



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

Leandro Reinaldo de Souza

**Incorporação de lodo de esgoto (biossólido) no substrato de produção de mudas de *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-do-cerrado)**

Brasília  
Agosto de 2018



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

Leandro Reinaldo de Souza

**Incorporação de lodo de esgoto (biossólido) no substrato de produção de mudas de *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-do-cerrado)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como requisito para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza

Brasília  
Agosto de 2018

Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**Incorporação de lodo de esgoto (biossólido) no substrato de produção de mudas de *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-do-cerrado)**

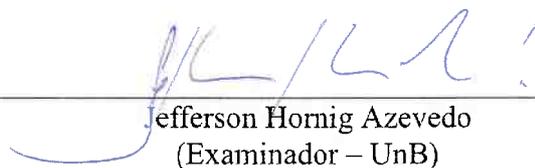
Estudante: Leandro Reinaldo de Souza

Menção: SS

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza  
(Orientador – UnB)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Rosana de Carvalho Cristo Martins  
(Examinador – UnB)

  
\_\_\_\_\_  
Jefferson Hornig Azevedo  
(Examinador – UnB)

Brasília  
Agosto de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Miguel e Railda, por serem minha âncora, uma fonte de apoio incondicional e exemplo máximo de dedicação e esforço.

Ao meu filho, Arthur, que tem me ensinado, ao longo de seus dez anos de existência, o verdadeiro significado do amor.

Aos meus irmãos, Rodrigo e Alessandra, e a todos os meus familiares que compartilharam comigo lágrimas e sorrisos ao longo dessa jornada.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, em especial, à Larissa, pelos momentos de estudo, pesquisa, conversas e desabafos.

Aos amigos e colegas de trabalho do Ministério Público Federal, Lucimeire, Alice, Mariana, Grazi e Francis, pelo apoio e compreensão com minha jornada de servidor/estudante principalmente na reta final do meu curso.

A todos os professores da Universidade de Brasília, em especial o meu orientador, Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza, pelas aulas, pelas discussões, pela oportunidade de participar de um projeto de pesquisa e pela paciência com meu comportamento procrastinador.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Florestal e da Fazenda Água Limpa pelo apoio técnico e administrativo ao longo da graduação.

Ao universo pela oportunidade de crescer, aprender e evoluir com a impermanência das coisas!

## RESUMO

O lodo de esgoto é fonte de micro e macronutrientes essenciais ao bom desenvolvimento das plantas além de melhorar as condições de porosidade e retenção de água do substrato. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da incorporação de lodo de esgoto ao substrato de produção de mudas de *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-do-cerrado). Foram estabelecidas cinco proporções (0, 10, 30, 50 e 70%) de incorporação, sendo definidas em porcentagens estabelecidas por litro de substrato. Cada tratamento foi composto por trinta repetições, totalizando 150 mudas avaliadas, tendo sido o delineamento experimental do tipo inteiramente casualizado (DIC). As mudas foram avaliadas a cada mês, durante três meses, quanto à altura, diâmetro do coleto e número de folhas. Ao final deste período, o peso de matéria seca (total, da parte aérea e da raiz), a relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto e a relação entre altura da parte aérea e o peso de matéria seca da parte aérea foram estabelecidos com a finalidade de analisar o potencial de sobrevivência das mudas após plantio definitivo em campo. A qualidade das mudas também foi avaliada pelo índice de qualidade de Dickson (IQD). Constatou-se que o lodo da CAESB, quando incorporado em 50 e 70% ao substrato, resultou em mudas de *E. gummiferum* mais robustas e de melhor qualidade, apesar de ter havido diminuição na nodulação radicular. Assim, o lodo de esgoto pode ser indicado como componente do substrato de produção de mudas de leguminosas arbóreas de interesse para recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** timburi-do-cerrado, *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr., lodo de esgoto, bio sólido, biofertilizante, produção de mudas, recuperação de áreas degradadas.

## ABSTRACT

Sewage sludge is a source of micro and macronutrients which are essential for the proper development of the plants, it also improves the porosity and water retention conditions of the substrate. The objective of the present study was to evaluate the effect of the incorporation of sewage sludge on the substrate of *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-docerrado) seedlings. Five doses (0, 10, 30, 50 and 70%) of incorporation were established, being defined in percentages per liter of substrate. The experimental design was completely randomized and each treatment consisted of thirty repetitions. The seedlings were evaluated each month, for three months, through their height, diameter and number of leaves. At the end of this period, the weight of dry matter (total, shoot and root), the relation between shoot height and shoot diameter and the relation between shoot height and shoot dry matter weight were established with the purpose of analyzing the survival potential of the seedlings after definitive planting in the field. The quality of the seedlings was also evaluated by the Dickson Quality Index (DQI). It was found that CAESB sludge, when incorporated in 50 and 70% to the substrate, resulted in more robust and better quality seedlings of *E. gummiferum*, despite the reduction of root nodulation. Thus, sewage sludge can be indicated as a component of the substrate for production of tree legume seedlings of interest for the recovery of degraded areas.

**Keywords:** timburi-do-cerrado, *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr., sewage sludge, biosolids, biofertilizers, seedlings production, recovery of degraded areas.

## SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE SIGLAS**

**LISTA DE EQUAÇÕES**

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>14</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
4.1. SUBSTRATO DE PRODUÇÃO DE MUDAS.....	14
4.2. LODO DE ESGOTO E PRODUÇÃO FLORESTAL.....	16
4.3. PARÂMETROS MORFOLÓGICOS.....	17
4.4. CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE UTILIZADA .....	18
4.5. FIXAÇÃO BIOLÓGICA EM LEGUMINOSAS.....	19
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mudas com adição de casca de arroz como cobertura após semeadura das sementes de <i>Enterolobium gummiferum</i> . .....	23
<b>Figura 2.</b> Mudas de <i>Enterolobium gummiferum</i> antes do procedimento de raleio.....	24
<b>Figura 3.</b> Mistura de latossolo vermelho, areia e biossólido. ....	24
<b>Figura 4.</b> Análise gráfica dos parâmetros morfológicos (H, DC e NF) aos 30, 60 e 90 dias. ....	26
<b>Figura 5.</b> Pesos médios da matéria seca da raiz, da parte aérea e total por proporção de incorporação de lodo. ....	28
<b>Figura 6.</b> Relações entre altura e matéria seca da parte aérea, entre altura e diâmetro do coleto e índice de qualidade de Dickson por proporção de incorporação de lodo ao substrato aos 90 dias de experimento. ....	29
<b>Figura 7.</b> Incremento médio do diâmetro do coleto, altura e número de folhas por proporção de incorporação de lodo aos 60 dias de experimento. ....	30
<b>Figura 8.</b> Quantidade e peso seco dos nódulos radiculares por tratamento ao final dos 90 dias de experimento. ....	32
<b>Figura 9.</b> Mudas de <i>Enterolobium gummiferum</i> ao final do experimento de incorporação de lodo de esgoto ao substrato. ....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Análise biológica do lodo de esgoto das Estações de Tratamento Brasília Sul e Norte para amostras coletadas entre 19/07/2011 e 11/10/2011. ....	21
<b>Tabela 2.</b> Análise química do lodo de esgoto das Estações de Tratamento Brasília Sul e Norte. ....	21
<b>Tabela 3.</b> Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos. ....	22
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância das médias da altura, diâmetro do coleto e número de folhas das mudas de <i>E. gummiferum</i> aos 30, 60 e 90 dias de avaliação. ....	25

## LISTA DE SIGLAS

AW – Clima tropical com inverno seco e verão chuvoso

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal

DC – Diâmetro do Coleto

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FAL – Fazenda Água Limpa

H – Altura da Parte Aérea

NF – Número de Folhas

NR – Nódulos Radiculares

pH – potencial Hidrogeniônico

PMSNR – Peso de Matéria Seca dos Nódulos Radiculares

PMSPA – Peso de Matéria Seca da Parte Aérea

PMSR – Peso de Matéria Seca da Raiz

PMST – Peso de Matéria Seca Total

RHDC – Relação entre Altura e Diâmetro do Coleto

RHMSPA – Relação entre Altura e Peso de Matéria Seca da Parte Aérea

## LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Índice de qualidade de Dickson (IQD) .....	18
--	----

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado está presente no Planalto Central do Brasil e é o segundo maior bioma do país em área, sendo apenas superado pela Floresta Amazônica. Possui uma área de mais de dois milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 23% do território nacional, além de ocupar áreas na Bolívia e no Paraguai (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Por ser considerado um '*hotspot*' de biodiversidade é reconhecido como a savana que possui a mais rica flora dentre as savanas do mundo, com mais de 40% sendo considerada endêmica (KLINK; MACHADO, 2005). No entanto, mais da metade da área original do Cerrado já foi desmatada, ou transformada pela ação antrópica, tendo como resultado variados problemas ambientais, tais como: diminuição de biodiversidade, fragmentação de habitats, erosão de solos, degradação de ecossistemas e paisagens além de outros (MACHADO et al., 2004).

