



**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI**  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**ADIÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO SUBSTRATO PARA FORMAÇÃO DE MUDAS  
DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS**

**AROLDO FELIPE DE FREITAS**

MANAUS-AM

Abril, 2013

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**ADIÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO SUBSTRATO DE FORMAÇÃO DE MUDAS  
FLORESTAIS**

**AROLDO FELIPE DE FREITAS**

Orientador: LUIZ AUGUSTO GOMES DE SOUZA

Co-orientadora: IRENE MARIA CARDOSO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais área de concentração Silvicultura Tropical.

MANAUS-AM

Abril, 2013

F866 Freitas, Aroldo Felipe  
Adição de carvão vegetal no substrato para formação de mudas de leguminosas arbóreas / Aroldo Felipe de Freitas. --- Manaus : [s.n.], 2013.  
x, 106 f. : il.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2013.  
Orientador : Luiz Augusto Gomes de Souza  
Coorientador : Irene Maria Cardoso  
Área de Concentração : Manejo Florestal e Silvicultura

1. Leguminosas – Amazônia. 2. Fabaceae – Nutrição. Título.

CDD 19. ed. 634.46

Sinopse: Foi avaliado o desempenho de mudas de oito espécies nativas arbóreas em substratos com diferentes quantidades de carvão. Foram avaliadas as características químicas dos substratos, biométrie e nodulação das plantas no momento da colheita.

Palavras-chave: Produção de mudas, silvicultura, rizóbios.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais/INPA, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## RESUMO

O fino do carvão pode aumentar a porosidade e capacidade de retenção de água do substrato de crescimento de mudas, além de facilitar a proliferação de microrganismos benéficos. Assim, Avaliou-se em viveiro o efeito da adição de carvão vegetal em mistura ao substrato sobre a qualidade de mudas de leguminosas arbóreas cultivadas em viveiro. O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos e dez repetições. Para todas as espécies foi empregado como controle a mistura substrato 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco e para *Dipteryx odorata* também uma mistura base 3:2:0,5 (v:v) solo argiloso, areia e esterco combinada com 0, 0,5, 1,0 e 1,5 partes de carvão. Para *Cassia moschata*, *Copaifera multijuga*, *Parkia pendula* e *Senna multijuga* foi testado o controle, uma mistura base 3:2 areia e argila combinada com 0, 0,5, 1,0 e 1,5 partes de carvão. Para *Clitoria fairchildiana*, *Enterolobium schomburgkii* e *Inga edulis* os tratamentos foram o controle e uma substrato composto de solo argiloso e areia 3:2 (v:v), combinado com carvão vegetal em concentrações de 0, 10, 19 e 29% de carvão. Amostras dos substratos foram coletadas e submetidas à análise química. Após a formação dos dois primeiros pares de folhas em sementeira as plantas foram repicadas para sacos plásticos com capacidade para 2 kg. A altura (H) e diâmetro do coleto (D) das mudas foram mensurados um dia após a repicagem e mensalmente. Ao final do período experimental foram colhidas e mantidas em estufa à 65 °C/72h para pesagem da massa seca aérea (MSA), caule, folhas e da raiz (MSR) e massa seca dos nódulos. Com os dados também foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson, sobrevivência e as relações MSA/MSR e H/D. Os resultados sugerem que o carvão pode substituir o esterco para produção de mudas de *D. odorata* na proporção 3:2:0,5 de solo, areia e carvão (v:v). O substrato com esterco pode ser substituído sem prejuízo na qualidade das mudas no caso de *C. multijuga* e *C. moschata* pelo substrato com uma parte de carvão e no de *P. pendula* pelo substrato com meia parte de carvão. O uso de esterco na composição dos substratos inibiu a nodulação em *I. edulis*, *E. schomburgkii* e *C. fairchildiana* e também com a adição de carvão houve favorecimento da qualidade das mudas pela melhoria na nodulação.

