

**ELTON JONEIS SOUZA DE MATOS**

**AVALIAÇÃO DO USO DO BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO NO  
DE SENVOLVIMENTOS DE MUDAS DE *Corymbia citriodora***

**São Cristóvão-SE**

**Março de 2020**

ELTON JONEIS SOUZA DE MATOS

**AVALIAÇÃO DO USO DO BIOCÁRVÃO DE LODO DE ESGOTO NO  
DESENVOLVIMENTOS DE MUDAS DE *Corymbia citriodora***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais – DCF da Universidade Federal de Sergipe-UFS, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

São Cristóvão-SE

Março de 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIE-UFS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS-DCF  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS-CCAA

**AVALIAÇÃO DO USO DO BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO NO  
DE SENVOLVIMENTOS DE MUDAS DE *Corymbia citriodora***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais – DCF da Universidade Federal de Sergipe-UFS, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

APROVADO

ORIENTADO: Elton Joneis Souza de Matos

---

Profa. Dra.<sup>a</sup> Alessandra Maria Ferreira Reis

(Orientadora)

---

Profa. Dra.<sup>a</sup> Michelle Conceição Vasconcelos

(Avaliadora)

---

Eng.<sup>a</sup> Florestal Anne Caroline Silva Meira

(Avaliadora)

Aos meus pais, Vandira Souza de Matos e Jonas Barbosa de Matos,

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Fica permitido...

É hora de colher, e plantar para o futuro! Por isto fica permitido aos novos tempos dizer eu te amo! Uma vez pela manhã, outra pela tarde e outra pela noite, no mínimo. Fica estabelecido uma nova lei, a lei do amor. E fica permitido conhecer a verdade da vida, a ausência da morte e a eternidade da alma. Fica permitido entender que o erro é um estágio da evolução. E principalmente fica totalmente permitido perdoar e se perdoar. Fica permitido poupar água, cuidar da natureza, compartilhar comida, cuidar dos enfermos, do corpo físico e espiritual. Fica permitido a presença de irmãos iluminados levando luz e amor aos hospitais, escolas e aos centros de recuperação física e espiritual. Ficam permitidos o bem, a paz, a compaixão e a caridade. E revogam-se todas as permissões em contrário!

Adaptado, “Além do Tempo”

Foram muitos momentos vividos até chegar aqui, momentos bons e outros ruins, mas assim é a vida, um perfeito equilíbrio entre as duas faces. Outrora tinha sonhos que juravam ser impossíveis de realizá-los, jamais desistir e lutei por aquilo que acreditava, fui ao fundo do poço ao mesmo tempo em que alcancei as estrelas. Durante toda a trajetória muitas pessoas estiveram em minha vida, algumas de forma passageira e outras que se tornaram grandes amigos e companheiras, a elas deixo aqui minha eterna gratidão. Em especial minha gratidão e admiração por minha família, meus irmãos, primos e avós que sonharam comigo todo esse tempo. Dedico aqui não somente meus agradecimentos bem como a realização desse sonho aos meus pais Vandira Souza de Matos e Jonas Barbosa de Matos pelo imenso esforço em ajudar-me todos os dias. “O destino costuma unir pessoas que vibram na mesma sintonia” costuma dizer minha orientadora Dr.<sup>a</sup> Alessandra Maria Ferreira Reis, e assim quis o destino. Hoje dedico minha total admiração e gratidão pelos ensinamentos, profissionalismo, aconselhamentos e amizade, obrigado por mostrar-me a leveza da vida e a sorrir mesmo nos piores dias. A senhora é inspiradora! E por fim, para ele e por ele minha imensa gratidão, Deus!

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. Objetivos.....	11
3. FUNADAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1 Lodo de Esgoto .....	11
3.2 Pirólise .....	13
3.3 Biocarvão .....	14
3.4 <i>Corymbia citriodora</i> .....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO .....	18
4.1.1 Porosidade, área superficial específica e imagens da estrutura .....	18
4.1.2 Grupos funcionais .....	18
4.1.3 Análise elementar .....	19
4.1.4 Análise aproximada.....	19
4.1.5 Concentrações de P, K, Na e Cu pH e CE .....	19
4.2 PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DAS MUDAS.....	21
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	22
6. CONCLUSÕES.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: Conceito de pirólise e sequestro de carbono por LEHMANN (2007)  
.....14
- FIGURA 2: Forno artesanal usado para a produção de biocarvão, modelo tipo TLUD (top lid up draft), São Cristóvão-SE.....17
- FIGURA 3: Eficiência de emergência (%) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....23
- FIGURA 4: Altura média (cm) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....24
- FIGURA 5: Diâmetro do colo (cm) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....25
- FIGURA 6: Relação altura/diâmetro (H/D) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....27

FIGURA 7: Massa fresca (g) e seca da parte aérea (g) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 pós semeadura sob condições viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....28

FIGURA 8: Massa da raiz (g) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....27

FIGURA 9: Clorofila (a e b) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....30

FIGURA 10: Índice de Qualidade de Dickon (IQD) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, de 90 pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.....31

## RESUMO

O elevado volume de resíduos gerados diariamente de biossólidos ou lodo de esgoto representam um dos principais problemas ambientais do mundo moderno. Uma proposta atual e de grande potencialidade é a utilização do biocarvão de lodo de esgoto para o condicionamento físico e químico de solos e substratos. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão de lodo de esgoto no desenvolvimento e nas características morfológicas de mudas de *Corymbia citriodora* aos 90 dias após a semeadura. Os tratamentos (0%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% doses do biocarvão) foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições e as avaliações foram realizadas aos 90 dias após a semeadura, obtendo-se altura da parte aérea, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, peso da matéria fresca e seca da parte aérea, o teor de clorofila e o índice da qualidade de Dickson (IQD). Não foi verificada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos para todos os parâmetros avaliados; porém observou-se que a adição de 15% e 20% proporcionaram um acréscimo nas médias de altura e diâmetro das plantas. O uso de biocarvão do lodo de esgoto para produção de mudas de *Corymbia citriodora* é promissora, pois além de minimizar custos com substratos comerciais é uma alternativa rentável para o meio ambiente no que diz respeito a destinação deste resíduo.

Palavras-chave: Biossólido, Eucalipto, Uso, Parâmetros biométricos.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país florestal com aproximadamente 58% do seu território coberto por florestas naturais e plantadas, o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia. São estimados 485,8 milhões de hectares de florestas nativas e 10 milhões de hectares de florestas plantadas (SNIF, 2017).

Bracelpa, (2009) afirma que a década de 70 foi marcada pela política de incentivos fiscais para o reflorestamento, que começou ainda na década de 60. Com esses incentivos foi possível ampliar consideravelmente o estoque de madeira nesses plantios, tanto para pinus como para o eucalipto, o que acarretou na consolidação da sua cadeia produtiva.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2011), os resultados dos plantios florestais apresentam aspectos positivos para a economia, meio ambiente e sociedade, por apresentarem funções importantes como a redução da pressão sobre florestas nativas; reaproveitamento de terras degradadas pela agricultura; sequestro de carbono; proteção do solo e da água; ciclos de rotação mais curtos em relação aos países com clima temperado e maior homogeneidade dos produtos, facilitando a adequação de máquinas na indústria.

O cultivo do eucalipto no Brasil é um dos mais avançados do mundo (SILVA *et al.*, 2006), porém para que haja um bom desempenho das plantas no campo, as mudas devem apresentar boa qualidade, dependendo de fatores como germinação e boa formação (PETTER *et al.*, 2012). A formação de mudas de boa qualidade depende dos processos de germinação, emissão de radícula, formação do sistema radicular e parte aérea, que por sua vez estão relacionados ao nível de eficiência dos substratos (CALDEIRA *et al.*, 2000).

Existem vários tipos de substratos no mercado, contudo nem sempre são os mais indicados para determinadas espécies, o que leva à combinação com um ou mais produtos de diferentes composições e origens, sendo que umas das alternativas de melhoria dos substratos são os condicionadores de solo (PETTER *et al.*, 2012).

Segundo Moreira *et al.* (2010), é importante caracterizar materiais alternativos encontrados na forma de resíduos de diversas culturas, tornando possível transformá-los em substrato para produção de mudas, além de contribuir para redução de custos no processo de produção de mudas florestais. É neste sentido, que o biocarvão se apresenta como um

interessante material alternativo, visto que quando presente no solo possui a capacidade de melhorar seu equilíbrio nutricional, aumentando a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e conseqüentemente sua fertilidade (GLASER *et al.*, 2002).

As evidências dos benefícios da aplicação do biocarvão no solo são similares aos efeitos dos chamados solos de “Terra Preta de Índio” ou Horizonte A antrópico, que apresentam altos teores de nutrientes e grandes quantidades de matéria orgânica estável no solo, decorrentes da incorporação de materiais orgânicos, por processo de pirólise, realizada por povos pré-colombianos da Amazônia (MONTEIRO LOPES, 2013).

O uso do biocarvão na agricultura tem despertado o interesse de autoridades políticas e científicas devido aos seus inúmeros benefícios, como o seu potencial de melhorar a produtividade dos cultivos de diferentes espécies (STEINER *et al.*, 2008), remediar solos contaminados (BEESLEY *et al.*, 2010), e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (WOOLF *et al.*, 2010). Entretanto, apesar de seu potencial de utilização, o biocarvão produzido a partir do lodo de esgoto pode apresentar, conforme a origem e o tipo de tratamento, ampla variação na sua composição química, física e biológica (HOSSAIN *et al.*, 2009). Além disso, ainda são escassos os trabalhos sobre a influência de seu uso em diferentes porcentagens na produção de espécies exóticas como as do gênero eucalipto.