Nos últimos anos, a produção agrícola e a pecuária têm contribuído para o aceleração do desmatamento e o surgimento de áreas degradadas no Cerrado. Cerca de metade dos 2 milhões de km<sup>2</sup> originais do Cerrado foram transformados em pastagens, culturas anuais e outros tipos de uso (KLINK; MACHADO, 2005). Dentre os biomas brasileiros, somente depois da Mata Atlântica, o segundo mais ameaçado pela ação humana é o Cerrado (RESENDE, 2012), o qual também possui as taxas mais elevadas de desmatamento.

A recuperação de áreas degradadas e a restauração através do plantio de mudas têm sido ferramentas importantes para se reverter o cenário degradativo que ocorreu no bioma Cerrado. Porém ao se optar pelo plantio de mudas é necessário que as mudas possam ser capazes de adaptar a essas novas áreas e também de se estabelecer, permitindo a condução da dinâmica vegetacional da área a ser recuperada ou restaurada. Assim, na cadeia de produção de mudas em viveiro, vários são os fatores que influenciam a qualidade das mudas das espécies florestais

O substrato é um dos fatores que exerce influência significativa no desenvolvimento das mudas florestais e vários são os materiais que podem ser usados na sua composição original ou combinados (FRANCZAK, 2008). A escolha do substrato, dentre outros fatores, baseia-se, principalmente, em aspectos econômicos: baixo custo e disponibilidade (FONSECA, 2001).

A busca por mudas de melhor qualidade e menor custo é uma necessidade que incentiva a procura por produtos alternativos na cadeia produtiva de viveiros florestais. Dentre os produtos alternativos, o lodo de esgoto, também denominado de biossólido, após sofrer processo de estabilização, é uma alternativa viável como componente de substratos destinados ao cultivo de mudas (FAUSTINO et al., 2005).

Em vez de lodo de esgoto, o termo biossólido vem sendo utilizado para se referenciar a um produto previamente tratado após transformações microbianas e que, após sua mineralização, apresenta potencial para posterior aplicação em culturas agrícolas e florestais, podendo ser utilizado como fertilizante (POGGIANI; BENEDETTI, 1999). O uso de biossólido como material fertilizante propicia a economia de fertilizantes convencionais para diversas culturas (ROCHA et al., 2004), além de proporcionar benefícios ambientais (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004) pois evita a deposição do resíduo em aterros, podendo ser utilizado como insumo florestal.

O lodo de esgoto, variável na composição de acordo com a origem e método de tratamento, tem sido usado como fertilizante orgânico por conter alguns elementos essenciais às plantas, tais como: N, P, K, Ca, Mg, S, bem como micronutrientes (SILVA et al., 2002). O lodo também tem sido valorizado como condicionador do solo, aumentando a capacidade de retenção de água, a porosidade e a estabilidade dos agregados por meio da adição de matéria orgânica ao solo (DE MARIA et al., 2007).

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 (atenuação das características indesejáveis como odor e conteúdo de patógenos), 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, o qual possui um baixo custo de aquisição, é capaz de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do substrato, tornando-o assim uma alternativa viável para a produção de mudas de qualidade (MELO et al., 1994).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar as respostas de mudas de *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-do-cerrado) à incorporação de diferentes proporções de lodo de esgoto ao substrato de produção de mudas em viveiro.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar e indicar qual proporção de incorporação produz mudas morfológicamente mais

vigorosas;

Avaliar o efeito da incorporação sobre os padrões de qualidade de mudas em viveiro;

Avaliar o efeito da incorporação de lodo de esgoto na ocorrência de nódulos radiculares de rizóbios em mudas de *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr. (timburi-do-cerrado) produzidas em viveiro.

### 3. JUSTIFICATIVA

A existência de áreas degradadas no bioma Cerrado implica a necessidade de recuperação da vegetação nativa a fim de manter a biodiversidade de fauna e flora e, conseqüentemente, o equilíbrio dinâmico dos processos ecológicos existentes.

A escolha de espécies arbóreas nativas, principalmente leguminosas, para recuperação de áreas degradadas tem se mostrado recorrente pelo fato de aumentarem a fertilidade do solo devido ao significativo aumento na fixação de nitrogênio no solo em função da associação com bactérias e fungos. Além disso, leguminosas arbóreas possuem um rápido crescimento em campo e alta deposição de matéria orgânica no solo.

A reciclagem do lodo de esgoto (biossólido) gerado nas estações de tratamento de efluentes é incentivada pela legislação vigente. Quando tratado e processado da forma correta, o lodo de esgoto tem se mostrado uma alternativa viável ambiental e economicamente para ser utilizado como biofertilizante e condicionador do solo por ser rico em matéria orgânica, micro e macronutrientes.

Dessa forma, são importantes os estudos que visam aumentar a quantidade de informação sobre: alternativas e usos de resíduos urbanos, autoecologia de leguminosas arbóreas nativas do Cerrado e recuperação de áreas degradadas.

### 4. REVISÃO DE LITERATURA

#### 4.1 SUBSTRATO DE PRODUÇÃO DE MUDAS

O sucesso de um plantio de reflorestamento, seja para fins comerciais, seja para recuperação de áreas degradadas depende diretamente da qualidade das sementes e da fase de produção das mudas utilizadas. Mudas de boa qualidade devem ser produzidas em um bom substrato, pois a germinação e a iniciação radicular e aérea estão associadas com uma boa capacidade de aeração, drenagem e

retenção de água (DELARMELINA et al., 2013).

De acordo com Andreoli et al. (2006), o 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 variedade de materiais que podem ser utilizados. Os substratos para produção de mudas podem ainda ser definidos como sendo o meio adequado e propício para sua sustentação e retenção das quantidades suficientes e necessárias de água, oxigênio e nutrientes. Além dessas características, devem oferecer pH compatível, ausência de elementos químicos em níveis tóxicos e condutividade elétrica adequada de modo que a fase sólida do substrato deva ser constituída por uma mistura de partículas minerais e orgânicas (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003).

O tipo de substrato e o tamanho do recipiente devem ser os primeiros aspectos a serem levados em conta, a fim de se garantir uma produção de mudas de boa qualidade (CARVALHO FILHO, 2003). Na produção de mudas, independentemente da finalidade à qual se destinará, seja para a composição de plantios comerciais, recuperação de áreas degradadas ou outros fins (CALDEIRA et al., 2012), devem ser levados em conta critérios técnicos de produção.

É comum a utilização de terra de subsolo com materiais orgânicos (esterco, casca de arroz carbonizada, composto orgânico) ou minerais (vermiculita, fertilizantes). No entanto, é preciso cuidado especial ao se utilizar esterco de curral, pois pode conter sementes de ervas daninhas e patógenos, que podem levar à contaminação do substrato, devendo ser curtido para evitar danos à semente.

Existem diversos tipos de substratos, dentre os quais cita-se: terra de subsolo, composto orgânico, vermiculita, areia, esterco animal, serragem, casca de árvores decompostas, moinha de carvão entre outros. É recomendável que seja feita a mistura de dois ou mais materiais para a formulação do substrato com a finalidade de se obter um meio com boa aeração, drenagem e com fornecimento de água adequado (WENDLING et al., 2002).

Sasaki (1997) afirma que é importante desenvolver substratos de baixo custo, de fácil utilização, de longa durabilidade e recicláveis, ou ainda, desenvolver métodos para reaproveitá-los no cultivo convencional e na melhoria das condições químicas e físicas do solo. Tais condições propiciam a formação de raízes mais eficientes na absorção de águas e nutrientes.

## 4.2 LODO DE ESGOTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

O crescimento urbano populacional aumenta a demanda por uma gestão eficiente de resíduos gerados nas cidades. O aumento da geração de resíduos pode se tornar um problema ambiental, econômico e de saúde pública se for negligenciado pelo poder público e pela sociedade.