## ADDITION OF CHARCOAL IN SUBSTRATE FOR FORMATION OF TREE SEEDLINGS LEGUME

### ABSTRACT

The fine charcoal can increase the porosity and water holding capacity of the substrate, and facilitate the proliferation of beneficial microorganisms. Thus, the experiment was in nursery in order to investigate the effect of adding charcoal mixture to the substrate on the quality of seedlings of leguminous trees. The experimental design was a completely randomized design with five treatments and ten replicates. For all species was used as a control substrate 3:2:0,5 mixture (v:v) of loamy soil, sand and manure and also a mixture *Dipteryx odorata* base 3:2:0,5 (v:v) clay, sand, manure, and combined with 0, 0,5, 1,0 and 1,5 part charcoal. To *Cassia moschata*, *Copaifera multijuga*, *Parkia pendula* and *Senna multijuga* control was tested, a 3:2 mixture based sand and clay combined with 0, 0.5, 1.0 and 1.5 parts of biochar. To *Clitoria fairchildiana*, *Enterolobium shomburgkii* and *Inga edulis* treatments were control and a substrate with clay soil and sand 3:2 (v:v), combined with charcoal concentrations of 0, 10, 19 and 29% charcoal. Substrate samples thus prepared were collected and passed through chemical analysis. After formation of two pairs of sheets in seedlings were transplanted to plastic boxes with capacity for 2 kg substrates were proposed. The height (H) and diameter (D) of seedlings were measured one day after transplanting and every month. The seedlings were harvested and kept at 65 °C/72h weighing of dry air (MSA), stem, leaf and root (MSR) and dry weight of nodules. With data was also calculated the Quality Index Dickson, survival rates, MSA/MSR and H/D ratios. The results suggest that coal could replace the manure to produce seedlings of *Dipteryx odorata* the ratio 3:2:0,5 soil, sand and charcoal (v: v). The substrate with manure can be substituted without loss of quality seedlings in case of *C. multijuga* and *C. moschata* the substrate with a piece of coal and *P. pendula* of the substrate with a half piece of coal. The use of manure in the composition of the substrates inhibited nodulation in *Inga edulis*, *Enterolobium shomburgkii* and *Clitoria fairchildiana* and also with the addition of coal were favored seedling quality by improving nodulation.

## SUMÁRIO

Resumo .....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	x
1. Introdução geral .....	1
2. Objetivos .....	3
2.1 Geral .....	3
2.2 Específicos .....	3
3. Hipotese .....	4
4. Revisão de Literatura .....	4
4.1 Substratos empregados na produção de mudas florestais .....	4
4.2 Efeito condicionador do carvão vegetal no solo, seus benefícios no crescimento vegetal e presença em solos antropogênicos da Amazônia conhecidos como “terra preta de índio”.....	10
4.3 Algumas informações gerais sobre as leguminosas arbóreas selecionadas para a pesquisa .....	17
4.3.1 <i>Cassia moschata</i> Kunth (Fabaceae, Caesalpinioideae) .....	17
4.3.2 <i>Clitoria fairchildiana</i> R.A. Howard (Fabaceae, Faboideae) .....	18
4.3.3 <i>Copaifera multijuga</i> Hayne (Fabaceae, Caesalpinioideae) .....	20
4.3.4 <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Wild. (Fabaceae, Faboideae) .....	21
4.3.5 <i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth. (Fabaceae, Mimosoideae) .....	23
4.3.6 <i>Inga edulis</i> Mart. (Fabaceae, Mimosoideae) .....	24
4.3.7 <i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth, Ex Walp. (Fabaceae, Mimosoideae) .....	26
4.3.8 <i>Senna multijuga</i> (Rich) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae, Caesalpinioideae) .....	27
4.4 Referências bibliográficas da revisão de literatura .....	29
<b>Capítulo I. Carvão vegetal em substrato para produção de mudas de cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>) .....</b>	<b>38</b>
1. Introdução .....	41
2. Material e métodos .....	42
3. Resultados .....	44
3.1 Análise química do substrato .....	44
3.2 Adição de carvão no substrato e a formação de mudas de cumaru .....	45
4. Discussão .....	47
5. Conclusão .....	50
6. Agradecimentos .....	50
7.Referências bibliográficas .....	50
<b>Capítulo II. Uso de carvão no substrato para a produção de mudas de leguminosas arbóreas .....</b>	<b>55</b>
1. Introdução .....	58
2. Material e métodos .....	60
3. Resultados .....	63
4. Discussão .....	69
5. Conclusão .....	75
6. Referências bibliográficas .....	75
<b>Capítulo III. Efeito da adição de carvão no substrato de formação de mudas de leguminosas arbóreas inoculadas com rizóbios .....</b>	<b>79</b>

