; FAVALESSA, M. F.; GONÇALVES, E. O. DELARMELINA, W. M.; SANTOS, F. E. V.; VIEIRA, M. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium Wild.* **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n.1, p. 34-43, 2014.

CARVALHO, P. C. T.; BARRAL, M. F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**. Piracicaba, v.3, n.2, p. 1-4, 1981.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF/UENF, 1995. 451 p.

CASSINI, S. T.; VAZOLLER, R. F.; PINTO, M. T. INTRODUÇÃO. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: Prosab, RIMA ABES, 2003. p.1-9.

COSTA, M. C.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; ALBRECHT, J. M. F.; COELHO, M. F. B. Substratos para produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana L.*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1 p. 19-24, 2005.

COLOZZI-FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. **Micorrizas Arbusculares em Plantas Tropicais: Café, Mandioca e Cana-de-açúcar**. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. Microbiota do solo e qualidade ambiental. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 312p.

COLODETE C. M.; DOBBSS L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza online**, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). Disponível em:<<http://www.caesb.df.gov.br/sgoto/sistemas-de-egotamento.html>>. Acesso em: 21 outubro 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). Disponível em:<<http://www.caesb.df.gov.br/sgoto/sistemas-de-egotamento.html>>. Acesso em: 18 abril de 2016.

CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SAMENTO, R. A.; CUNHA, G. M.; AMARAL, J. F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia sp.* **Revista Árvore**, v. 30, p. 207-214, 2006.

DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOISI, A. A.; MAZZOCHIN, L., TOKURA, A.M.; PINHEIRO, E. R.; SOUZA, E. F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acaciayangium*. **Revista Árvore**, v,2, p. 163-168, 1997.

DEVI, P.; SAROHA, A. K. Effect of temperature on biochar properties during paper mill sludge pyrolysis. **International Journal of Chemistry Tech Research**, Coden, v. 5, n. 2, p. 682-687, 2013.

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

DUARTE, T. S., FERNANDES, H. S., MEDEIROS, C. A. B., MORAES, R. M. D. Crescimento de mudas de tomateiro em substratos orgânicos. In: Encontro Nacional De Substratos Para Plantas, Campinas. **Anais...** Documentos IAC 70. Instituto Agrônomo, Campinas, Brasil. p. 107. 2002.

DUMROESE, R. K.; 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, n. 5, p. 2018-2027, 2011.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 65-71, 2012.

DUTRA, T. R.; GRAZZIOTTI, P. H.; SANTANA, R. C.; MASSAD, M. D. Qualidade de mudas de Copaíba produzidas em diferentes substratos e níveis de sombreamento. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 635-644, 2015.

EADY, R. R. & POSTGATE, J. R. Nitrogenase. **Nature**, v. 249, p. 805-810, 1974.

FERGUSON, S. J. Nitrogen cycle enzymology. **Current Opinon Chemical Biology** v. 2, n. 2, p. 182-193, 1998.

FONSECA, E. P. **Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden em “Winstrip”**. 1988. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p. 515-523, 2002.

FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; NUNES, A. A.; C. C. O.; ALVES, C. C. O. Microwave assisted thermal treatment of defective coffee beans press cake for the production of adsorbents. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 3, p. 1068–1074, 2010.

GASKIN, J. W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 51, n. 6, p. 2061- 2069, 2008.

GASPARIN, E.; AVILA, A. L.; ARAUJO, M. M.; FILHO, A. C.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana*(Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 553-563, 2014.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **The Nyw Phytologist**, v. 84, p. 482-500, 1980.

GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. The physiology of vesicular-arbuscularmycorrhizal infection in roots. **Plant and Soil**, The Rague, v.71, p. 197-209, 1983.

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**, Viçosa, v.26, n.6, p. 655-664, 2002.

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

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Viveiros florestais: propagação sexuada. Ed. UFV, Viçosa-MG, 2012.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

GONÇALVES, E. O.; PETRI, G. M.; CALDEIRA, M. V. W.; DALMASO, T. T.; SILVA, A.G. Crescimento de mudas de *Ateleia glazioviana* em substratos contendo diferentes materiais orgânicos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 339-348, 2014.

GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 93-106, 2000.

HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. **Mycorrhizal symbiosis**. New York: Academic Press, 1983. 483p.