O lodo de esgoto, resíduo do tratamento do esgoto, atualmente denominado biossólido, é um produto que se acumula nos pátios das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), e pode constituir uma ameaça ao ambiente caso não sejam encontradas alternativas viáveis do ponto de vista social, econômico e ambiental para sua utilização (SILVA et al., 2002). Além disso, é comumente disposto em aterros sanitários ou a céu aberto, o que gera elevado custo econômico e ambiental para a sociedade.

De acordo com Neto (2007), os tratamentos de águas residuais vêm sendo aperfeiçoados com a finalidade de se obter um lodo de esgoto passível de ser utilizado em áreas agrícolas devido às suas características físicas, químicas e biológicas, minimizando, desta forma, os problemas ambientais decorrentes da produção deste tipo de resíduo nas cidades.

A utilização de lodo de esgoto como fertilizante alternativo é bastante aceita, pois o resíduo gerado possui elevados teores de matéria orgânica, micro e macronutrientes e, por isso, sendo indicado como elemento constituinte do substrato para formação de mudas florestais. No entanto, a utilização agrícola é indicada apenas quando houver o devido tratamento para redução da presença de metais pesados e patógenos conforme Tsutiya (1998).

Além das propriedades químicas e biológicas, o biossólido também contribui para melhorar as propriedades físicas do solo ou substrato de produção de mudas uma vez que há o aumento da estabilidade dos agregados. Essa maior estabilidade confere melhor qualidade do solo ou substrato por proporcionar maior resistência à ruptura ocasionada por forças externas, como por exemplo, a ação mecânica da água. Além disso, a maior agregação do solo ou substrato está diretamente relacionada com uma maior aeração, melhor desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, maior resistência à penetração, compactação e erosão, bem como maior retenção de água e nutrientes (DE MARIA et al., 2007).

No caso do Distrito Federal, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB presta serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário para uma população de 2,54 milhões de habitantes (CODEPLAN, 2011). São 16 Estações de Tratamento de Esgotos -ETEs em operação, que empregam tecnologias de tratamento diversificadas e geram diariamente cerca de 300 toneladas de lodo como resultado do tratamento de esgoto sanitário. Essas estações de tratamento

estão distribuídas ao longo de quatro bacias hidrográficas: Bacia Lago Paranoá, Bacia São Bartolomeu, Bacia Rio Ponte Alta/Alagado e Bacia Rio Descoberto/Melchior (BATISTA, 2015).

### 4.3 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS

Mudas voltadas para o reflorestamento e recuperação de áreas degradadas devem ser inicialmente de boa qualidade. Tal condição aumenta as chances de sobrevivência e crescimento das mudas em campo, local no qual estão presentes determinadas variáveis que, a depender de seu estado, podem constituir adversidades ao estabelecimento da muda, tais como clima, composição química e física do solo, presença de água, além de outros fatores.

Para se determinar a qualidade das mudas que estão aptas para o plantio, os parâmetros que devem ser levados em conta podem ser morfológicos, também chamados de parâmetros fenotípicos, e/ou fisiológicos, aqueles relacionados a aspectos internos da muda. Para atingir uma maior confiabilidade na avaliação da qualidade da muda, sugere-se que os parâmetros morfológicos e/ou fisiológicos sejam analisados por meio de seus incrementos ao longo do tempo. Os parâmetros morfológicos são os mais utilizados para determinar o padrão de qualidade de mudas em viveiro de acordo com Gomes et al. (2002).

A determinação da altura da parte aérea, do diâmetro do coleto, da relação entre parte aérea e o diâmetro do coleto, bem como do peso de matéria seca da parte aérea e radicular são indicadores utilizados para a avaliação da qualidade de mudas produzidas em viveiro. Quando tais parâmetros são combinados na forma de índices, uma maior precisão é conferida à avaliação da qualidade (GOMES et al., 2002). De acordo com 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 Carneiro (1995), o quociente da altura da parte aérea pelo diâmetro do coleto constitui um dos mais importantes parâmetros morfológicos para prever o crescimento das mudas depois do plantio final em campo. Esse índice na forma de quociente é também conhecido como quociente de robustez, que informa o quão delgada é a muda, indicando a chance de sobrevivência desta em campo (*apud* Gomes et al., 2002).

Além dos parâmetros morfológicos, foi também utilizado o Índice de qualidade de Dickson (equação 1) para avaliar a qualidade das mudas, uma vez que esse índice considera, além da robustez,

o equilíbrio da distribuição de biomassa na muda, conforme Fonseca et al. (2002).

$$IQD = \frac{PMST(g)}{\frac{H(cm) \cdot PMSPA(g)}{DC(mm)} + PMSR(g)} \quad (1)$$

Em que:

PMST = peso de matéria seca total, g;

H = altura da parte aérea, cm;

DC = diâmetro do coleto, mm;

PMSPA = peso de matéria seca da parte aérea, g;

PMSR = peso de matéria seca da raiz, g.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE UTILIZADA

O *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F. Macbr., popularmente conhecido como timburi-do-cerrado, orelha-de-negro, angico-de-minas, vinhático-do-campo, rosquinha, favela-branca, sene, brincos-de-sagui ou angico-vermelho-do-campo, pertence à família Fabaceae-Mimosoideae e é encontrado nas regiões de cerrado. Sua distribuição ocorre nos estados de DF, BA, ES, GO, MA, MG, MT, MS, PE, RS, SP e TO.

De acordo com Lorenzi (2009), trata-se de uma planta arbórea decídua, heliófita, seletiva xerófita, clímax, característica exclusiva dos cerrados e campos cerrados. Possui madeira moderadamente pesada (densidade de 0,61 g/cm<sup>3</sup>), dura, de textura grossa, grã revessa, de boa resistência e medianamente durável. A madeira é indicada para obras internas em construção civil, marcenaria leve, confecção de esquadrias, cabo de ferramentas, engradados, bem como para lenha e carvão.

A seiva, as folhas e a goma da casca são reputadas como medicinais. A resina da casca tem poder adesivo, assim como a goma arábica. A casca possui tanino que pode ser empregado na indústria de curtume e a árvore possui qualidades ornamentais que a recomendam para a arborização paisagística (LORENZI, 2009).

De acordo com Silva Júnior et al. (2005), essa espécie floresce de agosto a setembro, a frutificação ocorre de maio a setembro e a dispersão das sementes é feita por animais. Estima-se que em 1 kg de sementes exista aproximadamente 1800 sementes. Quando realizada escarificação mecânica, com utilização de lixas, por exemplo, obtém-se uma taxa de germinação de

aproximadamente 90%.

Para produção de mudas, as sementes devem ser germinadas logo após a colheita em canteiros a pleno sol contendo substrato arenoso. Os frutos devem ser colhidos diretamente da árvore quando a queda espontânea dos mesmos tiver início. As sementes duras devem ser escarificadas química ou mecanicamente antes da sementeira para melhorar a germinação, de acordo com Silva Júnior et al. (2005).

No geral, as espécies arbóreas da família Leguminosae têm a capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio devido à relação simbiótica estabelecida entre a parte radicular do vegetal e bactérias conhecidas como rizóbios. Tais bactérias podem fornecer de 60 a 100% do nitrogênio necessário ao desenvolvimento da planta (COSTA JÚNIOR, 1997).

Quando o objetivo final de recuperação de áreas degradadas é o estabelecimento de uma floresta, o uso inicial de espécies arbóreas leguminosas que se associam com bactérias fixadoras de  $N_2$  e fungos micorrízicos tem-se mostrado eficiente bem como uma solução de baixo custo. Quando o objetivo não é o estabelecimento de florestas, a mistura de espécies leguminosas e não-leguminosas de porte arbustivo ou mesmo plantas herbáceas pode ser recomendadas (DIAS et al., 2007).

#### **4.5 FIXAÇÃO BIOLÓGICA EM LEGUMINOSAS**

Ao se analisar a distribuição do nitrogênio na natureza, observa-se sua predominância na atmosfera (78,3%), sendo também encontrado na biosfera (0,27%). Entretanto, na litosfera e na hidrosfera inexistem tal elemento químico. Dessa forma, pode-se concluir que a atmosfera é o principal reservatório de N, atingindo 82 mil toneladas no ar que circunda um 1 hectare, conforme Prado (2008).