1. Introdução .....	82
2. Metodologia.....	84
4. Resultados .....	88
5. Discussão .....	97
6. Conclusão .....	102
7. Referências bibliográficas .....	103
<b>Síntese</b> .....	106

## LISTA DE FIGURAS

### Revisão de literatura

Figura 1- Fórmula do Índice de Qualidade de Dickson.....	9
Figura 2- Folha, frutos, sementes e plantas jovens de mari-mari ( <i>Cassia moschata</i> ) em campo.....	18
Figura 3- Folhas, frutos, sementes, flores e planta adulta de palheteira ( <i>Clitoria fairchildiana</i> ) em arborização urbana.....	19
Figura 4- Folhas, frutos, óleo essencial, tronco e árvore adulta de copaíba ( <i>Copaifera multijuga</i> ) em dossel de floresta.....	21
Figura 5- Folhas, flores, frutos, plântulas e árvore adulta de cumaru ( <i>Dipteryx odorata</i> ) em dossel de floresta .....	22
Figura 6- Frutos, sementes, plântulas, planta jovem, tronco e árvore adulta de orelha de macaco ( <i>Enterolobium schomburgkii</i> ) em arborização urbana.....	24
Figura 7- Flores, frutos, sementes e árvore adulta de ingá ( <i>Inga edulis</i> ) em pastagem .....	25
Figura 8- Folhas, frutos, plântulas e copa de visgueiro ( <i>Parkia pendula</i> ) no dossel da floresta.....	27
Figura 9- Folhas, frutos, sementes, flores e árvore adulta de canafístula ( <i>Senna multijuga</i> ) em arborização urbana .....	28
<b>Capítulo 2</b>	
Figura 1- Efeito da adição de carvão no substrato de formação de mudas de canafístula – <i>Senna multijuga</i> (a), copaíba – <i>Copaifera multijuga</i> (b), mari-mari – <i>Cassia moschata</i> (c) e visgueiro – <i>Parkia pendula</i> (d) no incremento do crescimento em altura, sob enviveiramento.....	64
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Figura 1- Relações entre os teores de N-total e biomassa dos nódulos secos de mudas de orelha-de-macaco ( <i>Enterolobium schomburgkii</i> ) inoculadas com rizóbios em misturas substrato com diferentes níveis de carvão aos 175 dias de enviveiramento.....	94
Figura 2- Relações entre os teores de N-total e número de nódulos de mudas de palheteira ( <i>Clitoria fairchildiana</i> ) inoculadas com rizóbios em misturas substrato com diferentes níveis de carvão aos 90 dias de enviveiramento.....	95

## LISTA DE TABELAS

### Revisão de literatura

Tabela 1- Tipos de materiais empregados na composição do substrato de produção de mudas de alguns gêneros de leguminosas arbóreas.....	8
Tabela 2- Caracterização da composição de carvão derivado de diferentes matérias primas.....	11
Tabela 3- Análise elementar de carvão derivado de diferentes matérias primas.....	12
Tabela 4- Efeito da adição do carvão nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.....	14
Tabela 5- Análise química de resíduo de carvão, “fino do carvão”, oriundo de carvoarias na periferia de Manaus.....	16

### Capítulo 1

Tabela 1- Características químicas dos componentes isolados e da mistura substrato empregadas na formação de mudas de cumaru ( <i>Dipteryx odorata</i> ).....	52
Tabela 2- Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de cumaru ( <i>Dipteryx odorata</i> ) no comprimento do caule, diâmetro do coleto e taxas de incremento mensal no crescimento, sob enviveiramento.....	53
Tabela 3- Efeitos de doses crescentes de carvão na composição da mistura para formação de mudas de cumaru ( <i>Dipteryx odorata</i> ) na biomassa de folhas, caule, raízes e total seca aos 191 dias após o transplante, sob enviveiramento.....	53
Tabela 4- Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de cumaru ( <i>Dipteryx odorata</i> ) nos indicadores de qualidade e taxa de sobrevivência aos 191 dias após o transplante, sob enviveiramento.....	54