## **2. OBJETIVOS DO ESTUDO**

Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão de lodo de esgoto no desenvolvimento e nas características morfológicas de mudas de *Corymbia citriodora Hill & Johnson* aos 90 dias após a semeadura.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Lodo de Esgoto**

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo de composição variável, rico em matéria orgânica e nutrientes. É composto basicamente por biomassa e nutrientes (ex. nitrogênio, fósforo e potássio) e pode conter potenciais constituintes nocivos tais como: microrganismos patogênicos, metais pesados e componentes sintéticos (LEMAINSKI & SILVA, 2006).

O lodo de esgoto é um produto advindo do tratamento de esgoto, efluente ou águas servidas. Trata-se de um produto constituído de resíduos líquidos domésticos e industriais, em proporções variáveis, que necessitam de tratamento adequado para que sejam removidas as impurezas, e assim possam ser devolvidos à natureza sem causar grandes impactos ambientais, bem como, à saúde humana. A estação de tratamento de esgoto (ETE), dependendo do nível de tratamento adotado, pode remover as cargas poluentes do esgoto através de processos físicos, químicos ou biológicos, devolvendo ao ambiente o produto final, efluente tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental vigente no Brasil (CAESB, 2013).

As alternativas para a disposição final do lodo de esgoto requerem tecnologias sofisticadas e de alto custo, sendo controladas por legislação específica, como a Resolução N° 375 de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006). O LE é um produto de difícil disposição final não só devido sua produção em grande quantidade, mas também pela alta concentração de metais tóxicos e patógenos, tornando-se necessário o gerenciamento consciente do LE, evitando dessa forma comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados do tratamento (LUDUVICE, 2001).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) estima que apenas de 10% dos esgotos urbanos no Brasil são tratados nas estações de tratamentos de esgoto antes de serem lançados no rio (CAMARGO e BETTIOL *et al.*,2000). PEGORINI E ANDREOLI (2006) apontam ainda que a utilização do lodo de esgoto deve ser analisada sob uma nova ótica pelos gerenciadores sanitaristas. Estima-se que grande parte do lodo gerado em áreas urbanas no Brasil é destinada para aterros sanitários e apenas cerca de 15% é utilizado na agricultura (GALDOS *et al.*,2004; ANDREOLI *et al.*,2007).

No estado de Sergipe, a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), tem como principal atribuição a prestação e administração de serviços públicos de água e esgoto sanitários em todo o território sergipano. Atua em 73 dos 75 municípios, beneficiando a 1.609.560 habitantes, que correspondem a 78,67% da população do estado; tendo a capital Aracaju o maior sistema de esgoto sanitário do estado com, 31.391 ligações de esgotos (DESO, 2009).

Além dos métodos convencionais para a disposição do LE, como o uso direto na agricultura, a incineração e a disposição em aterros, recentemente tem aumentado o interesse pelo processamento térmico desse material (FRANCA ET AL., 2010; HEJAZIFAR ET AL.,

2011). Entre os tratamentos térmicos, a pirólise é um método promissor comparado aos demais métodos em uso (HWANG *et al.*, 2007).

### 3.2 Pirólise

A pirólise é um processo termoquímico de decomposição direta dos componentes orgânicos da biomassa na ausência de oxigênio e forma produtos úteis, tais como: o líquido, denominado bio-óleo; gases, tais como água (H<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) e etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>); e o sólido que é denominado biocarvão (VIEIRA, 2012). O lodo de esgoto é uma das diversas matérias-primas que podem ser utilizadas para a produção de biocarvão (HOSSAIN *et al.*, 2011). A transformação do LE em biocarvão elimina patógenos e torna o produto mais seguro para aplicação no solo (DEVI *et al.*, 2013). A pirólise é uma das muitas formas de se produzir energia a partir de biomassa (BRIDGWATER, 2003). O que distingue a pirólise dos outros modos alternativos de se converter biomassa em energia é a produção de um subproduto rico em carbono orgânico: o biocarvão.

Na pirólise, a biomassa é aquecida com ausência parcial ou total de oxigênio, em temperaturas ótimas entre 450 a 550°C, para produção de biocarvão (LEHMANN, 2007). Nestas temperaturas, a biomassa sofre decomposição térmica de seus precursores orgânicos por processo exotérmico, liberando grandes quantidades de componentes voláteis e calor, produzindo uma matriz carbonosa com estrutura porosa rudimentar (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004), além de gás rico em hidrocarbonetos e bio-óleo (Figura 1). Ambos os gases e o bio-óleo, podem ser aproveitados na produção de energia elétrica, biocombustíveis e hidrogênio para uso doméstico e em carros.

Vieira (2012) afirma ainda que a pirólise é um processo químico onde há absorção de calor que atua na decomposição de componentes de natureza orgânica da biomassa e ocorre em temperaturas relativamente baixas (<700°) (LEHMANN e JOSEPH, 2009).

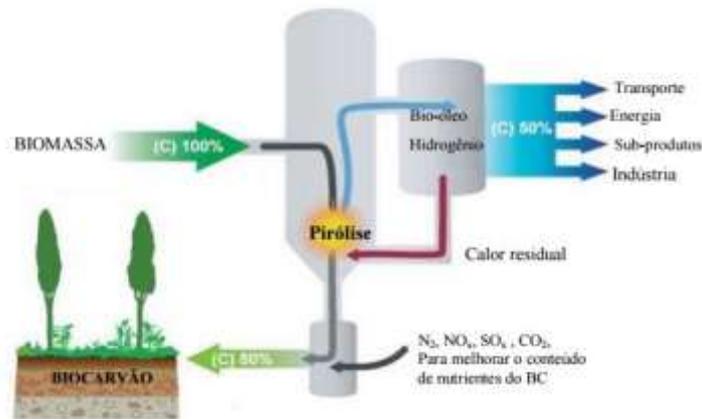


FIGURA 1. Conceito de pirólise e sequestro de carbono por LEHMANN (2007).

Vieira (2012) afirma ainda que a pirólise é um processo químico onde há absorção de calor que atua na decomposição de componentes de natureza orgânica da biomassa e ocorre em temperaturas relativamente baixas (<700°) (LEHMANN e JOSEPH, 2009).

Este processo de queima, na ausência de oxigênio é capaz de reter nas cinzas mais de 50% de carbono, diferente da combustão com oxigênio que retém apenas de 2 a 3% de carbono (MANGRICH *et al.* 2011). Um biocarvão de boa qualidade apresenta estrutura interna inerte, semelhante ao grafite, que preserva o carbono no solo por centenas de anos (REZENDE *et al.*,2011). Sua lenta decomposição no solo pode ser uma alternativa na redução da emissão de CO<sub>2</sub> atmosférico (JHA *et al.*, 2010).

### 3.3 Biocarvão

De acordo com Lehmann & Joseph (2009), o biocarvão é basicamente um produto rico em carbono, obtido quando a biomassa, como madeira, por exemplo, é aquecida num recipiente fechado numa condição de baixo ou nenhum oxigênio.

Madari *et al* (2019), definiram biocarvão como o produto da combustão incompleta (pirólise) de um dado material orgânico, que possui alta quantidade de carbono e grande área superficial devido à macroporosidade. De acordo com o modo como é produzido, o biochar aperfeiçoa certas características consideradas úteis na agricultura, como elevada área superficial por unidade de volume e baixa quantidade de resinas residuais (HUNT *et al.*, 2010). As propriedades do produto final na produção de biochar não dependem apenas dos

parâmetros do processo de pirólise, mas também da natureza da matéria-prima utilizada (CHEN *et al.*, 2011).

A estrutura porosa do biocarvão pode proporcionar aumento na retenção de água e nutrientes no solo e no substrato, reduzindo as perdas por e melhorando diretamente a eficiência das adubações, o que resulta em economia de fertilizantes químicos. lixiviação (GLASER *et al.*, 2002; LEHMANN, 2007; LEHMANN e JOSEPH, 2009)

Devido a estas características e à sua alta estabilidade no solo, o biocarvão é capaz de aumentar a germinação e o crescimento vegetal, influenciando diretamente na produtividade das culturas (GLASER *et al.*, 2002).

Chidumayo (1994), analisando diferentes espécies de plantas lenhosas plantadas em substrato contendo biocarvão, encontrou incremento de até 30% na germinação das sementes, 24% no crescimento em altura e 13% na produção de biomassa, sendo a biomassa o fator de maior interesse na silvicultura.

Estes fatores intrínsecos à natureza físico-química do biocarvão o transformam em um potencial condicionador de solo e de substrato para produção de mudas (SOUCHIE *et al.*, 2011), que merece ser testado nas mais diversas culturas agrícolas e florestais. Além desses benefícios, apresenta a vantagem adicional do baixo custo, uma vez que a matéria-prima pode ser obtida facilmente na propriedade rural (BENITES *et al.*, 2009).

### **3.4 *Corymbia citriodora***

Comumente conhecido por eucalipto citriodora, o *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, é originário do estado de Queensland na Austrália. É uma das espécies de maior plasticidade no Brasil, encontrada em plantações desde o estado do Rio Grande do Sul até a região amazônica (DOGENSKI, 2013).