HIRSCH, A. M.; KAPULNIK, Y. Signal Transduction Pathways in Mycorrhizal Associations : Comparisons with the Rhizobium-Legume Symbiosis. **Fungal Genetics and Biology**, v. 23, n. 3, p. 205-212, 1998.

LEHMANN, J.; STEPHEN, J. Biochar for environmental management: science and technology. **Earthscan**, v. 47, n.1, p. 1-12, 2009.

HEJAZIFAR, M.; AZIZIAN, S.; SARIKHANI, H.; ZHAO, Q. L. D. Microwave assisted preparation of efficient activated carbon from grapevine rhytidome for the removal of methyl violet from aqueous solution. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 92, n.1, p. 258-266, 2011.

HOBBIE, E. A.; JUMPPONEN, A.; TRAPPE, J. Foliar and fungal 15N :14N ratios reflect development of micorrhizae and nitrogen supply during primary succession: testing analytical models. **Oecologia**, New York, v. 146 p. 258-268, 2005.

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, n. 1, p. 223-228, 2011.

HWANG, I. H.; MATSUTO, T.; TANAKA, N.; SASAKI, Y.; TANAAMI, K. Characterization of chars derived from various types of solid wastes from the standpoint of fuel recovery and pretreatment before landfilling. **Waste Management**, v. 27, n. 9, p. 1115-1166, 2007.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: **Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report rm-200**. Roseburg: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 218-222.



IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Reserva Ecológica do IBGE: ambiente e plantas vasculares. Rio de Janeiro: IBGE, 73p, 2004.

ILHENFELD, R. G. K.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. Higienização do lodo de esgoto. In: FERNANDES, F. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Prosab/ABES, 1999. 34-45p.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil [Internet]. International Biochar Initiative; [cited 2012 Jan 20]. Available from: [http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Guidelines\\_for\\_Biochar\\_That\\_Is\\_Used\\_in\\_Soil\\_Final.pdf](http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf)>. 2012.

JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. The effect of soil disturbance on vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi, in soils from different vegetation types. **New Phytologist**, v. 118, n. 3, p. 471-476, 1991.

JEFFERY, L. S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, n. 1, p. 175-187, 2011.

JHA, P.; BISWAS, A. K.; LAKARIA, B. L.; SUBBA RAO, A. Biochar in agriculture: prospects and related implications. **Current Science**, v. 99, n. 9, p. 1218-1225, 2010.

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

DURVAL-JUNIOR, R. P.; MORAIS, L. M.; CAMARGO, S. A. R; NOUR, E. A. A.; ROSTON, D. M. Tratamento e disposição final de resíduos: Estabilização de lodos de esgoto utilizando reatores anaeróbicos seqüenciais (Sistema RAS). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Campinas, n.1, p. 40-46, 2005.

YAO, F. X.; ARBESTAIN, M. C.; VIRGEL, S.; BLANCO, F.; AROSTEGUI, J.; MACIA-AGULLO, J. A.; MACIAS, F. Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified soxhlet reactor. *Chemosphere*, v.80, n. 7, p. 724-732, 2010.

KÄMPF, A. N.; FIRMINO, M. H. **Substratos para plantas a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

KIM, J.; REES, D. C. Nitrogenase and biological nitrogen fixation. **Biochemistry**, v. 33, n. 2, p. 389-397, 1994.

KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; VAN-ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environment benefits and unintended consequences. **Elsevier Academic Press Inc** ( Series:Advances in Agronomy), n. 112, p. 103-143, 2011.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 125-136, 2013.

KREFTA, S. M.; BRUN, E. J.; FACCHI, S. P. Substratos orgânicos para produção de mudas de Juqueri (*Senegalia polyphylla* (DC) Britton & Rose). In: SEMINÁRIO DE

INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 17, 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2012.

LACERDA, A. M.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B.; SOARES, A. L. L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão - caupi. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 51, n 293, p. 67-82, 2004.

LEITE, T. S.; FREITAS, R. M. O.; DALLABONA DOMBROSKI, J. L. D.; LEITE, M. S.; RODRIGUES, M. R. O. Crescimento e partição da biomassa de mudas de mulungu sob adubação fosfatada e inoculação micorrízica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 407-415, 2014.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, n. 2, p. 395-419, 2006.

LEHMANN, J.; STEPHEN J. **Biochar for environmental management: science and technology**. Earthscan, 2009.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota: a review. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 43, n. 9, p. 1812-1836, 2011.