### Capítulo 2

Tabela 1- Efeito da adição de carvão nas características químicas das misturas substrato empregadas na formação de mudas de leguminosas arbóreas.....	63
Tabela 2- Efeito da adição de carvão na mistura substrato para formação de mudas de canafístula ( <i>Senna multijuga</i> ), copaíba ( <i>Copaifera multijuga</i> ), mari-mari ( <i>Cassia moschata</i> ) e visgueiro ( <i>Parkia pendula</i> ) no diâmetro do coleto e biomassa aérea e radicular seca, sob enviveiramento.....	65
Tabela 3- Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de canafístula ( <i>Senna multijuga</i> ), copaíba ( <i>Copaifera multijuga</i> ), mari-mari ( <i>Cassia moschata</i> ) e visgueiro ( <i>Parkia pendula</i> ) nos indicadores de qualidade e taxa de sobrevivência, sob enviveiramento.....	68

### Capítulo 3

Tabela 1- Características químicas das misturas substrato empregadas na formação de mudas leguminosas nodulíferas arbóreas.....	88
Tabela 2- Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato na altura, diâmetro do coleto, massa da parte aérea e da raiz seca para formação de mudas sob enviveiramento.....	89
Tabela 3- Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato nos indicadores de qualidade e taxa de sobrevivência para formação de mudas sob enviveiramento.....	91
Tabela 4- Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato na nodulação e teor de nitrogênio de mudas sob enviveiramento .....	96

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O avanço das fronteiras agrícola e pecuária na Amazônia tem substituído extensas áreas outrora recobertas por florestas para o estabelecimento de pastagens ou cultivos econômicos. Adicionalmente, a abertura de estradas, projetos de mineração, hidrelétricas, exploração petrolífera e outros, resultam muitas vezes em áreas que perdem sua capacidade produtiva tornando-se degradadas. Neste cenário há necessidade de desenvolver tecnologia de baixo custo para restabelecer o componente arbóreo em áreas desflorestadas. A seleção de espécies florestais e o desenvolvimento de tecnologias silviculturais mais adequadas devem ser prioridades de pesquisa na tentativa de reincorporar aos processos produtivos as extensas áreas de florestas alteradas na Amazônia (Ferreira *et al.*, 1978; Braga *et al.*, 1995; Uchida e Campos, 2000; Souza *et al.*, 2004; Bernardino *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2005). Para o estabelecimento de novos cultivos a formação de mudas florestais vigorosas e de boa qualidade condiciona em parte o sucesso do plantio definitivo em campo.

As tentativas de estabelecimento de plantios florestais com semeadura direta no campo são geralmente mal sucedidas. Entretanto, algumas poucas espécies se destacaram como promissoras para essa técnica como *Caryocar villosum* e *Parkia multijuga* (Camargo *et al.*, 2002) ou mesmo o pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) (Barbosa, 1968). Considera-se que o crescimento inicial das plântulas de espécies arbóreas dificilmente ocorre satisfatoriamente no local definitivo, pois demandam cuidados diferentes do plantio direto em campo que é efetuado para a maioria das plantas agrícolas. A aquisição ou coleta de sementes de espécies arbóreas nativas é mais difícil do que para espécies agrícolas, pois as árvores geralmente são mais altas, estão dispersas com acesso difícil para seleção das matrizes e a maioria das sementes florestais apresentam mecanismos de dormência e necessitam ser submetidas a tratamentos pré-germinativos que aumentam mais ainda o investimento em cada semente individualmente. Assim o rendimento máximo da semente é priorizado na etapa de formação das mudas em viveiro e as plântulas receberão cuidados para que sejam produzidas mudas de boa qualidade em quantidade necessária. Por sua vez, a

formação de mudas de boa qualidade deverá favorecer o estabelecimento mais rápido do plantio florestal (Barbosa, 1968).