Apesar de ser abundante na atmosfera, a forma  $N_2$  presente no ar não é diretamente aproveitável pelas plantas, uma vez que elas apenas reconhecem o nitrogênio nas formas assimiláveis de amônio ( $NH_4^+$ ) ou nitrato ( $NO_3^-$ ). Assim, para que o nitrogênio sirva para nutrir plantas, é necessário que a forma molecular gasosa presente na atmosfera seja transformada para formas moleculares assimiláveis. De acordo com Prado (2008), dentre os processos de transformação, podem ser citadas a fixação industrial, a biológica e a atmosférica. Ainda de acordo com o mesmo autor, as formas de absorção do nitrogênio pelas plantas são  $N_2$  (fixação biológica); aminoácidos; ureia;  $NH_4^+$ ; e  $NO_3^-$ , sendo predominante a forma de nitrato presente na solução do solo devido à alta atividade da microbiota em solos tropicais.

A fixação biológica de nitrogênio é o processo pelo qual o nitrogênio que se encontra na atmosfera é convertido em formas moleculares que podem ser absorvidas pela planta. Essa reação de conversão é catalizada por uma enzima (nitrogenase) presente em bactérias fixadoras de nitrogênio. Trata-se de um processo significativo que, segundo estimativas, fornece entre 139 e 170 milhões de toneladas de N por ano para a biosfera, valores superiores aos 65 milhões de toneladas aplicados com fertilizantes (PRADO, 2008).

De acordo com Santos e Reis (2008), as bactérias do solo que são capazes de estabelecer relações simbióticas com as raízes de plantas leguminosas são, em geral, chamadas de rizóbios. Tal grupo é formado por bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Phylorhizobium* e *Sinorhizobium*, que quando associadas às leguminosas, levam à formação de nódulos radiculares.

A simbiose rizóbio-leguminosa é o mais importante sistema simbiótico entre microrganismos e plantas graças à eficiência do processo de fixação de N<sub>2</sub>, à amplitude e distribuição geográfica dos hospedeiros e ao impacto econômico para a agricultura, uma vez que permite substancial economia de fertilizantes nitrogenados. A família *Leguminosae* abrange quase 20 mil espécies, incluindo espécies arbóreas importantes e herbáceas usadas como forrageiras, produtoras de matérias-primas ou diretamente na alimentação humana (CANTARELLA, 2007).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal na Fazenda Água Limpa – FAL da Universidade de Brasília, em fevereiro de 2014. O clima da FAL, na classificação de Köppen, é do tipo AW, tropical chuvoso (de outubro a abril) no verão e seco no inverno (de maio a setembro) de acordo com Meireles (2006).

As sementes de *Enterolobium gummiferum* foram coletadas de populações naturais localizadas no Distrito Federal, beneficiadas e armazenadas no viveiro durante 20 dias. A germinação ocorreu por quebra de dormência com escarificação mecânica e embebição em água por 12 horas.

O lodo de esgoto utilizado neste trabalho foi disponibilizado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, bem como os dados apresentados nas tabelas 1 e 2, referentes à análise biológica e química do resíduo.

**Tabela 1.** Análise biológica do lodo de esgoto das Estações de Tratamento Brasília Sul e Norte para amostras coletadas entre 19/07/2011 e 11/10/2011. Fonte: Conágua Ambiental.

Amostra	Umidade (%)	Coliformes termotolerantes (NMP/g de ST)	Salmonella (NMP/g de ST)	Cistos viáveis de protozoários (NMP/g de ST)	Ovos viáveis de Helmintos (NMP/g de ST)
1	75,8	2,70E+04	3,80E+02	0	4,63
2	85,8	2,00E+04	2,70E+02	0	6,25
3	73,9	1,30E+04	2,00E+02	0	0,39
4	49	1,50E+04	1,20E+02	0	0,45
5	86,4	4,10E+03	1,30E+02	0	1,36
6	22	1,80E+00	6,90E+01	0	0,32
7	13,5	1,30E+00	6,90E+01	1,35	0,43
8	39	1,80E+00	8,10E+01	0	0,3
9	20,6	1,30E+00	8,00E+01	0	0,12
10	19,8	1,60E+00	7,20E+01	0	0,19
11	14,2	2,20E+00	7,20E+01	3,77	0,25
12	25,5	6,00E+00	8,20E+01	0	0,27
13	46,2	2,90E+01	1,00E+02	2,15	0,3

**Tabela 2.** Análise química do lodo de esgoto das Estações de Tratamento Brasília Sul e Norte. Fonte: Laboratório São Lucas Análises Clínicas.

PARÂMETROS	UNIDADES	LODO PROCESSADO	PARÂMETROS	UNIDADES	LODO PROCESSADO
pH	na	5,4625	1,3,5 Triclorobenzeno	%	< LQ
Carbono Orgânico Total	%	17,4375	1,3 Diclorobenzeno	%	< LQ
Nitrogênio Kjeldhal Total	%	3,6259	1,4 Diclorobenzeno	%	< LQ
Nitrogênio amoniacal	%	1,0189	1,2,3,4 Tetraclorobenzeno	%	< LQ
Nitrito	%	0,0001	1,2,3,5 - Tetraclorobenzeno	%	< LQ
Fosforo Total	%	1,8797	Dietilxil Ftalato (DEHP)	%	< LQ
Potássio	%	0,1921	Dimetilftalato	%	< LQ
Magnésio	%	0,2280	2,4 Diclorofenol	%	< LQ
Enxofre	%	2,4264	Pentaclorofenol	%	< LQ
Sódio	%	0,0735	2,4,6 Triclorofenol	%	< LQ
Alumínio	%	2,8959	Cresóis	%	< LQ
Antimônio	%	< LQ	Benzo(a)antraceno	%	< LQ

PARÂMETROS	UNIDADES	LODO PROCESSADO	PARÂMETROS	UNIDADES	LODO PROCESSADO
Arsênio	%	< LQ	Benzo(a)pireno	%	< LQ
Bário	%	0,0074	Benzo(b)fluoranteo	%	< LQ
Boro	%	0,0026	Fenantreno	%	< LQ
Cádmio	%	< LQ	Indeno (1,2,3-cd) pireno	%	< LQ
Chumbo	%	0,0028	Naftaleno	%	< LQ
Cobre	%	0,0093	Hexaclorobenzeno	%	< LQ
Cromo Total	%	0,0061	Lindano (Gama-BHC)	%	< LQ
Ferro	%	2,0299	Aldrin	%	< LQ
Manganês	%	0,0098	Clordano (isômeros)	%	< LQ
Mercurio	%	0,0002	DDT	%	< LQ
Molibdênio	%	0,0005	Dieldrin	%	< LQ
Níquel	%	0,0013	Endrin	%	< LQ
Zinco	%	0,0386	Toxafeno	%	< LQ
1,2 Diclorobenzeno	%	< LQ	Dodecacloro Pentaciclodecano	%	< LQ
1,2,3 Triclorobenzeno	%	< LQ	PCB's	%	< LQ
1,2,4 Triclorobenzeno	%	< LQ			

LQ: Limite Quantitativo, NMP: Número Mais Provável, ST: Sólidos Totais

Os dados referentes às análises biológicas do lodo de esgoto disponibilizado pela CAESB, em comparação com os requisitos mínimos de qualidade estabelecidos pela Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, indicam que o lodo de esgoto utilizado neste trabalho está enquadrado como sendo resíduo da Classe B. Abaixo, na tabela 3, estão apresentadas as classes de lodo ou de produto derivado com relação à concentração de agentes patogênicos definidas pela referida resolução.