LIU, T.; LIU, B.; ZHANG, W. Nutrients and heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: Its application in soil amendment. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, p. 271-275, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Editora Plantarum, 1992.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**. 2º ed. São Paulo: Plantarum. Vol. 1. 1998.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum, 2002.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2002, 384p.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008, 577p.

LOPES, H. M. **Caracterização química e física de biocarvão de lodo de esgoto sob diferentes temperaturas de pirólise**. 2013. 319p. Monografia. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013.

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

MACHADO, M. F. S. **A situação brasileira dos biossólidos**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2001. 282p.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. F.; NOVOTNY, B. H. Biocarvão: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência hoje**, v. 47, p.281, 2011.

- MARIMON-JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S. SCHOSSLER, T. R. GONÇALVES, L. G.; BELÉM, R. Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 2, p. 108-114, 2012.
- MACHINESKI, O.; SILVA, A. P. D.; TRUBER, P. V. GARCIA, T. L. BALOTA, E. F. Desenvolvimento inicial do nim inoculado com fungos micorrízicos arbusculares em diferentes doses de fósforo. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v. 4, n. 1, 2009.
- MATOS, E.; QUEIROZ, L. P. **Árvores para cidade**. 1º Ed. Salvador: Ministério Público do Estado da Bahia, 2009. 340p.
- MENGE, J. A. **Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture**. Canadian Journal of Botany, Ottawa, v. 61, p. 1015-1024, 1983.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 449-455, 1994.
- MELO, R. R.; CUNHA, M. C. L. Crescimento inicial de mudas de mulungu (*Erythrina velutina* Wild.) sob diferentes níveis de luminosidade. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 67-77, 2008.
- MÉNDEZ, A.; TARQUIS, A. M.; SAA-REQUEJO, A.; GUERRERO, F.; GASCO, G. Influence of pyrolysis temperature on composted sewage sludge biochar priming effect in a loamy soil. **Chemosphere**, v. 93, p. 668–676, 2013.
- MIKAN, C. J.; ABRAMS, M. D. Altered forest composition and soil properties of historic charcoal hearths in southeastern Pennsylvania. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 25, p. 687-696, 1995.
- MOSSE, B. Role of mycorrhizal in legume nutrition. In: VICENT, J. M.; WHITNEY, A. S.; BOSE, J. Exploring the legume- Rhizobium symbiosis in tropical agriculture. **Univ. Hawaii coll. Trop. gric. Misc.** n.145 p. 275-292. 1976.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory- produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma**, v. 193-194, p. 122-130, 2013.
- NEVES, T. S.; CARPANEZZI, A. A.; RIBAS, K. C. Z.; MARENCO, R. A. Enraizamento de corticeira-da-serra em função do tipo de estaca e variações sazonais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, n. 12, p. 1699-1705, 2006.
- NEVES, J. M. G., SILVA, H. P., DUARTE, R. F. Uso de substratos alternativos para produção de mudas de moringas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 1, p. 173-177, 2010.
- NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

NUVOLARI, A. O lançamento in natura e seus impactos. In: NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e Reúso Agrícola**. São Paulo: Editora Edgard Blücher. 2003. p. 171-207.

OLIVEIRA, M. C.; PEREIRA, D. J. S. RIBEIRO, J. F. Viveiro e produção de mudas de algumas espécies arbóreas nativas do cerrado. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, Documentos 14, 2005.

OLIVEIRA, L. R.; LIMA, S. F.; LIMA, A. P. L. Crescimento de mudas de cedro-rosa em diferentes substratos. **Pesquisa florestal. brasileira.**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 187-195, 2014.

ORAM, N. J.; VOORDE, T. F. J. V.; OUWEHAND, G. J.; BEZEMER, T. M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S.; GROENIGEN, J. W. V. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.191 p. 92-98, 2014.

PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. Campinas, 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PEQUENO, P. L. L.; MENDES, J. R. N.; SCHELINDWEIN, J. A.; SERRADO, A.; LOCATELLI, M. Caracterização Química do lodo de esgoto tratado (biossólido) para uso agrícola e florestal no Estado de Rondônia. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA E EXTENSÃO RURAL - SEPEX, 2., 2008, Porto Velho. A agricultura familiar no agronegócio: anais. Porto Velho: UNIR, 2008.