Avaliando a qualidade de mudas destinadas à arborização urbana em 12 viveiros do estado de Minas Gerais, sendo seis viveiros de instituições públicas e seis viveiros privados, Gonçalves *et al.* (2004) constataram que, de forma geral, não há comprometimento suficiente com a qualidade das mudas. Algumas vezes a baixa qualidade das mudas é atribuída ao baixo nível de treinamento de funcionários e falta de domínio sobre tratamentos silviculturais necessários, identificando-se nos viveiros particulares os locais onde as mudas tinham menor qualidade.

A nutrição, autoecologia e desempenho silvicultural das espécies de interesse são aspectos essenciais para que a formação das mudas nos viveiros florestais ocorra da forma mais eficaz e segura (Ferreira *et al.*, 1978; Varela e Santos, 1992; Braga *et al.*, 1995; Uchida e Campos, 2000). Uma das condições que favorecem o bom crescimento da planta são os insumos de fácil disponibilidade e de baixo custo que possam contribuir para a formação de mudas de boa qualidade para o plantio (Bernardino *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2006). Na mistura substrato, o componente orgânico contribui para a melhoria das propriedades físicas e químicas, fornecendo nutrientes para o crescimento da muda na fase de viveiro (Cunha *et al.*, 2006). Tradicionalmente nos viveiros florestais são testadas diferentes composições de substrato, pois o uso de solo como substrato pode não atender as condições necessárias ao bom crescimento da planta (Cunha *et al.*, 2005). Adicionalmente, o emprego de areia visa propiciar melhorias físicas a mistura substrato, necessárias algumas vezes devido ao período de alguns meses que as mudas florestais são mantidas em viveiros.

O uso de adubação orgânica é apontado como alternativa a adubação mineral, principalmente porque a adubação mineral pode ter alto custo e, se usada inadequadamente, têm possibilidade de contaminação de cursos de água, registrando-se ainda que as jazidas de alguns minerais que compõem o adubo mineral estejam ficando escassas (Schumacher *et al.*, 2001). A utilização do fino do carvão pode contribuir para a viabilização econômica da produção de mudas, pois é um subproduto rejeitado após a seleção do carvão de maiores dimensões que será comercializado e com isso possui baixo custo. A adição do fino do carvão, vulgarmente denominado

“moinha de carvão”, ao solo é feita no Japão, enquanto no Brasil estudos têm sido realizados recentemente e apontam que sua adição ao solo melhora as propriedades físico-químicas e biológicas. O fino do carvão tem estrutura de alta porosidade e com isso pode aumentar a porosidade e a capacidade de retenção de água do substrato, além de facilitar a proliferação de microrganismos benéficos (Zanetti *et al.*, 2003). O emprego de carvão vegetal na formação de mudas florestais ainda é pouco pesquisado, especialmente para leguminosas arbóreas. Sabe-se que muitas leguminosas florestais possuem a capacidade de nodulação e fixação de N<sub>2</sub> em simbiose com bactérias do solo do grupo dos rizóbios em seus sistemas radiculares. Na Amazônia, em particular, há muitas leguminosas arbóreas nodulíferas de interesse para a composição de sistemas agroflorestais o que justifica o maior aprofundamento em estudos que busquem investigar o substrato ideal para o processo de produção de mudas de espécies florestais.

## **2. OBJETIVOS**

### **Geral**

Investigar o efeito da adição da “moinha” de carvão vegetal no substrato para a produção de mudas de espécies de leguminosas arbóreas.

### **Específicos**

Analisar a contribuição da “moinha” de carvão vegetal nas características químicas do substrato para a produção de mudas de espécies florestais.

Investigar o efeito da adição da “moinha” de carvão vegetal na mistura substrato de produção de mudas de leguminosas arbóreas sobre a qualidade das mudas e a capacidade de nodulação em espécies de interesse agroflorestal.