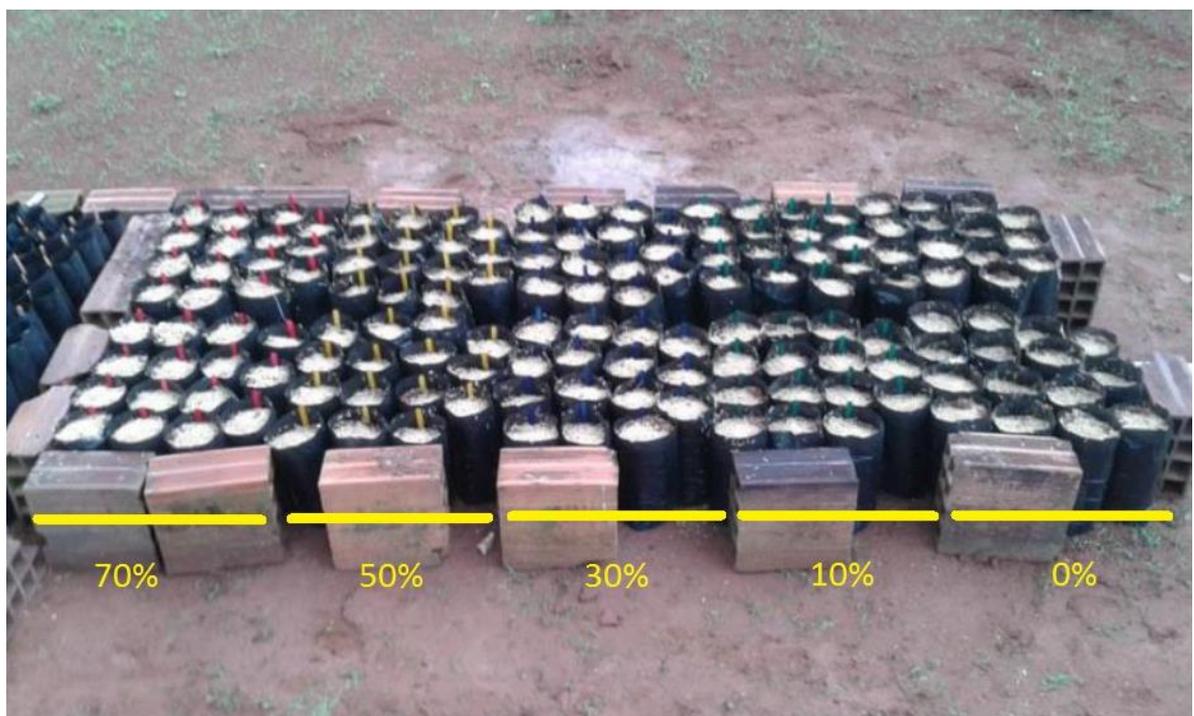
**Tabela 3.** Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos. Fonte: Resolução nº 375/2006 - CONAMA

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <10 <sup>3</sup> NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Virus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <10 <sup>6</sup> NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

NMP: Número Mais Provável, ST: Sólidos Totais, UFF: Unidade Formadora de Foco, UFP: Unidade Formadora de Placa

A semeadura ocorreu de forma manual, tendo sido semeadas duas sementes por saco de polietileno com tamanho nominal de 25 cm x 16 cm (altura x largura), com 0,10 micra de espessura e capacidade aproximada de 1,7 litros de substrato, de tal maneira que, das 300 sementes utilizadas, foi obtida uma taxa de germinação de aproximadamente 97%. Os sacos das mudas foram dispostos em canteiro no chão, a pleno sol, nos quais foram colocados cinco milímetros de casca de arroz como cobertura, conforme demonstrado na Figura 1.

Após semeadura, juntamente com a irrigação, foi realizada adubação de cobertura nas dosagens de 0,3 g de N-P-K (4-14-8) e 0,1 g de FTE BR 12, sendo repetido o procedimento em períodos regulares de 30 em 30 dias durante os 90 dias. Os grânulos de fertilizantes foram triturados para facilitar a diluição em água. Após a emergência das plântulas (Figura 2), foi realizado o raleio, sendo mantida a plântula mais central e melhor desenvolvida em parte aérea.



**Figura 1.** Mudanças com adição de casca de arroz como cobertura após semeadura das sementes de *Enterolobium gummiferum*.



**Figura 2.** Mudanças de *Enterolobium gummiferum* antes do procedimento de raleio.

Os tratamentos foram determinados de acordo com a proporção de incorporação de lodo de esgoto ao substrato de produção de mudas. Dessa forma, foram estabelecidas quatro proporções (10, 30, 50 e 70%) de incorporação, sendo definidas em porcentagens estabelecidas por litro de substrato. Cada tratamento e o grupo de controle (0% de incorporação) foram formados por trinta repetições, totalizando 150 repetições avaliadas. As quantidades de incorporação de lodo, previamente peneirado em peneira para areia grossa, foram misturadas ao substrato (Figura 3). O substrato preparado continha latossolo vermelho proveniente da FAL/UnB e areia na proporção 3:1. O experimento se caracterizou como um delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com 4 tratamentos e 1 grupo controle.



**Figura 3.** Mistura de latossolo vermelho, areia e biossólido.

As avaliações foram realizadas mensalmente num período de 90 dias, sendo analisadas as características morfológicas de altura (H), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF). A medição da altura foi realizada utilizando-se trena milimetrada e o diâmetro do coleto foi medido com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01.

Aos 90 dias, foram coletados dados para realizar análises referentes à quantidade de nódulos radiculares (NR), aos pesos de matéria seca total (PMST), da parte aérea (PMSPA), da raiz (PMSR) e dos nódulos radiculares (PMSNR). Também foram realizados cálculos referentes à relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto (RHDC), relação entre a altura da parte aérea e o peso de matéria seca da parte aérea (RHMSPA) e o índice de qualidade de Dickson (IQD). Para tanto, foram utilizadas 10 mudas de cada tratamento por meio de método analítico destrutivo. A parte aérea foi separada da área radicular e os nódulos de cada muda foram coletados manualmente após lavagem com água da parte radicular. A parte aérea, radicular e os nódulos radiculares foram secos em estufa de circulação de ar forçado. A secagem deste material foi realizada a 70°C durante o período de 72 horas e a obtenção do peso da matéria seca foi obtido com a utilização de uma balança digital com precisão de 0,01.

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância, mediante o “teste F” a 1% de probabilidade e as médias foram discriminadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade para análise dos resultados. Para realizar a análise dos dados coletados, empregou-se o software estatístico ASSISTAT 7.7 (versão Beta).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

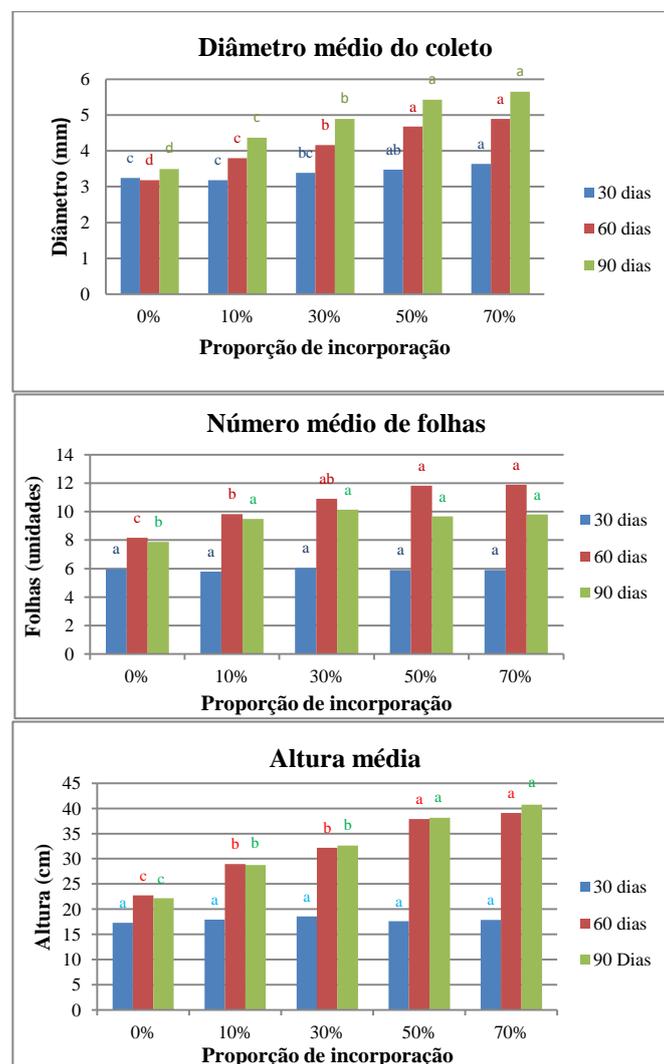
A análise de variância apresentada na Tabela 4 demonstra que, na primeira avaliação, realizada aos 30 dias, dois dos três parâmetros morfológicos analisados não apresentaram diferença significativa com relação às médias analisadas. A altura e o número de folhas não sofreram influência do lodo de esgoto no estágio inicial de desenvolvimento das mudas, somente o diâmetro do coleto que apresentou maior valor para o tratamento com incorporação de lodo de esgoto a 70% (figura 4).

**Tabela 4:** Análise de variância das médias da altura, diâmetro do coleto e número de folhas das mudas de *Enterolobium gummiferum* aos 30, 60 e 90 dias de avaliação.

FV	GL	30 dias			60 dias			90 dias		
		H	DC	NF	H	DC	NF	H	DC	NF
Tratamento	4	2,25ns	0,32**	0,07ns	451,91**	4,71**	24,45**	552,93**	7,51**	7,82**
Resíduo	45	1,56	0,03	0,25	11,81	0,07	0,75	9,33	0,14	1,51
CV	%	7,01	5,14	8,58	10,68	6,64	8,28	9,41	8,11	13,08

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; H: Altura; DC: Diâmetro do coleto; NF: Número de folhas; CV: Coeficiente de variação; (\*\*) Significativo ao nível 1% de probabilidade; (\*) Significativo ao nível 5% de probabilidade; ns: Não significativo.