O *citriodora* ou cheiroso (*Corymbia citriodora*) tem o seu cultivo ampliado no Brasil, ano após ano, pelas suas características de rápido crescimento e adaptação edafoclimática, além das características silviculturais e da qualidade de sua madeira (MORAIS *et al.*, 2010). VIEIRA (2004) destaca ainda que a área estimada de plantio de *C. citriodora* no Brasil era de 85 mil ha, com maior concentração nos estados de Minas Gerais e São Paulo (Kronka *et al.*, 2002).

A madeira é muito utilizada para construções, estruturas, caixotaria, postes, dormentes, mourões, lenha e carvão, sendo também adequada ao uso em peças estruturais pelas suas características de resistência mecânica, durabilidade natural e menor tendência ao rachamento. A densidade básica (Db) atinge em média, 0,750 g cm<sup>-3</sup>(PEREIRA *et al.*, 2000). Das suas folhas é extraído um óleo essencial muito utilizado na indústria química e farmacêutica (VITTI; BRITO, 2003). Segundo Lorenzi et al. (2003), é uma árvore perenifólia, ou seja, mantém suas folhas durante o ano todo. Pode chegar a 20-25 m de altura, de tronco ereto.

Mudas de *C. citriodora* são produzidas apenas pelo sistema de semeadura, pois não há bons resultados no enraizamento para sistema de estaquia (EMBRAPA, 2003). Povoamentos desta espécie são manejados principalmente para produção de madeira devido à sua boa qualidade; mas também para obtenção de óleo essencial. O manejo voltado para a produção de madeira apenas é comumente realizado no sistema de alto fuste, em espaçamentos que variam de 3 x 1,5 m, 3 x 3 m, e principalmente 3 x 2 m (1.666 plantas/ha) (VIEIRA, 2004).

O óleo essencial, obtido principalmente das folhas, é um produto de odor agradável conhecido por citronela, que possui grande demanda no mercado por fazer parte da composição de diversos produtos como aromatizantes, sabonetes, desinfetantes, detergentes, entre outros (ANDRADE & GOMES, 2000). O *C. citriodora* foi introduzido no Brasil visando primeiramente à produção de madeira, mas atualmente é também utilizado para produção de postes, madeira para serraria, mourões, carvão vegetal e produção de óleo essencial, onde mais se destaca (VITTI & BRITTO, 2003).

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Sergipe - UFS, localizada no município de São Cristóvão-SE. No período de 27 de junho de 2018 a 26 de setembro de 2018. O clima da região é do tipo As, de acordo com a classificação de Köppen (tropical chuvoso com verão seco). O período chuvoso ocorre entre os meses de abril e agosto, sendo a temperatura média de 25,5 °C, a umidade relativa do ar média de 75% e a precipitação média anual de 1.200 mm (MELO et al., 2006).

As sementes de *C. citriodora* foram adquiridas no Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), localizado no Estado de São Paulo, Brasil.

As sementes foram semeadas em tubetes cônicos, de plástico rígido com capacidade de 50 cm<sup>3</sup>, sendo colocadas três sementes por tubete contendo substrato composto pelo substrato comercial Carolina Padrão, adicionado às dosagens de 0%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de biocarvão de lodo de esgoto, a depender de cada tratamento. Carolina Padrão é usualmente utilizado na produção de mudas de espécies florestais e apresenta em sua composição Turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante N, P, K (traços). Esse substrato apresenta potencial hidrogeniônico (pH): 5,5 +/- 0,5; condutividade elétrica (CE): 0,7 +/- 0,3 mS/cm; densidade: 145 kg/m<sup>3</sup>; capacidade de retenção de água (CRA -10): 55% e umidade máxima de 50%.

O lodo de Esgoto (LE) foi cedido pela DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe, sendo a coleta feita na estação localizada no município de Aracaju-SE. O processo de obtenção deu-se dentro dos trâmites legais da Resolução CONAMA de N° 375, de 29 de agosto de 2006 que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodo de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e das outras providências.

Os resíduos foram secos ao ar livre para redução do teor de umidade antes da carbonização, a qual foi realizada em um reator artesanal do tipo TLUD (top lid up draft), com temperatura variando de 450-600 °C (Figura 2). O tempo de retenção foi de 3 horas. Após a pirólise, o biocarvão foi triturado e peneirado em malha de 2 mm.



Figura 2 – Forno artesanal usado para a produção de biocarvão. São Cristóvão-SE.

## **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO**

O biocarvão foi caracterizado no Laboratório Multiusuário do Núcleo de Petróleo e Gás da Universidade Federal de Sergipe. Foram realizadas avaliações de porosidade, área superficial específica, imagens da estrutura, grupos funcionais; análise elementar e aproximada; concentrações de P, K, Na e Cu; pH e CE.

### **4.1.1 Porosidade, área superficial específica e imagens da estrutura**

Para a realização da análise das estruturas superficiais do biocarvão, as amostras foram previamente gaseificadas na temperatura de 150 °C, por um período de 2h. A porosidade das amostras foi determinada através do sistema de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (TM 3000/ Hitachi), operando a 15 kV, a alto vácuo com corrente de emissão de 29500 nA e corrente de filamento de 1850 nA. A técnica de adsorção de nitrogênio a 77 K foi utilizada para determinar as áreas superficiais específicas através do equipamento de marca Quantachrome, modelo NOVA 1200, utilizando o método BET desenvolvido por Brunauer-Emmett-Teller (1938) (KUILA & PRASAD, 2013). As imagens da estrutura do biocarvão foram obtidas por microscopia eletrônica de varredura em um equipamento TESLA.

### **4.1.2 Grupos funcionais**

Os grupos funcionais presentes nas amostras de biocarvão foram identificados através de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os espectros de transmitância na região do infravermelho foram registrados em espectrofotômetro Bio-Rad, Excalibur Series FTS 3500 GX, utilizando-se pastilhas de KBr ( $\pm 1$  mg de biocarvão/99 mg de KBr). Para cada espectro foram acumuladas 32 varreduras com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  na região de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  (HSU, 1997; WILEY, 1979).

### **4.1.3 Análise elementar**

As concentrações de C, N, H e S foram determinadas em um equipamento da marca LECO, modelo CHN628, e os resultados tratados no software CHN628, versão 1.30. O equipamento foi operado com hélio (99,995%) e oxigênio (99,99%), com temperatura da fornalha a 950 °C e temperatura de incinerador a 850 °C. O equipamento foi calibrado com um padrão de EDTA (41,0% C; 5,5% H e 9,5% N), usando massa na faixa entre 10-200 mg. O padrão e as amostras foram analisados utilizando 100 mg das amostras em papel alumínio (ATES & ISIKDAG, 2008). O teor de oxigênio foi calculado por diferença.

### **4.1.4 Análise aproximada**

A análise aproximada inclui a determinação da umidade, material volátil, cinzas e carbono fixo do biocarvão. Aproximadamente 1 g de biocarvão foi transferida para cadinho de porcelana e levada para estufa previamente aquecida a  $105 \pm 5$  °C, por um período de 24 horas. Após pesagem, determinou-se a umidade. O material residual foi levado a uma mufla previamente aquecida a  $950 \pm 10$  °C por 8 minutos e pesado para o cálculo da matéria volátil. O material residual retornou então ao forno mufla a uma temperatura de 750 °C, por 6 horas, para a determinação do teor de cinzas, de acordo com metodologia da ASTM D1762. O teor de carbono fixo foi determinado pela equação:

$$\text{Carbono fixo} = 100 - (\text{umidade} + \text{matéria volátil} + \text{cinzas}).$$

### **4.1.5 Concentrações de P, K, Na e Cu pH e CE**

Foram determinadas as concentrações de K e Na após extração com solução de Mehlich 1, (SILVA & RAIJ, 1999). A determinação analítica foi feita pelo método direto em fotômetro de chamas após a extração do biocarvão. O equipamento foi calibrado com Na e K, através de soluções padrão (10 M, 20 M, 30 M e 40 M de  $K^+$  e  $Na^+$ ) sendo sequencialmente realizadas as leituras das amostras (SILVA, 2009).

As concentrações de P e K nos biocarvões foram analisadas também após a extração com solução 1% de ácido cítrico ( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  1% (BARNARD et al., 1990). Exatamente 2g de biocarvão foram transferidas para tubos Falcon de 50 mL e adicionados 40 ml da solução

de ácido cítrico 1%. Após esse procedimento, as amostras foram tampadas, agitadas em agitador horizontal a 250 rpm durante 10 minutos, e imediatamente filtradas com papel filtro nº 41, de filtragem rápida. Uma alíquota de 5 ml do extrato foi usada para análise de P disponível, por colorimetria. A alíquota retirada para analisar o P foi transferida para copo descartável de 50 ml, onde foi adicionando 10 ml de solução ácida de molibdato de amônia diluída, com uma medida ( $\pm 30$  mg) de ácido ascórbico. Após agitação com bastão de vidro, a amostra ficou em repouso por 45 minutos para o desenvolvimento da cor, para em seguida ser realizada a leitura da densidade ótica em fotocolorímetro. A análise da concentração de K disponível foi feita por fotometria de chama.

A concentração pseudo-total de Cu nos biocarvões foi obtida por extração com  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ , de acordo com metodologia da USEPA (1986), método EPA 3050. Inicialmente, pesou-se  $\pm 0,25$ g da amostra de biocarvão, a qual foi transferida para tubos de digestão, onde foram adicionados 10 ml de  $\text{HNO}_3$  1:1. Após 12 horas de repouso para a pré-digestão, as amostras foram transferidas para o bloco digestor, aquecido a 105 °C. As amostras foram tampadas com bolas de vidro para refluxo. Após um período de 2h, as amostras foram retiradas do bloco digestor para o acréscimo de mais 5 ml da solução 1:1 de  $\text{HNO}_3$  e devolvidas ao bloco digestor com a mesma temperatura por mais 1 hora, para a completa digestão. O processo foi concluído após a adição de 500 $\mu$ l de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 30% para eliminação da cor amarronzada e eliminação do excesso de matéria orgânica. As amostras foram filtradas em papel nº 42 (filtragem lenta) e diluídas para 50 ml, com água destilada. A concentração de cobre nas amostras foi determinada por espectrometria de Absorção Atômica-AA-700, no laboratório multiusuário de Química na UFS.