### 3. HIPÓTESE

O emprego de carvão vegetal na mistura de substrato para a produção de mudas florestais resultará em mudas de boa qualidade para o plantio e favorecerá a formação de nódulos em leguminosas arbóreas nodulíferas.

### 4. REVISÃO DE LITERATURA

#### **Substratos empregados na produção de mudas florestais**

Um dos motivos para o preparo de mudas é conseguir plantas sadias e em estágio ideal de crescimento na época do plantio. A produção de mudas em viveiros pode ser uma estratégia para um controle mais minucioso das condições adequadas ao pleno crescimento da planta, pois, quando é possível, os viveiros são instalados em locais com acesso que facilita o manejo, fornecimento de água e insumos (Uchida e Campos, 2000; Gomes e Paiva, 2006).

Um dos insumos importantes para a produção de mudas florestais em maior escala são os substratos adequados, visando estimular a otimização do crescimento radicular, fornecendo às raízes água, oxigênio, nutriente e suporte, permitindo que o sistema aéreo das mudas se desenvolva e estejam preparadas para as condições extremas verificadas após o plantio (Caldeira *et al.*, 2000; Guerrini e Trigueiro, 2004). Sendo assim, para a escolha do manejo adequado da muda na fase de viveiro é necessário conhecer as características químicas e físicas do substrato com vista ao sucesso do cultivo (Schmitz *et al.*, 2002).

Uma maior quantidade do substrato escolhido também significa maior peso. A mistura substrato deveria ser o mais leve possível para facilitar o transporte das mudas, entretanto uma maior quantidade de substrato também possibilita maior volume para exploração radicular e com isso mudas mais vigorosas, com sistema radicular estabelecido e sem deformação. A quantidade de substrato é condicionada pelo tamanho do recipiente selecionado e uma maior quantidade de substrato para exploração pela muda deve ser empregada principalmente quando a muda tem

crescimento lento e permanecerá longo período no viveiro, por exemplo, quando se destina a arborização urbana e é necessário que estejam com a copa alta e caule firme no momento do plantio (Gonçalves *et al.*, 2004). Deve-se considerar, entretanto, que maior quantidade de substrato e recipientes maiores e resistentes demanda mais mão de obra e maior gasto com insumos (Cunha *et al.*, 2005; Gomes e Paiva, 2006)

Dentre as propriedades físicas mais importantes em uma mistura substrato estão a densidade, capacidade máxima de retenção de água, porosidade total e aeração, que associadas as propriedades químicas de fornecimento de nutrientes, contribuirão para o pleno crescimento da planta conduzida sob enviveiramento, já que é nesta fase que a planta está mais suscetível a patógenos e com menor tolerância ao déficit hídrico (Cunha *et al.*, 2006; Lima *et al.*, 2006). A quantidade e qualidade de poros presentes no substrato definem as trocas gasosas com a atmosfera e movimentação de água dentro do substrato, por isso é uma característica essencial na formação das mudas (Lacerda *et al.*, 2006). Os materiais incinerados e vermiculita elevam a macroporosidade e diminuem a retenção de água do substrato. Já o uso de resíduos com altos teores de matéria orgânica, como biossólido de esgoto, pode diminuir a porosidade total e a capacidade de retenção de água, mesmo com o aumento proporcional da microporosidade (Guerrini e Trigueiro, 2004).

Para favorecer o enraizamento pelo aumento da quantidade de macroporos melhorando as propriedades físicas da mistura substrato emprega-se comumente a areia. Neste caso, trata-se da inclusão de um material quase inerte e com pouca capacidade de retenção de água e nutrientes, mas que favorece o crescimento radicular das mudas. A melhor estrutura de macroporos propiciada pela adição de areia permite que as raízes possam desenvolver-se sem impedimentos no substrato e com boa drenagem da água (Gomes e Paiva, 2006).

A constituição química também tem sua importância na composição da mistura substrato ideal para a produção de mudas. Com maiores teores de matéria orgânica na mistura estimula-se o crescimento de microrganismos benéficos e pelo aumento no número de microporos aumenta a capacidade de retenção de água e nutrientes pelo substrato, além de diminuir sua densidade (Guerrini e Trigueiro, 2004; Caldeira *et al.*, 2008). Complementarmente, o uso de adubação mineral tem sido empregado

principalmente nos viveiros permanentes, mas se efetuado junto com a adição de uma fonte orgânica aperfeiçoa-se a adição de nutrientes (Cunha *et al.*, 2006), com consequente economia de fertilizantes.