PETTER, F. A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. 2010. 130p. Tese Doutorado (Doutorado em Produção Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PONS, A. L. Fontes e uso de matéria orgânica. **IPAGRO Informa**, Porto Alegre, v.26, p.111-147, 1983.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 30, p. 413-424, 2006.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Minas Gerais: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

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. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-36, 2013.

SALOMÃO, A. N.; SOUSA-SILVA, J. C.; DAVIDE, A. C., GONZÁLES, S.; TORRES, R. A. A.; WETZEL, M. M. V. S.; FIRETTI, F.; CALDAS, L. S. **Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do cerrado**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2003. 96 p.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIAN, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da biologia**. Volume II: Evolução, Diversidade e Ecologia. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SANTOS, L. W.; COELHO, M. F. B. Sombreamento e substratos na produção de mudas de *Erythrina velutina* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 571-577, 2013.

SANTOS, J. V. **Formononetina como estimulante de micorrização em milho**. 2014. 72 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola)–Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. II – Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Ciência do Solo**, viçosa, v.26, n.2, p. 497-503, 2000.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. Brasília: EMBRAPA Comunicação para transferência de tecnologia, 2009. 627p.

SILVA, R. F.; SAIDELLES, F. L. F.; HEMERICH, P. D. C.; STEFFEN, R. B.; SWAROW, A. Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 881-886, 2012.

SILVA, F. A. S. ASSISTAT. Versão 7.7 beta (2015). Disponível em <http://www.assistat.com/indexp.html>.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.3, p. 507-512, 1974.

SCHORN, L. A.; FORMENTO, S. **Silvicultura II: Produção de mudas florestais**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2003. 58p.

SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z. R. H.; SOUZA, P. R. **Produção de mudas de espécies florestais nativa: Manual 2**. Campo Grande: Ed. UFMS (Rede de sementes do Pantanal), 2006. 59p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press, 1997, 605p.

SMIDER, B.; SINGH, B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 99-107, 2014.

SOUZA, V. S.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SOBRINHO, S. P.; LUZ, P. B.; SILVEIRA, T. L. S.; RAMOS, D. T.; N EVES, L. G.; BARELI, M. A. A. Substratos na produção de mudas de três espécies arbóreas do cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 238-243, 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**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOINNE, H.; HOVI, J.; TAMMEORG, P.; TURTOLA, E. Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. **Geoderma**, v. 219-220, p. 162-167, 2014.

SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C.C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 32, n. 2, p. 127-138, 2015.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2º ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SPOKAS, K. A.; CANTRELL, K. B.; NOVAK, J. M.; ARCHER, D. W.; COLLINS, H. P.; BOATENG, A. A.; LIMA, I. M.; LAMB, M. C.; MCALOON, A. J.; LENTZ, R. D.; NICHOLS, K. A. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. **Journal of Environmental Quality**, special section, p. 973-989, 2012.

STEINER, C.; GLASER, B.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; BLUM, W.E.H.; ZECH, W. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian ferralsol amended with compost and charcoal. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p. 893-899, 2008.

STÜRMER, S. L.; CARDOSO, E. J. B. N.; SOUZA, F. F. A.; KASUYA, M. C. M. “Além das raízes”: o papel dos fungos micorrízicos. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 34, n. 1, p. 30-32, 2009.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, 2013. p. 291-310.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3º ed. Porto Alegre: Artemed, 2004, p.719.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R. Avaliação de mudas de *Tecomastans* utilizando bio sólido e resíduo orgânico. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 85, p. 218-226, 2010.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, v. 42, n. 3, 2012.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de bio sólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 150-162, 2003.

URIBE, L. Formación de nodulos de *Rhizobium*; factores que pueden conferir ventaja competitiva. **Agronomia Costarricense**, San José, v. 18, p. 121-131, 1994.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscularmycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, v. 79, p. 2082-2091, 1998.

VIEIRA N. D. Estudo da pirólise de lodo sanitário visando, sua valorização energética. 2012. 195p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2012.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 272p.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, v. 1 p. 1-9, 2010.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Produção de mudas de espécies das Restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, Feira de Santana, v. 18, n. 1, p. 161-176, 2004.

ZHAO, L.; CAO, X.; MAŠEK, O.; ZIMMERMAN, A. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. **Journal of Hazardous Materials**, v. 256-57, p. 1-9, 2013.

ZHANG, H.; VORONEY, R. P.; PRICE, G. W. Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. **Soil Biol Biochem**, n. 83, p. 19-28, 2015.