Para determinar o pH e a condutividade elétrica (CE), foi usada uma relação 1: 5 (m/v) de biocarvão e água destilada. Exatamente 5 g de biocarvão foram pesadas em erlenmeyer de 125 ml e, após a adição de 25 ml de água destilada, as amostras foram agitadas em mesa agitadora por 1h 30, com 250 rpm. Após 1 hora de repouso, o pH foi determinado em potenciômetro de bancada, e a CE foi determinada em condutivímetro de bancada (GASKIN et al., 2008; RAJCOVICH et al., 2012).

## 4.2. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DAS MUDAS

Os tubetes contendo as três sementes foram colocados em local com sombreamento de 50%, por um período de dez dias, até a completa germinação das sementes. Decorrido o tempo de germinação, as mudas foram e transferidas para um local em pleno sol.

O processo de raleio, que se refere à seleção da plântula mais central e vigorosa, foi realizado à sombra e quando as plântulas apresentaram altura entre 2,5 e 3,0 cm. O arranque das duas plântulas excedentes foi realizado após irrigação do substrato, de modo a torná-lo o mais solto possível, evitando danificar a plântula selecionada.

Para os tubetes, foi adotada a intercalação entre elas, com ocupação de 50% da área de cada bandeja, permitindo melhor aeração entre as mudas, reduzindo o risco de contaminação com fungos patogênicos e possibilitando melhor irrigação, aplicação de adubos e quantidade de luz nas mudas.

A irrigação das mudas foi realizada três vezes ao dia durante todo período experimental.

Imediatamente após a fase de germinação, foram realizadas 8 adubações de arranque intercaladas a cada 3 dias, visando manter a quantidade de nutrientes disponível no substrato. A adubação foi composta por sulfato de amônio (0,3 g/L de água), superfosfato simples (4,6 g/L de água), cloreto de potássio (2,1 g/L de água) e FTE\* BR 10 (0,5 g/L de água).

Após as adubações de arranque, foram iniciadas as adubações de crescimento intercaladas a cada 3 dias até a muda completar 90 dias. Essa adubação foi composta por ureia (8,0 g/L de água), superfosfato simples (6,0 g/L de água), cloreto de potássio (6,0 g/L de água) e FTE\* BR 10 (0,5 g/L de água).

As aplicações foram realizadas ao entardecer e as mudas foram irrigadas imediatamente após a adubação para lavagem da parte aérea, evitando a queima das folhas pelo adubo.

As mudas foram avaliadas quanto a seus parâmetros morfológicas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura. Os parâmetros avaliações foram altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto na altura do substrato (DC), peso da matéria fresca e seca da parte aérea ((PMFPA-PMSPA) e, peso da matéria seca total (PMST).

A altura (H), em centímetros, foi determinada com uma régua milimetrada a partir do nível do substrato até a extremidade da folha mais alta e, o diâmetro do coleto (DC), em milímetros, foi determinado ao nível do substrato com auxílio de um paquímetro de precisão.

A determinação PMFPA foi realizado, com o auxílio de uma balança analítica, logo após a separação da parte aérea da raiz, e em seguida as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufas a 75°C, por 72 horas, para a determinação do PMSPA.

A partir dos dados coletados foram determinados a relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo (H/D) e o índice da qualidade de Dickson (IQD) foi determinado em função dos parâmetros H, DC, PMSPA, e PMSPR de acordo com a seguinte fórmula:

$$IQD=PMST/(H/DC + PMSPA/PMSR)$$

### **4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA**

O experimento foi realizado com seis tratamentos (0%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de LE) em que cada tinha seis repetições, em que cada planta representava uma repetição. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F a 5% de probabilidade em seguida as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade ( $p<0,05$ ), com o auxílio do programa estatístico SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.2 Parâmetros morfológicos das mudas**

Os parâmetros morfológicos são uma das principais ferramentas para avaliação da qualidade de mudas florestais, sejam elas em viveiro ou em campo. Após os 90 dias de avaliações observou-se que, em relação à eficiência de emergência, não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade ( $p<0,05$ ). Entretanto, notou-se que a espécie obteve uma alta capacidade de emergência nas diferentes composições dos substratos testados, chegando a 94% de emergência nos tratamentos com 20%, 25% e 30% de biocarvão de lodo de esgoto (Figura 3). CHIDUMAYO (1994), ao analisar diferentes espécies de plantas lenhosas plantadas em substrato contendo o biocarvão, encontrou um incremento de até 30% na germinação das sementes, o que corrobora com os altos índices de emergência encontrados para o *C. citriodora*.

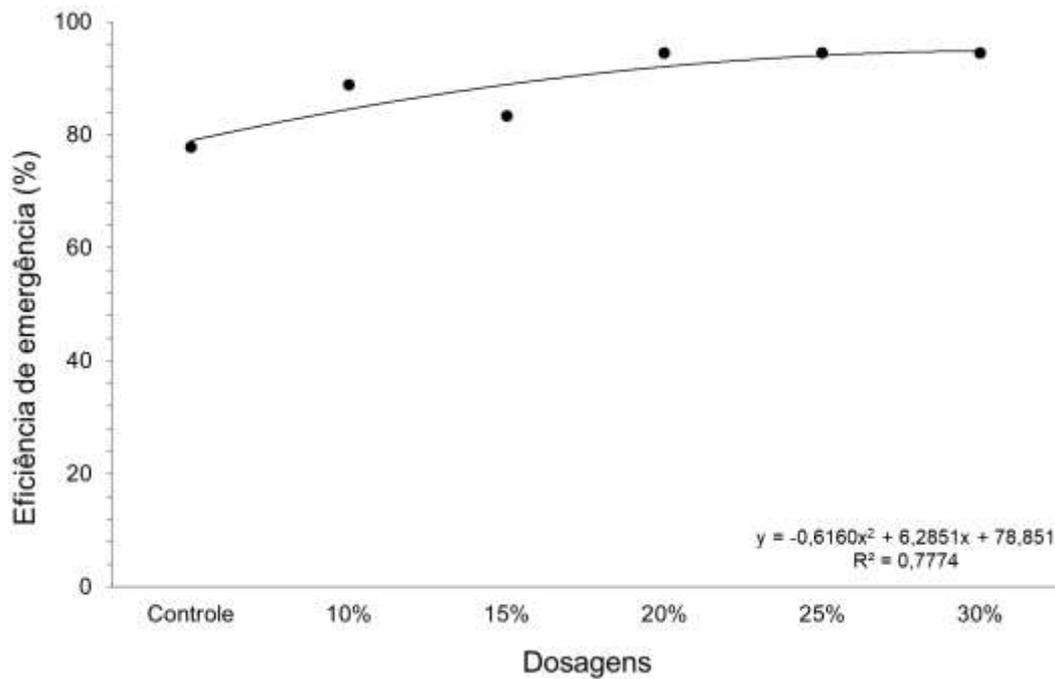


FIGURA 3: Eficiência de emergência (%) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

Ao analisar os parâmetros morfológicos relacionados à altura de mudas e ao diâmetro do coleto, não se observou efeito significativo da aplicação de biocarvão em *C. citriodora*. Para os valores de altura, os tratamentos com 15% e 20% de biocarvão de LE apresentaram maiores valores, sendo suas médias 33cm e 34cm, respectivamente (Figura 4). Já a menor altura foi obtida no tratamento controle com 29cm. O desenvolvimento máximo da muda em altura foi atingido com a dose de 20% de biocarvão de LE aos 90 dias, com 34cm. Estudos demonstram que, quanto mais alta a concentração de biocarvão, menores serão os índices morfológicos, fato atrelado aos compostos inibidores presentes no biocarvão, o que justifica a tendência de decréscimo da curva no desenvolvimento de mudas de *C. citriodora*.