A figura 4 apresenta os gráficos das médias dos parâmetros (H, DC e NF) ao longo das três avaliações realizadas durante o experimento. É possível perceber que os tratamentos com incorporação de 50 e 70% de lodo de esgoto não apresentaram diferenças significativas entre si e apresentaram os maiores valores médios para a altura e o diâmetro das mudas. A maior média de altura obtida foi a do tratamento com 70% de incorporação (40,76 cm) e a menor foi do grupo controle (22,15 cm). Já a média do diâmetro do coleto teve o seu maior valor (5,65 mm) no tratamento de maior incorporação (70%) e a menor média (3,49 mm) foi obtida no tratamento sem incorporação.



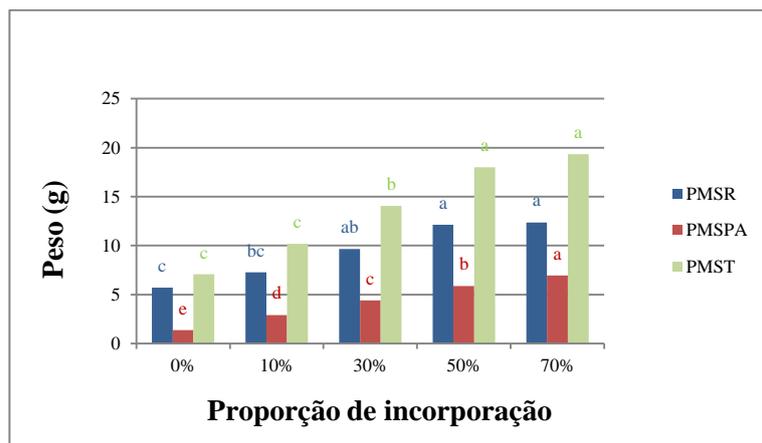
**Figura 4.** Análise gráfica dos parâmetros morfológicos (H, DC e NF) das mudas de *Enterolobium gummiferum* aos 30, 60 e 90 dias.

Freier et al. (2007) também encontraram os maiores valores de altura relacionados às maiores doses de aplicação de lodo de esgoto na produção de mudas *Eucalyptus citriodora* em vasos. Araújo (2016), em trabalho realizado com lodo de esgoto e “biochar” (denominação internacional para biocarvão rico em carbono obtido pela pirólise do lodo de esgoto em baixos teores ou ausência de oxigênio) na produção de mudas de mulungu (*Erythrina velutina*), encontrou comportamento linear no aumento da incorporação de lodo de esgoto e melhores desempenhos para as variáveis de altura e diâmetro do coleto, tendo sido o melhor desempenho apresentado pelo tratamento com incorporação de 50% de lodo de esgoto, máxima incorporação avaliada.

Caldeira et al. (2012), em trabalho com mudas de timbó (*Ateleia glazioveana*) também verificaram o maior incremento para a altura nas mudas que receberam 80% de incorporação de lodo ao substrato. Para o diâmetro do coleto, esses mesmos autores encontraram o segundo maior valor para o tratamento de 80% (maior taxa de incorporação), corroborando os valores obtidos no presente estudo.

O número de folhas do grupo de controle obteve o menor valor aos 60 e 90 dias, quando comparado com os demais tratamentos. Ainda levando em conta o número de folhas, os tratamentos com incorporação de 50 e 70% apresentaram os maiores valores aos 60 dias e, aos 90 dias, não houve diferença significativa entre os tratamentos com incorporação e o grupo controle, tendo o grupo controle obtido o menor valor médio. No entanto, Araújo (2016) observou um maior número de folhas no tratamento com maior incorporação de lodo de esgoto em mudas de *Erythrina velutina*, divergindo do que aconteceu com as mudas de *Enterolobium gummiferum*. Especula-se que essa divergência possa ter ocorrido em função da queda de folhas decorrente de chuva com vento forte dias antes da contagem do número de folhas.

A Figura 5 apresenta os valores médios para os pesos de matéria seca (PMSPA, PMSR e PMST). Para os três parâmetros avaliados, houve diferença significativa entre os tratamentos. O tratamento com incorporação a 70% foi o que obteve o maior valor médio (6,96 g) no que se refere ao peso da parte aérea, enquanto o menor peso médio foi apresentado pelo grupo controle (1,35 g). Araújo (2016), não encontrou diferença significativa entre os tratamentos de mudas de *Erythrina velutina* com o aumento da incorporação de lodo de esgoto.

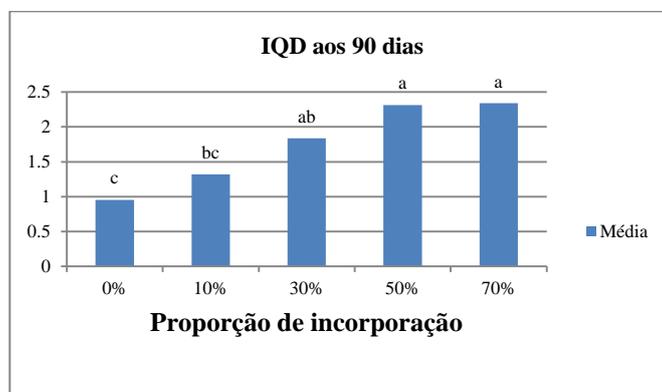
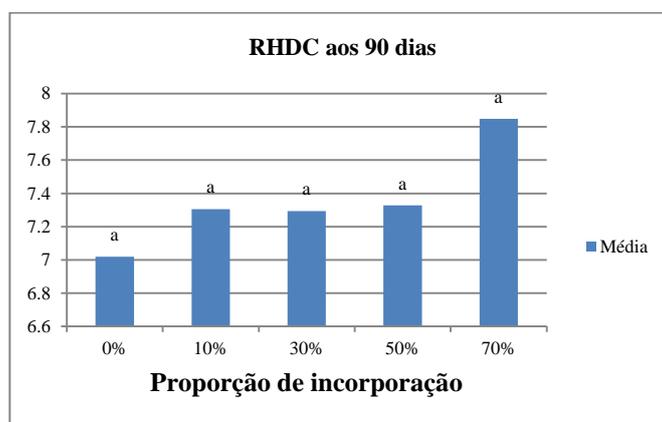
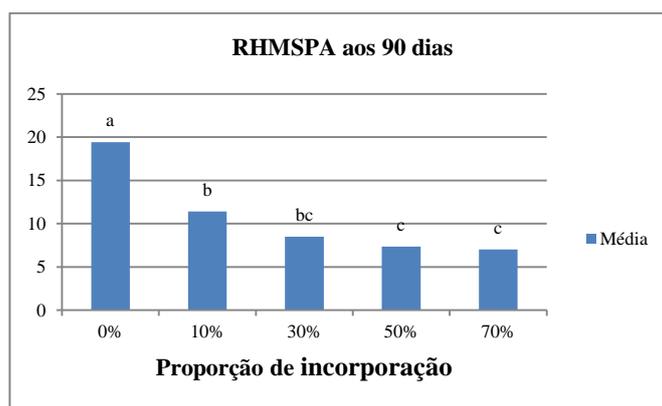


PMSR – Peso de matéria seca de raiz; PMSPA - Peso de matéria seca de parte aérea; PMST – Peso de matéria seca total.

**Figura 5.** Pesos médios da matéria seca da raiz, da parte aérea e total das mudas de *Enterolobium gummiferum* por proporção de incorporação de lodo.

O peso médio da raiz apresentou os maiores valores para os tratamentos com 50 e 70% de incorporação de lodo, não sendo diferentes estatisticamente entre si. A maior média foi obtida pelo tratamento de 70% (12,37 g) e a menor média foi obtida pelo grupo controle (5,7 g). Tal comportamento de aumento do peso médio da raiz se assemelha ao encontrado por Caldeira et al. (2012) para mudas de *Ateleia glazioviana* com incorporação de 80% ao substrato, sendo que essa proporção foi a que obteve o segundo maior valor para a matéria seca da parte aérea daquela espécie, porém sem diferenças significativas quando comparada ao controle utilizado no estudo com mudas de timbó. Esses autores encontram os segundos maiores valores para o peso da matéria seca das raízes e total das mudas quando incorporaram 80% de lodo ao substrato.