O emprego de composto orgânico feito com resíduos vegetais e animais pode ser utilizados no substrato como fonte de matéria orgânica e nutrientes, desde que: 1) atenda as necessidades das plantas sem prejudicá-las de outras formas por sua reatividade; 2) o tamanho das partículas não limite o crescimento das raízes; 3) a quantidade correta de composto orgânico seja empregada. Para que o sucesso no emprego dos resíduos orgânicos na mistura substrato seja alcançado é necessário também atentar para as propriedades hidrostáticas do material (Guerrini e Trigueiro, 2004), pois tanto a falta de nutrientes quanto o impedimento da drenagem da água pela quantidade excessiva de matéria orgânica pode prejudicar o crescimento da muda causando amarelecimento da planta (Caldeira *et al.*, 2000), podendo haver variação no nível de fitotoxicidade ou deficiência causada pelo substrato inadequado de acordo com a espécie (Braga *et al.*, 1995; Caldeira *et al.*, 1998).

É importante que as pesquisas gerem dados sobre substratos acessíveis, período de produção e necessidade nutricional das mudas para os produtores rurais, tornando viável a produção de mudas em pequena ou grande escala. Deve-se aliar o atendimento as demandas da planta na fase de viveiro à disponibilidade local dos materiais que formarão o substrato (Nicoloso *et al.*, 2000). Há também disponível no mercado substratos para produção de mudas, mas sua aquisição pode tornar mais onerosa à produção de mudas (Cunha *et al.*, 2006).

Vários materiais têm sido pesquisados sobre a sua influência na melhoria das características das misturas substrato na formação de mudas florestais e cabe destacar o uso de subprodutos urbanos e agroindustriais que têm mostrado vantagens e desvantagens como alternativas eficientes e capazes de diminuir os custos, podendo também diminuir a poluição ambiental (Guerrini e Trigueiro, 2004; Cunha *et al.*, 2005; Coutinho *et al.*, 2006).

Nas pesquisas já realizadas, nos substratos mais utilizados destaca-se o húmus de minhoca, o composto de lixo urbano, o lodo de esgoto, o esterco curtido, a casca de arroz, o pó de coco, etc. Entretanto, um número razoável de pesquisas envolveu o uso

da adubação mineral e o segundo componente de substrato mais utilizado foram resíduos da carbonização vegetal. Coutinho *et al.* (2006) conduziram um estudo para produção de mudas de *Sesbania virgata*, para comparar um solo sem adição de fertilizantes e outro com adição de lixo urbano compostado e verificaram que as plantas diferiram quanto aos parâmetros morfológicos avaliados, e a ausência de adubação promoveu um melhor crescimento das plantas. Entretanto, as plantas que receberam composto de lixo urbano apresentavam maiores teores foliares de N, P e K em comparação as que não receberam e concluíram que, quando o objetivo do plantio for enriquecer a serapilheira da área em nutrientes, a adição de adubação orgânica é vantajosa.

O uso de solo argiloso na composição do substrato deve ser preconizado como parte componente da mistura, observando-se, entretanto, sua contribuição no peso do recipiente, por aspectos já considerados (Campinhos Jr. e Ikemori, 1983). O local adequado para coletar esse solo argiloso é o da área onde será estabelecido o futuro plantio. Dantas *et al.* (2009) observaram para a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) um melhor desempenho em composições de substrato contendo solo do que em substrato comercial.

A Tabela 1 apresenta uma lista de referências sobre diferentes materiais utilizados no substrato de formação de mudas para vários gêneros de leguminosas arbóreas, objetivando melhorar as características físicas e químicas do substrato e a formação de mudas com qualidade para o plantio.

Tabela 1 - Tipos de materiais empregados na composição do substrato para a produção de mudas de alguns gêneros de leguminosas arbóreas.