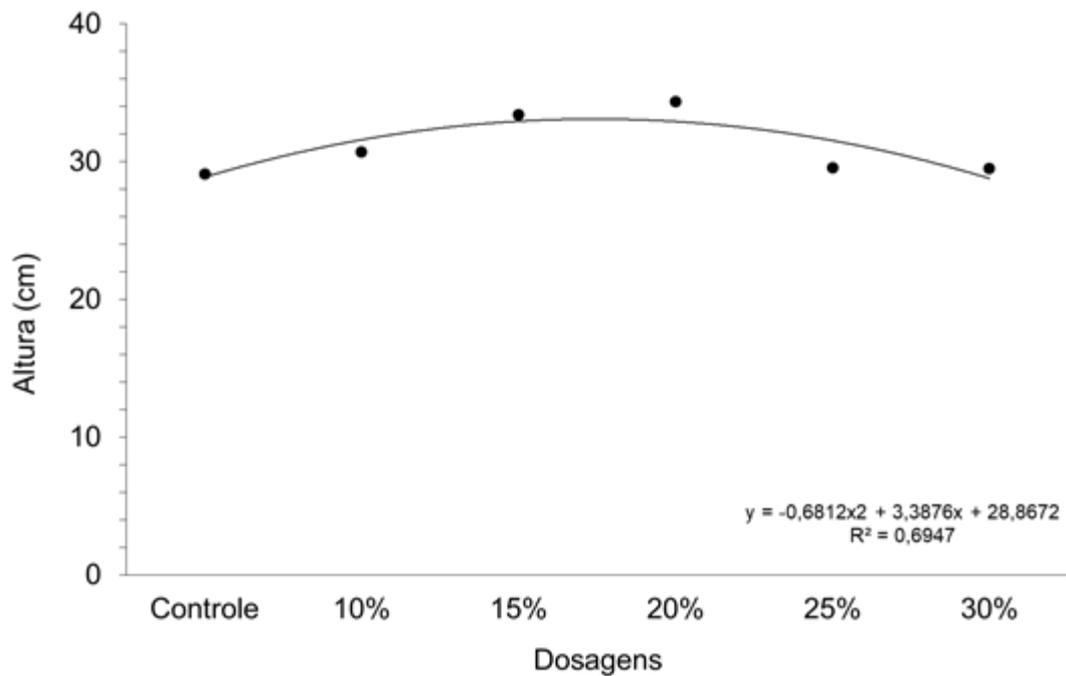


FIGURA 4: Altura média (cm) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós a semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão).

Bernardi et al., (2012) afirmam que ocorre um certo grau de dificuldade na produção de mudas de *C. citriodora*; isso porque, em geral, elas apresentam menor crescimento, além de maior susceptibilidade às doenças e exigências nutricionais. O lento crescimento das mudas reduz a sua capacidade de reter nutrientes da adubação de cobertura, em virtude do rápido processo de lixiviação que pode vir a ocorrer. Segundo a Embrapa, as mudas produzidas por sementes devem ter um padrão entre 15 a 25 cm de altura aos 120 dias para comercialização. Entretanto, as mudas submetidas a diferentes doses de biocarvão não apresentaram crescimento lento e atingiram maiores altura que a desejável aos 90 dias. Mudas com rápido desenvolvimento, possibilitam maior taxa de expedição para campo feita pelos viveiros florestais, processo esse desejado na produção de mudas. Segundo GOMES et al. (2002), a altura da parte aérea, dentre outros aspectos, apresenta boa contribuição à qualidade final das mudas para expedição.

Carneiro (1995) afirma que a altura da parte aérea combinada com o diâmetro do coleto constitui um dos mais importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento das mudas no viveiro e em plantio definitivo no campo, os quais não devem ser avaliados isoladamente para diagnosticar a qualidade das mudas.

Para o diâmetro do coleto, Wendling & Dutra (2010) consideram que mudas de eucalipto com adequado padrão de qualidade devem possuir um valor mínimo de 2,0 mm, confrontando LOPES et al. (2007), que defendem média de 2,5 mm, para o plantio de *Eucalyptus grandis* no campo. Com isto, pôde-se concluir que os tratamentos desse estudo enquadram-se no diâmetro mínimo considerado adequado pelos autores supracitados, para serem levadas ao campo aos 90 dias de crescimento das mudas, apresentando médias superiores a 3,7mm (Figura 5) de diâmetro do coleto.

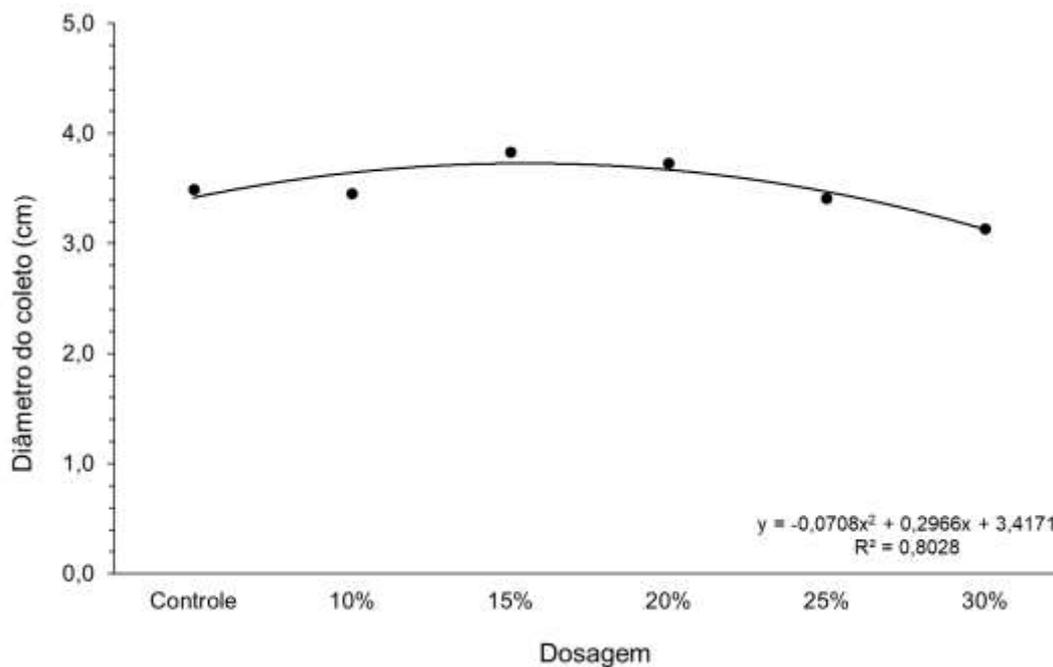


FIGURA 5: Diâmetro do colo (cm) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós-semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

É possível notar que, os valores médios de diâmetro variam entre 3,4 e 3,8 cm, onde as mudas que receberam dosagens de 30% apresentaram menores médias de diâmetro, com tendência ao decréscimo em dosagens maiores de biocarvão. Contudo, não houve diferença estatística significativa entre as dosagens testadas e o controle, e o diâmetro encontra-se dentro do padrão ideal conforme a literatura, entendendo-se desta forma que a aplicação do lodo na maior concentração deve ser considerada. Neste sentido, SIMÕES et al. (2012), testando a produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden  $\times$  *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, por meio de sementes, utilizando 12 composições de substrato, observaram que

houve variação de 2,45 mm a 3,48 mm, para o diâmetro das mudas. Os autores também concluíram que os melhores resultados foram obtidos nos substratos com mistura 1:1 de casca de arroz carbonizada e fibra de coco e 1:1 de vermiculita e fibra de coco.

De acordo com Petter (2010), o biocarvão contribui para uma maior absorção de nutrientes, principalmente em função das superfícies reativas nas bordas das estruturas aromáticas dos poros do biocarvão, atuando como condicionador de substrato. Essa característica do biocarvão eleva as concentrações de bases e conseqüentemente reduz a acidez no substrato. Segundo este mesmo autor, outra explicação para as boas respostas das mudas à aplicação do biocarvão, seria um possível efeito eletrofisiológico do carbono pirogênico para as plantas, em que poderia estar havendo redução na energia necessária gasta pelas plantas para a absorção da quantidade necessária de nutrientes, efeito que foi observado também para as mudas de *C. citriodora*.

Um dos parâmetros de maior importância na avaliação da qualidade de mudas é a relação altura da parte aérea e o diâmetro do coleto, em que não foram constatadas diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ). Resultados similares foram encontrados por PETTER et al. (2012) ao analisarem o parâmetro morfológico da relação H/D do coleto, em que não foi observado efeito significativo da aplicação de biocarvão em *E. citriodora*. De acordo com CARNEIRO (1995), a relação altura de plantas/diâmetro do coleto exprime um equilíbrio de crescimento, que segundo BIRCHLER et al. (1998), para mudas de boa qualidade, não deve exceder uma relação maior que 10.

Nesse sentido Sturion e Antunes (2000), afirmam que o índice H/D reflete o acúmulo de reservas, maior resistência e melhor fixação no solo. As mudas com baixo diâmetro de colo e alturas elevadas são consideradas de qualidade inferior às menores e com maior diâmetro. A aplicação de diferentes doses de biocarvão não promoveu alterações na variável razão altura/diâmetro em relação ao controle para a presente espécie (Figura 6).

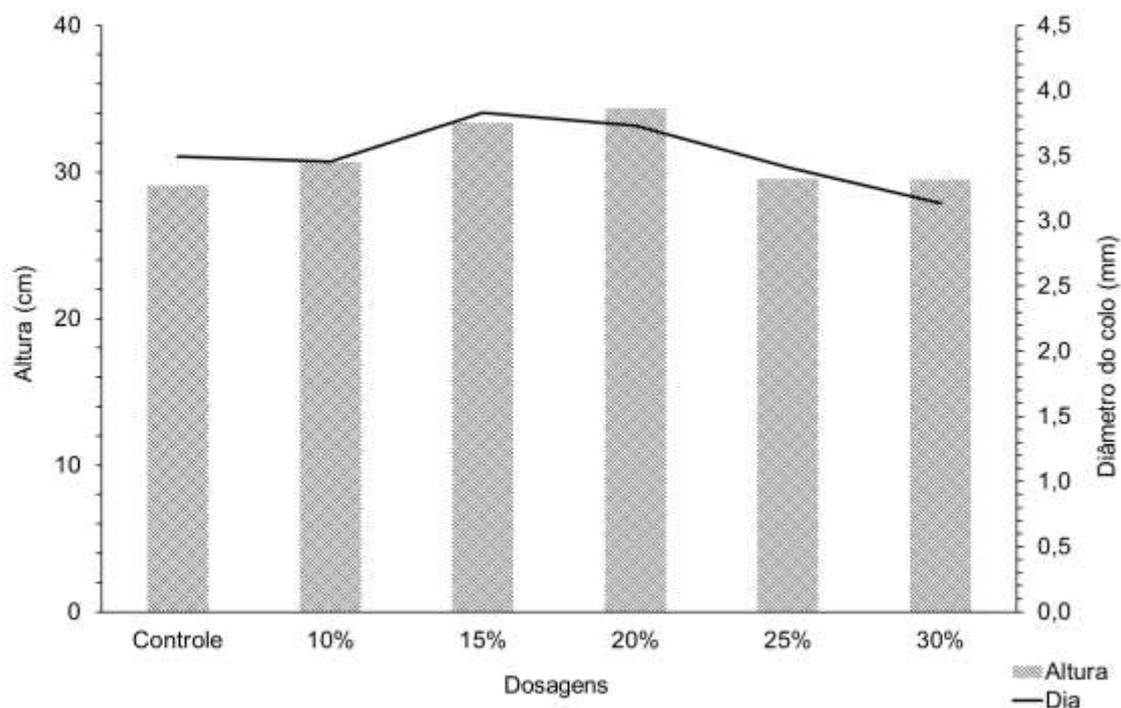


FIGURA 6: Relação altura/diâmetro (H/D) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