Os dados e índices decorrentes da análise dos parâmetros morfológicos (H, DC, PMSPA, PMSR e PMST) foram utilizados para estabelecer as relações entre altura e o peso de matéria seca da parte aérea (RHMSPA), altura e o diâmetro do coleto (RHDC) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) após 90 dias de experimento. Os gráficos dessas relações e do índice de qualidade estão apresentados na Figura 6.



**Figura 6.** Relações entre altura e matéria seca da parte aérea, entre altura e diâmetro do coleto e índice de qualidade de Dickson por proporção de incorporação de lodo ao substrato aos 90 dias de experimento.

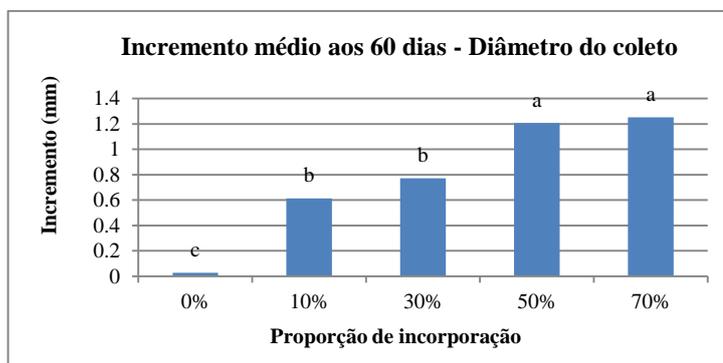
Com relação à RHMSPA, foi possível observar que as mudas mais robustas ou rustificadas foram aquelas que receberam 50 e 70% de incorporação de lodo ao substrato, sendo aproximadamente 2,7 vezes menor que o grupo controle que não recebeu incorporação de lodo ao substrato. Tal comportamento se assemelha ao comportamento observado por Araújo (2016) com

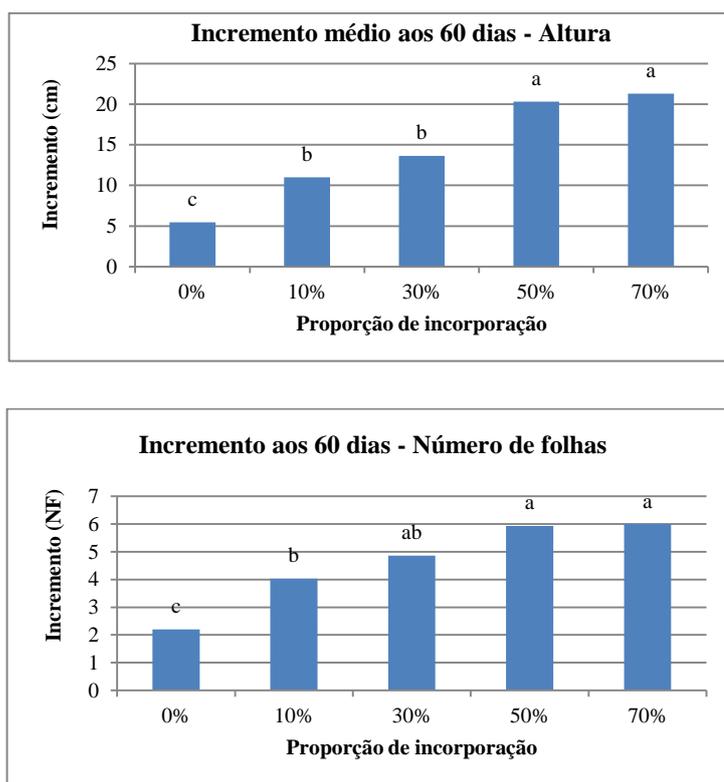
mudas *Erythrina velutina*, que observou menores valores de RHMSPA para maiores incorporações de lodo de esgoto.

A RHDC não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e o grupo controle, diferindo dos resultados obtidos por Caldeira et al. (2012) para mudas de *Ateleia glazioveana*, que apresentaram os maiores valores para o tratamento de 80% de incorporação e também do trabalho de Araújo (2016) com mudas de *Erythrina velutina*, o qual encontrou os maiores valores para os tratamentos com maior incorporação de lodo (40 e 50%).

Os tratamentos com 50 e 70% de incorporação de lodo ao substrato foram os que apresentaram os maiores valores médios para o IQD, chegando a ser aproximadamente 2 vezes maior que o valor apresentado pelo grupo controle deste experimento. Tais valores se assemelham aos resultados de Caldeira et al. (2012) para este índice de qualidade das mudas quando houve incorporação de 80% de lodo ao substrato de mudas de *Ateleia glazioveana* e também se assemelha ao observado por Araújo (2016) com mudas de mulungu, que também observou maiores valores de IQD para o tratamento com maior taxa de incorporação. De acordo com 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.

A Figura 7 apresenta os gráficos referentes aos incrementos médios dos parâmetros morfológicos (DC, H e NF) do 30º ao 60º dia de experimento, demonstrando que houve diferença significativa na análise das médias dos tratamentos e grupo de controle.



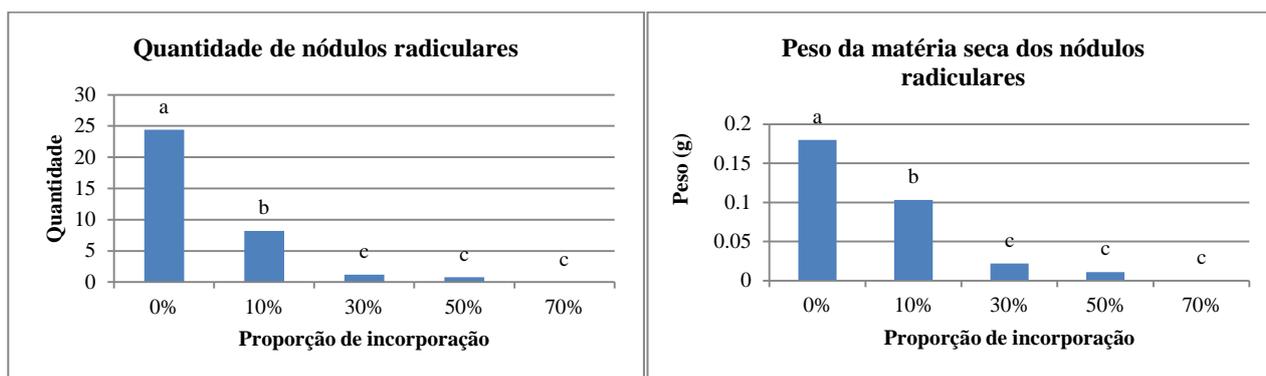


**Figura 7.** Incremento médio do diâmetro do coleto, altura e número de folhas por proporção de incorporação de lodo aos 60 dias de experimento.

Não houve diferença significativa na análise das médias dos incrementos médios desses parâmetros do 60º ao 90º dia. Foi observado que os tratamentos com 50 e 70% de incorporação de lodo apresentaram os maiores valores médios referentes ao incremento no que se refere aos três parâmetros morfológicos analisados, sugerindo que o lodo de esgoto se configura como uma boa fonte de matéria orgânica e nutrientes no substrato de produção das mudas de *Enterolobium gummiferum*. Araújo (2016) encontrou diferenças significativas quanto à taxa de incorporação de lodo de esgoto em mudas de *Erythrina velutina* somente no segundo incremento para os valores de diâmetro do coleto. Já para a altura, encontrou diferenças significativas para o primeiro e segundo incremento, de 30 a 60, e de 60 a 100 dias de experimento, respectivamente. Quanto ao número de folhas, o mesmo autor só encontrou diferenças significativas no primeiro incremento.

A análise referente ao efeito da incorporação de diferentes teores de lodo de esgoto ao substrato sobre a quantidade e o peso da matéria seca dos nódulos radiculares (rizóbios) está apresentada na Figura 8. Foi observado que, quanto maior a proporção de incorporação de lodo de esgoto ao substrato, menor foi a ocorrência de nódulos na parte radicular das mudas. Os tratamentos

com 30, 50 e 70% de incorporação de lodo foram os que apresentaram os menores valores médios (1,2; 0,8; e 0 nódulos, respectivamente) para as quantidades de nódulos e, conseqüentemente, para o peso de matéria seca dos nódulos, o que deixa evidente que maiores proporções de incorporação de lodo de esgoto inibem a formação de nódulos no sistema radicular de *E. gummiferum*. Além disso, foi observado que o tamanho dos nódulos variou de 1 milímetro a 1,2 centímetros.