Na análise de variância, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) para o parâmetro matéria seca da parte aérea (PMSPA). Basicamente, a massa seca refere-se à biomassa acumulada das plântulas, resultante do processo de retirada da umidade das mesmas, depois de permanecerem em estufa a  $75^{\circ}\text{C}$  por 72 horas. O mesmo comportamento foi observado para a matéria fresca da parte aérea (PMFPA). Em termos de valores absolutos, destacam-se os tratamentos com 20% e 25% de biocarvão de LE com maiores valores para massa fresca e mantendo o padrão para a massa seca (Figura 6). Esses dados são compatíveis com os apresentados por ZANETTI et al. (2003), em que não encontraram diferença significativa para o ganho de fitomassa em mudas de limoeiro com a adição de 20% de biocarvão ao substrato.

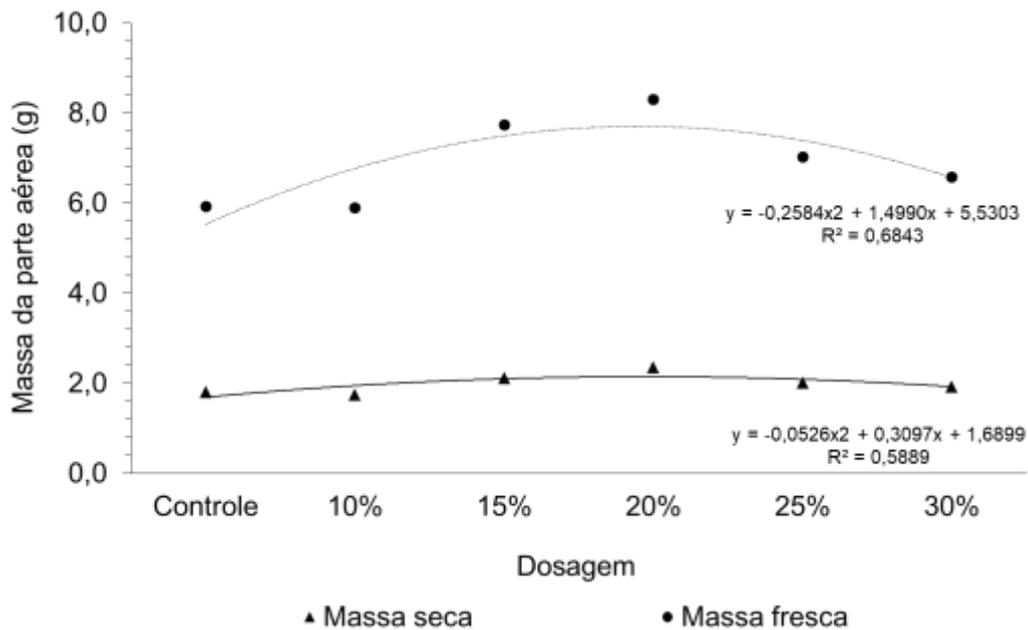


FIGURA 7: Massa fresca (g) e seca da parte aérea (g) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias pós semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

Observa-se ainda que as médias de massa seca mantiveram um padrão quando comparadas aos índices de eficiência de emergência e a relação altura/diâmetro. PETTER *et al.* (2012), em seu estudo com mudas de eucalipto, observaram melhoria no desenvolvimento de mudas de *E. citriodora* em substrato comercial Germinar com adição da concentração de 7,5% de biocarvão. Entretanto, as concentrações acima de 30% prejudicaram o desenvolvimento das mudas, tendo influência direta na massa seca das mudas, característica mais importante quando se deseja obtenção de biomassa para aplicações diversas. Considera-se que, o parâmetro massa seca é importante para a avaliação do vigor das mudas, pois é por meio desse que observamos o bom funcionamento da fisiologia da plântula/muda na translocação inicial de sua reserva presente na semente para o desenvolvimento da plântula e em seguida, a transformação de nutrientes absorvidos do meio para o desenvolvimento da mesma.

Para a fitomassa seca da raiz, o comportamento é semelhante às variáveis da fitomassa seca da parte aérea em que novamente não foi verificada diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Maiores médias de matéria seca da raiz podem ser observadas no tratamento controle e nas dosagens de 10% e 15% de Biocarvão de LE (Figura 8), ou seja, a espécie respondeu positivamente à aplicação de 10% e 15% de biocarvão ao substrato,

enquanto que as doses acima de 15% tenderam a proporcionar menores valores para esse parâmetro. Efeito similar foi encontrado por GONZAGA *et al.* (2018) ao testarem o biocarvão de LE em mudas de *Eucalyptus grandis* L, em que constatou que o aumento da aplicação do biocarvão de 20 t ha<sup>1</sup> para 100 t ha<sup>1</sup> teve a biomassa de parte aérea significativamente reduzida. As doses mais baixas de biocarvão entre 20 e 40 t ha<sup>1</sup> aumentaram significativamente a biomassa radicular em até 43%; enquanto as doses mais altas entre 80 e 100 t ha<sup>1</sup>, reduziram significativamente a biomassa radicular em 12% e 16%, respectivamente.

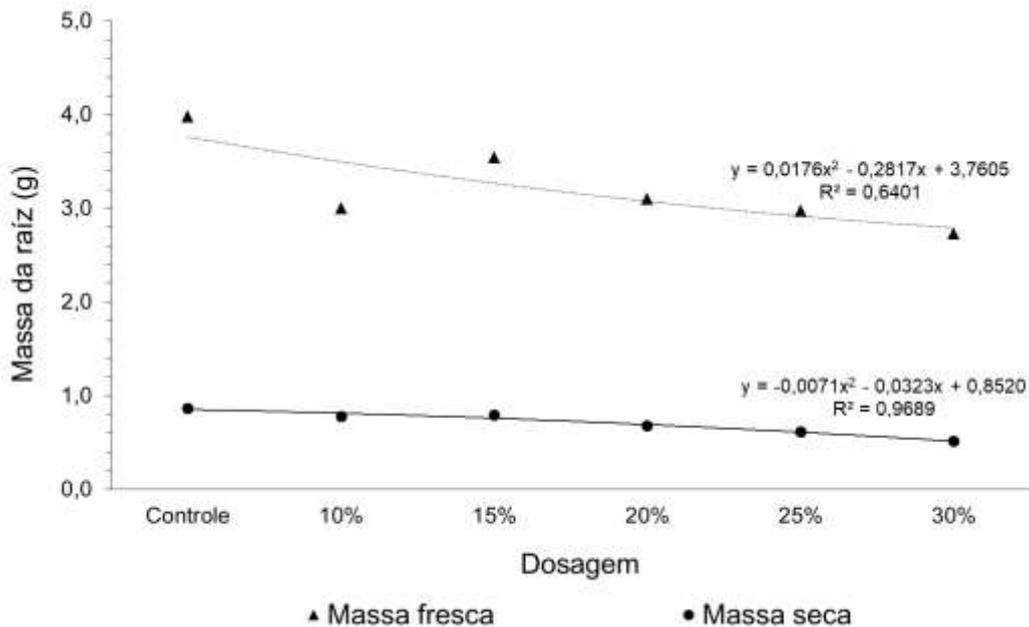


FIGURA 8: Massa fresca e seca da raiz (g) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, aos 90 dias após semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

As elevadas doses de biocarvão podem ter provocado deficiência induzida de nitrogênio, devido à alta relação C/N do biocarvão, principalmente em função da estabilidade molecular proporcionado pelas estruturas aromáticas. WARNOCK *ET AL.* (2007) em revisão de literatura demonstraram que a adição de diferentes tipos de biocarvão pode alterar a disponibilidade de nutrientes por modificar as propriedades físico-químicas do solo. Os autores desta revisão afirmam também que o biocarvão apresenta efeito positivo para o aumento da incidência de fungos micorrízicos, mostrando que estes fungos respondem positivamente à aplicação de biocarvão.

Outro parâmetro avaliado foi o índice de clorofila a e b presente nas folhas das mudas de *C citriodora*. Segundo GONZAGA *et al.* (2018), o teor de clorofila está relacionado diretamente à concentração de N nas folhas das plantas. As clorofilas são os principais pigmentos cloroplastídicos responsáveis pela captação de radiação solar que durante o processo de fotossíntese é convertida em energia química na forma de ATP e NADPH (MARENCO & LOPES, 2005). É possível notar que a concentração de N do biocarvão de LE não interferiu ( $p < 0,05$ ) no desenvolvimento de mudas (Figura 9). Possivelmente, o nitrogênio não está disponível em sua forma total para a planta, sendo os tratamentos com biocarvão (10%, 15%, 20%, 25% e 30%) semelhante ao tratamento testemunha (0%). Sobretudo em termos de valores absolutos, é possível notar que as maiores concentrações de biocarvão proporcionaram maiores teores de N nas folhas.

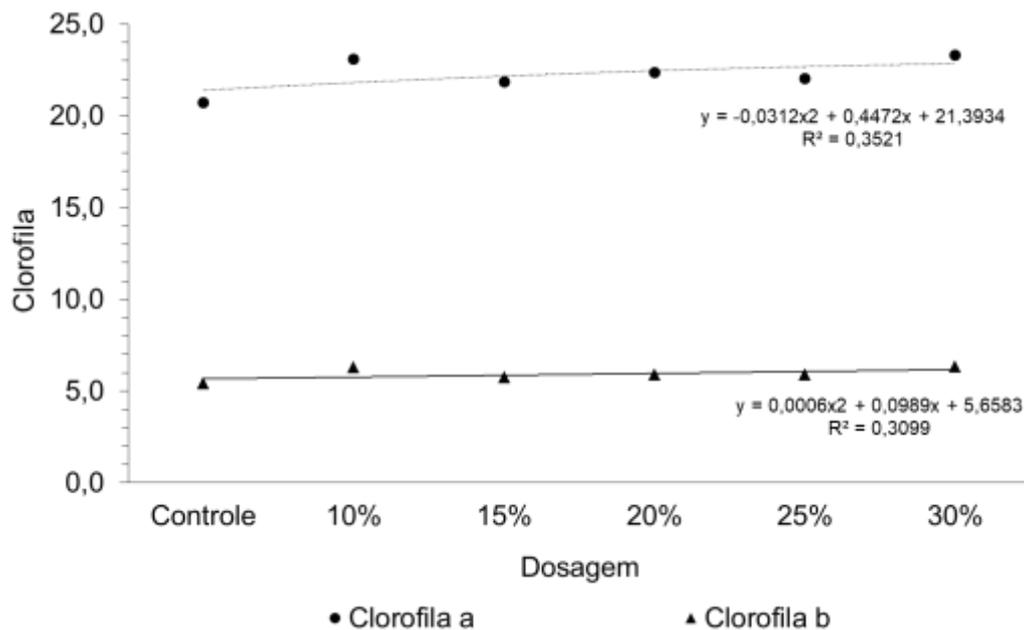


FIGURA 9: Teor de clorofila (a e b) em mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, ao longo aos 90 dias após sementeira sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

Resultado similar foi encontrando por Trigueiro *et al.* (2003) ao constatarem o aumento de N nas maiores concentrações de biossólidos testado em mudas de Eucalipto; observaram, ainda que visualmente, as plantas com biossólidos apresentaram coloração verde

intenso em suas folhas, comportamento também notado nas mudas de *C citriodora* do presente estudo com diferentes doses do biocarvão de LE.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) apresenta-se como um indicador mais completo para verificar a qualidade de mudas, pois para seu cálculo considera-se a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, sendo ponderados vários parâmetros importantes como altura da muda, diâmetro do coleto, peso seco da parte aérea e da raiz (FONSECA *et al.*, 2002). Quanto maior o valor do IQD, melhor a qualidade das mudas para expedição. Pode-se observar que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) para o parâmetro IQD (Figura 10). Em termos de valores absolutos, os tratamentos com menores dosagens de biocarvão 10%, 15% e 20% mostram melhores respostas de desenvolvimento.

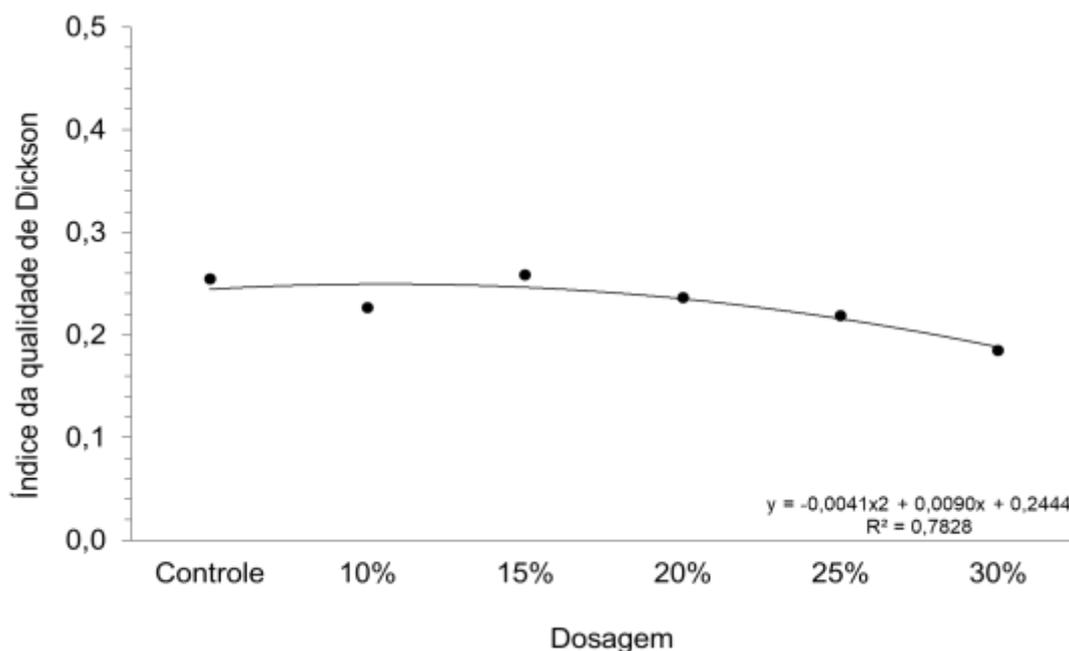


FIGURA 10: Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Corymbia citriodora*, sob diferentes concentrações de biocarvão de lodo de esgoto como condicionante do substrato, ao longo dos 90 dias após semeadura sob condições de viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão.

Estudos relatam que os valores de IQD para o eucalipto variam entre 0,05 até 0,2, podendo haver variações para mais ou para menos. Gomes *et al.* (2002) defendem que quanto maior o valor do índice, melhor o padrão de qualidade das mudas. Trabalhando com *Eucalyptus urophylla*, Oliveira Júnior *et al.* (2011) verificaram maiores valores de IQD nos

tratamentos que continham esterco bovino, pó de casca de coco e vermiculita, como componentes. Steffen *et al.* (2011) encontraram valores de IQD variando entre 0,12 e 0,21 para mudas de *Eucalyptus grandis*, e entre 0,05 e 0,20 para mudas de *Corymbia citriodora* produzidas em substratos compostos por diferentes proporções de vermicomposto e turfa.

Nota-se que os valores de IQD (Figura 10) sofreram pouca variação, ficando suas médias entre 0,2 e 0,26, o que mostra um bom desempenho e uma boa qualidade das mudas de *C. citriodora* produzidas com biocarvão de lodo de esgoto juntamente com substrato comercial. Em estudos recentes com biocarvão de LE, GONZAGA *et al.* (2018) encontraram resultados de IQD similares ao presente estudo, em que o maior valor foi de 0,23 observado nas duas maiores doses de biocarvão, o que sugere o efeito benéfico em transformar o lodo de esgoto em biocarvão. Para TRAZZI *et al.* (2018), a utilização de biocarvão no meio florestal apresenta um grande potencial a ser explorado, principalmente na silvicultura, como condicionador de solo ou substrato para produção de mudas, principalmente em ganhos na qualidade da muda em viveiros e ganhos econômicos na produção com a redução dos substratos comerciais.

Os dados do presente trabalho revelam a importância da utilização do biocarvão como condicionante em substratos para a produção de mudas de *C. citriodora*, favorecendo um bom desenvolvimento da muda e redução no custo com substratos comerciais. Segundo TRAZZI *et al.* (2018), a utilização do biocarvão tem crescido bastante no meio agrícola apenas em escala experimental. A realidade para o uso do biocarvão na produção de florestas é insipiente, havendo ainda a necessidade de estudos complementares a campo, visando elucidar o comportamento das mudas produzidas com a adição de biocarvão ao substrato. Para LEHMANN (2007), quando ocorre a combinação com a produção bioenergética, ou seja, com a captação dos gases produzidos durante a pirólise, o biocarvão é uma tecnologia limpa para sequestro de carbono. O produto é, portanto, um alvo atrativo como subsídio à produção energética e para a sua inclusão no mercado global de créditos de carbono.

## 6. CONCLUSÕES

O uso de biocarvão do lodo de esgoto para produção de mudas de *Corymbia citriodora* é promissora, pois além de minimizar custos com substratos comerciais é uma alternativa rentável para o meio ambiente no que diz respeito a destinação deste resíduo. Recomenda-se o estudo com o biocarvão de lodo de esgoto em maiores concentrações dos testados no presente trabalho para que se possa determinar até quando pode-se utilizá-lo para a produção de mudas, sem que o mesmo interfira no desenvolvimento destas e que se possa fazer o máximo de utilização do resíduo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). 2011. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2011. ABRAF, Brasília: 130 p. <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf>.

ANDRADE, A. M.; GOMES, S. S. Influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v.7, n.1, p.181-189, 2000.