**Figura 8.** Quantidade e peso seco dos nódulos radiculares por tratamento ao final dos 90 dias de experimento.

Vale lembrar que, apesar do tratamento com 70% de incorporação não ter apresentado nenhum nódulo em comparação com as médias dos tratamentos com incorporação de 30 e 70%, não foi encontrada diferença estatística significativa entre os tratamentos que apresentaram os menores valores médios para este parâmetro (30, 50 e 70%). Araújo (2016) encontrou padrão semelhante de nodulação nas raízes das mudas de *Erythrina velutina*, no entanto, a diminuição de nódulos ocorreu somente após a incorporação de 30% de lodo de esgoto ao substrato de produção de mudas de *Erythrina velutina*.

É possível que a simbiose entre as raízes das mudas e as bactérias fixadoras de nitrogênio tenha sido dificultada pela presença de metais pesados, pela alta disponibilidade de nitrogênio, toxicidade e excesso de nutrientes presentes no biossólido, pela competição biológica dentre outros fatores. Tais fatores podem e devem ser investigados em estudos posteriores para a espécie alvo deste trabalho.

Aos 90 dias, conforme se verifica na Figura 9, as mudas do tratamento com maior incorporação apresentaram melhor desenvolvimento quando comparadas às do grupo controle. É possível perceber que a altura média do tratamento de 70% foi bem maior que a do grupo controle, além de se observar uma coloração verde-pálida das mudas deste grupo.



**Figura 9.** Mudanças de *Enterolobium gummiferum* ao final do experimento de incorporação de lodo de esgoto ao substrato.

## 7. CONCLUSÕES

As maiores proporções (50 e 70%) de incorporação do lodo de esgoto da CAESB ao substrato de produção de mudas de *Enterolobium gummiferum* resultaram efeitos significativos e proporcionaram os maiores valores para os parâmetros morfológicos de altura e diâmetro do coleto. Além disso, os dados referentes aos índices de qualidade das mudas (RHMSPA e IQD) revelaram que tais proporções foram responsáveis pela produção das mudas mais robustas (vigorosas), lenhificadas e com maior chance de sobrevivência em campo, no entanto, a relação entre a altura e o diâmetro do coleto (RHDC) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e o grupo controle.

Também foi possível concluir que, para a espécie arbórea leguminosa alvo deste estudo, as proporções de 50 e 70% de incorporação de lodo contribuíram com os valores mais altos para o incremento da altura, diâmetro do coleto e número de folhas e que o incremento desses valores foi maior no estágio inicial do desenvolvimento da muda, ou seja, até os 60 dias de experimento. Tal

comportamento se repetiu para o peso de matéria seca da parte aérea e da parte radicular, os quais apresentaram os maiores valores médios também para as proporções de 50 e 70% de incorporação de lodo de esgoto.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos com 40, 50 e 70% de incorporação de lodo na formação de nódulos radiculares (rizóbios). O padrão de ocorrência de nodulação foi decrescente à medida que houve aumento na taxa de incorporação de lodo, chegando a ser zero no tratamento com 70% de incorporação, o que não afetou a qualidade das mudas.

Dessa forma, a utilização do lodo de esgoto oriundo da CAESB para a produção de mudas de *Enterolobium gummiferum* destinadas à recuperação de áreas degradadas se mostrou viável, podendo ser indicada a taxa de 70% de incorporação de biossólido ao substrato, resultando em mudas mais robustas e de maior qualidade e aumentando as chances de sobrevivência em campo após o plantio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ARAÚJO, D. D.(2016). **Crescimento de mudas de Erythrina velutina Willd.em viveiro em substrato com lodo de esgoto e biochar**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75 f.

BATISTA, L.F. **Lodos gerados nas Estações de Tratamento de Esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p, 2015.

CALDEIRA, M.V.W; PERONI, L. GOMES, D.R.; DELARMELINA, W.M.; TRAZZI, P.A. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioveana* Baill). **Scientia Forestalis**. v. 40, n. 93, p. 15-22, mar. 2012.

CANTARELLA, H. VII – Nitrogênio. . **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG. 1017p, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

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

CARVALHO FILHO, J.L.S; ARRIGONI-BLANK, M.F; FITZGERALD BLANK; A.; RANGEL, M.S.A. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substrato. **Cerne**. V.9, n.1, p. 109-118, 2003.

CODEPLAN. **Pesquisa Distrital Por Amostra de Domicílios - PDAD 2010/2011**, Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central, Brasília, Brasil, 2011.

COSTA JÚNIOR, P.F. **Comportamento de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio em estéril de argila**. 1997. 64 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1997.

DE MARIA, I.C; KOCSSI, M.A; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, 2007.

DELARMELINA, W.M; CALDEIRA, M.V.W; FARIA, J.C.T; GONÇALVES, E.O. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.7, n.2, p. 184-192, maio-agosto, 2013.

DIAS, L.E; FRANCO, A. A; CAMPELO, E.F.C. XVII – Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG. 1017p, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

FAUSTINO, R. et al. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.278-282, 2005.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZAM 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**, Viçosa, v. 26, p. 515 - 523, 2002.

FONSECA, T. G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO<sub>2</sub> na água de irrigação**. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

FRANCZAK, D. D. Adição de dosagens de lodo de curtume em substrato comercial para produção de mudas de caroba (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 6, 2008, Fortaleza, CE. **Anais da Embrapa Agroindústria Tropical**, SEBRAE/CE e UFC, 2008.

FREIER, M.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.2, p. 102-107, 2007.

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-MG, v.26, n.6, p.655-664, 2002.

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.

GUERRINI, I.A.; TRIGUEIRO, R.M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólido e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6 p.1069-1076, 2004.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A Conservação do Cerrado Brasileiro. Belo Horizonte, **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, jul. 2005, p. 148-155, 2005.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Vol. 02, 3ª ed. Instituto Plantarum, 2009.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativa de Perda de Área do Cerrado Brasileiro. **Conservação Internacional – Programa do Brasil**, Brasília, DF, 25 p. 2004.

MEIRELES, M.L; FERREIRA, E.A.B. & FRANCO, A.C. Dinâmica Sazonal do Carbono em campo úmido do Cerrado. Planaltina-DF, 2006. **Documentos/Embrapa Cerrados**, ISSN 1517-5111, nº 164.

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.

NETO, S.P.M.; ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T. Uso de biofóssido em plantios florestais. Planaltina-DF. **Documentos/Embrapa Cerrados**, ISSN 1517-5111, nº 202. 2007.

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucalipto. **Revista Silvicultura**, n 80, p 48-52, 1999.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 407 p, 2008.

RESENDE, N. de F. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Preservação. **Revista Brasileira de Educação e Cultura**. n.4, jul-dez, p. 81-90, 2012.

RIBEIRO, J.F; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In Cerrado: ecologia e flora (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). **Embrapa Cerrados**, Planaltina. p.151 -212. 2008

ROCHA, G.N.; GOLÇALVES, J.L.M.; MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biofóssido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.4, p.623-639, 2004.

SANTOS, L.A; REIS, V.M. A formação do Nódulo em Leguminosas. **Documentos/Embrapa Agrobiologia**. Seropédica-RJ, Embrapa Agrobiologia: Documentos nº 251, 14 p., jun-2008.

SASSAKI, O.K. Resultados preliminares da produção de hortaliças sem o uso de solo no Amazonas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, p.165-169, 1997.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa Agronômica para o biofóssido produzido no distrito federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:487- 495, 2002.

SILVA JÚNIOR, M.C.; SANTOS, G. C. DOS; NOGUEIRA, P. E.; MUNHOZ, C. B. R. e RAMOS, A.E. 100 árvores do Cerrado: guia de campo. **Rede de Sementes do Cerrado**. Brasília-DF. 278p. 2005.

SOUZA, R.L.C. **Efeitos de substratos na emergência e desenvolvimento de mudas de *Heteropteris aphrodisiaca* O. Mach. – Malpighiaceae**. 65 fl. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade Federal do Mato Grosso, MG. 2006.

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Uso de biofóssido como substrato para produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) **Scientia Forestalis**. n.64, p. 150-162, dez. 2003.

TSUTIYA, M.T. Uso Agrícola de Biofóssidos das Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários. **Revista Saneas**, V. 9, p. 128-148, 1998.

WENDLING, I.; FERRARI, M.P.; GROSSI, F. Curso intensivo de viveiros e produção de mudas. **Embrapa Florestas**. 48 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 79). Colombo, PR. 2002.