ANDREOLI, C. V.; GARBOSSA, L. H. P.; LUPATINI, G.; PEGORINI, E., S., R.; BILOTTA, P. **Gerenciamento do lodo de estação de tratamento de esgoto no Brasil**, Curitiba-PR, 2007.

BEESELEY, L.; MORENO J.E. & GOMEZ, E.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**, 158: 2282-2287, 2010.

BENITES, V. de M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. I. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 285-296.

BERNARDI, M. R.; SPEROTTO JUNIOR, M.; VITORINO, A. C. T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 67-74, 2012.

BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementation practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v.7, n. 1-2, p. 109-121, 1998.

BOLETIM SNIF 2017 ED.1. Brasília, DF: Serviço florestal Brasileiro, 2017. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>. Acesso em: 17 mar. 2019.

BRACELPA. Associação Brasileira de Papel e Celulose. **Relatório Florestal 2009**.

Brasileira, Colombo, v. 31, n. 66, p. 75-82, 2011. TRAZZI, P.A.; HIGA, ANTONIO RIOYEI; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. R. **Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal**. **Ciência florestal** (ONLINE), v. 28, p. 875, 2018.

BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, Oxford, v. 91, p. 87-102, 2003.

CALDEIRA, M.V.W.; DELARMELINA, William Macedo; PERONI, Leonardo Peroni; GONÇALVES, Elzimar de Oliveira; SILVA, Aderbal Gomes da. **Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto**. *Pesquisa Agropecuária Tropical* (Online), v. 43, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; BARICHELLO, L.R.; VOGET, H.L.M. & OLIVEIRA, L.S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Floresta**, 28:19-30, 2000.

- CAMARGO, O. A. De; BETTIOL, W. Agricultura: opção animadora para utilização do lodo. **O Agrônomo**. Campinas, SP, v. 52, 2000.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CHEN, X. et al. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 19, p. 8877-8884, Oct. 2011.
- CHIDUMAYO, E. N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 70, p. 353-357, 1994.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB)**. Disponível em: [www.caesb.df.gov.br/esgoto/sistemas-de-esgotamento.html](http://www.caesb.df.gov.br/esgoto/sistemas-de-esgotamento.html). Acesso em: 20 nov.2013.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Conama). **Resolução Conama 375/06** Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf/](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf/). Acesso em: 22 nov.2013.2006.
- CZERNIK, S.; BRIDGWATER, A. V. Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy and Fuels*, N CHEN, X. et al. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 19, p. 8877-8884, Oct. 2011. *ew Jersey*, v. 18, p. 590-98, 2004.
- DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe – **Esgotos Sanitários** (<http://www.desosse.com.br>) Acesso em 20 de março de 2009.
- DEVEREUX, R. C. et al. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, Edinburgh, v. 103, p. 13-18, 2012.
- DEVI, P.&SAROHA, A.K. Effect of temperature on biochar properties during papermill sludge pyrolysis. *International Journal of Chemistry Tech Research*, 5:682-687, 2013.
- DOGENSKI, M. **Extração do óleo essencial e oleoresina das folhas de *Corymbia citriodora* utilizando CO<sub>2</sub> em condições sub e supercríticas**. 145f. Dissertação (Mestrado em Ciências) –Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos de São Paulo, Pirassununga, SP, 2013.
- EMBRAPA. **Produção de mudas de Eucalyptus para o estabelecimento de plantios florestais**. Comunicado Técnico. Brasília, DF. Nov, 2003. EMBRAPA.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, DANIEL FURTADO. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium** (Lavras), v. 6, p. 36-41, 2008.
- FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

FRANCA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.; NUNES, A.A.& ALVES, C.C. Microwave assisted thermal treatment of defective coffee beans press cake for the production of adsorbents. **Bioresource Technology**, 101:1068-1074, 2010.

GLASER, B.; LEHMANN J.; ZECH W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-review. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, 2002. p. 219-230.

GOMES, J. M. et al. **Viveiros florestais – propagação sexuada**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, nov./dez. 2002

Gonzaga, M. I. S.; Gonzaga, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; Almeida, A. Q.; Carvalho Júnior, J.I.T. . **Sewage sludge derived biochar and its effect on the growth and morphological traits of eucalyptus (*eucalyptus grandis* L) seedlings**. CIÊNCIA FLORESTAL (ONLINE), v. 28, p. 684-692, 2018. hídricas e nutrição mineral. Viçosa: Ed. UFV. 2005. 451p.

HOSSAIN, M.K.; STREZOV, V. & NELSON, P.F. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 85: 442-446, 2009.

HUNT, J., DUPONTE, M., SATO, D., KAWABATA, A., 2010. The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment, in: **Soiland Crop Management**. Pp 1–6. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai'i, Manoa.

HWANG, I.H.; MATSUTO, T.; TANAKA, N.; SASAKI, Y. & TANAAMI, K. Characterization of char derived from various types of solid wastes from the standpoint of fuel recovery and pretreatment before landfilling. **Waste Management**, 27: 1155-1166, 2007.

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.

Kronka, F.J.N; Nalon, M.A.; Matsukuma, C.K. Inventário florestal das áreas reflorestadas no estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, **Instituto Florestal**; 2002. 184 p.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* 5:381-387, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: Science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 01-09.

LEMAINSKI, J. & SILVA, J. Euripedes da Utilização do bio-sólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 2006.

LOPES, J. L. W; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. **Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 845-853, 2007.

Lorenzi, H.; Souza, H.M.; Torres, M.A.V.; Bacher, L.B. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 367 p.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. Lodos de Esgotos –**Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro: ABES, 484, 2001.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTINNETO, L.; BENITES, V. DE M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.;

MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. I. **As Terras Pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão – As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Revista Ciência Hoje**, v. 47, n. 281, 2011. p. 48-52.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações

MELO, A. S. et al. Desenvolvimento vegetativo, rendimento da fruta e otimização do abacaxizeiro cv. Pérola em diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.93-98, 2006.

MONTEIRO LOPES, HEYDER. Caracterização química e física de biocarvão de lodo de esgoto sob diferentes temperaturas de pirólise. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - UNB, Brasília, DF, 2013. Disponível em: [http://bdm.unb.br/bitstream/10483/7657/6/2013\\_HeyderMonteiroLopes.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/7657/6/2013_HeyderMonteiroLopes.pdf). Acesso em: 18 mar. 2019.

MORAIS, E.; ZANOTTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação genética, interação genótipo solo e ganhos na seleção teste de progênies de *Corymbia citriodora* Hook em Luiz Antonio, São Paulo. **Scientia Florestais**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 11-18, mar. 2010.

MOREIRA, M. A.; DANTAS, F. M.; BIANCHINI, F. G.; VIÉGAS, P. R. A. Produção de mudas de berinjela com uso de pó de coco. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n.2, 2010. p. 163-170.

NARDI, S. et al. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.34, n. 10, p. 1527-1536, 2002.

OLIVEIRA JÚNIOR, O. A. de; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. de. Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1173-1180, 2011.

PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C.V.:(2006). **Alternativas de uso de resíduos do Saneamento Abem**, Rio de Janeiro, PP. 417.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Documentos, 38).

PETTER, F. A.; MARIMON JUNIOR, B. H.; ANDRADE, F. R.; SHOSSLER, T. R.; GONÇALVES, L. G.; MARIMON, B. S. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Dourados**, v.5, n.17, p.243-250, 2012.

PETTER, Fabiano André et al. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 44-51, 2012.

REZENDE, E. I.; ANGELO, L. C.; SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista Virtual de Química**. 2011. v.3 , n.5 , 2011. p. 426-433.

SALOMÃO, A. N. et al. **Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do Cerrado**. Brasília: Rede de sementes do Cerrado, 2003. 96 p. SAKITA, A. E. N.; PORTO, P. R.; NAKAOKASAKITA, M. Utilização do extrato pirolenhoso na germinação e no desenvolvimento inicial de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, n. 31, p. 57-61, jul. 2007.

SILVA, A. S. et al. Qualidade de mudas de Eucalipto tratadas com Extrato Pirolenhoso. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 19-26, 2006

SIMÕES, D.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. **Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 91-100, 2012.

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

STEFFEN, G. P. K. et al. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. *Pesquisa Florestal*.

STEINER, C.; GLASER, B.; GERALDES T. W.; LEHMANN, J.; BLUM, W.E. & ZECH, W. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferrasol amended with compost and charcoal. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 171: 893-899, 2008.

STURION, J. A.; ANTUNES, B. M. A. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A. P. M. (Ed.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Colombo: Embrapa-CNPQ, 2000. p. 125-150.

TRAZZI, P.A.; HIGA, ANTONIO RIOYEI; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. R. **Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal**. *CIÊNCIA FLORESTAL (ONLINE)*, v. 28, p. 875, 2018.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI I.A. **Uso de biossólido como substrato para a produção de mudas de eucalipto**. *Scientia Forestalis* (IPEF), Piracicaba, v. 64, n.64, p. 150-162, 2003.

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.

Vieira, I.G. **Estudo de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) K. D. Hill & L.A.S.Johnson** Procedente de Anhembi – SP – Brasil, Ex. Athertin QLD – Austrália. Agosto de 2004. 80 p.

VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. **Óleo essencial de eucalipto**. Piracicaba: ESALq/USP, 2003. 30 p. (Documentos florestais,17).

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto por sementes**. In: Produção de mudas de eucalipto. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 13-47.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J. & JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, 1: 56, 2010.

ZANETTI, M. et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro ‘cravo’ em ambiente protegido. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 508-512, 2003.