<b>Gênero de Fabaceae</b>	<b>Tipos de materiais</b>	<b>Referências</b>
<i>Acacia</i>	Adubação mineral, resíduos da produção de carvão vegetal, vermiculita, húmus de minhoca, lodo de esgoto, casca de acácia e amendoim, casca de arroz carbonizada, turfa, palha de café, esterco bovino e de ave	Caldeira <i>et al.</i> , 2000 Neves <i>et al.</i> , 2005 Cunha <i>et al.</i> , 2006 Oliveira <i>et al.</i> , 2008
<i>Anadenanthera</i>	Adubação mineral, resíduos da produção de carvão vegetal, torta de	Bernardino <i>et al.</i> , 2005 Gonçalves <i>et al.</i> , 2008

	filtro de usina canavieira, composto de lixo urbano	Chaves <i>et al.</i> , 2006 Sakita <i>et al.</i> , 2007 Nobrega <i>et al.</i> , 2008 Gomes <i>et al.</i> , 2004.
<i>Apuleia</i>	Adubação mineral, areia e casca de arroz carbonizada	Nicoloso <i>et al.</i> , 1999, 2000, 2001 Gomes <i>et al.</i> ; 2008
<i>Bauhinia</i>	Adubação mineral	Ramos <i>et al.</i> , 2000
<i>Caesalpinia</i>	Resíduos da produção de carvão vegetal e esterco caprino.	Dantas <i>et al.</i> , 2009
<i>Copaifera</i>	Água residuária de tratamento de esgoto doméstico	Augusto <i>et al.</i> , 2003
<i>Dalbergia</i>	Adubação mineral	Chaves <i>et al.</i> , 1995 Marques <i>et al.</i> 2006 Bernardino <i>et al.</i> , 2007
<i>Dimorphandra</i>	Adubação mineral	Mendes <i>et al.</i> , 2005 Fernandes <i>et al.</i> , 2008
<i>Mimosa</i>	Adubação mineral, sizal e pó de coco	Lacerda <i>et al.</i> , 2006 Marques <i>et al.</i> , 2006
<i>Parapiptadenia</i>	Adubação mineral	Schumacher <i>et al.</i> , 2004
<i>Peltophorum</i>	Adubação mineral	Venturin <i>et al.</i> , 1999
<i>Piptadenia</i>	Adubação mineral	Marques <i>et al.</i> , 2009
<i>Samanea</i>	Adubação mineral	Cruz <i>et al.</i> , 2006
<i>Sclerolobium</i>	Adubação mineral	Sarcinelli <i>et al.</i> , 2004
<i>Sesbania</i>	Torta de filtro de usina canavieira e composto de lixo urbano.	Coutinho <i>et al.</i> , 2006 Nobrega <i>et al.</i> , 2008

Um aspecto a se considerar sobre o emprego de solo da camada superficial na mistura substrato é a possibilidade deste conter grande quantidade de sementes de plantas pioneiras em seu banco de sementes o que demandará mais mão de obra para a capina manual das mudas. Assim, a preferência deve ser dada a solos sub-superficiais, também chamados de subsolo, no momento da coleta para composição do substrato (Gomes e Paiva, 2006), considerando-se essa parte argilosa da mistura somente como condicionadora da mistura final de substratos a ser adotada. Essa preocupação com a presença de sementes ou propágulos de plantas espontâneas no solo aumenta com o aumento da escala de produção das mudas sendo importante observar sua viabilidade econômica.

## Avaliação do desempenho das mudas

Os custos e a qualidade de produção das mudas devem ser priorizados para que empreendimentos florestais tenham sucesso (Cunha et al., 2006). A avaliação de um conjunto de parâmetros morfológicos pode indicar diretamente a qualidade da muda, mas é necessário atentar-se para que uma planta que esteja com uma boa altura e sem vigor seja considerada não apta para o plantio (Fonseca et al., 2002). Chaves e Paiva (2004), por exemplo, aos 150 dias de enviveiramento de mudas de *Senna macranthera* obtiveram bom desempenho das mudas segundo vários indicadores, exceto a altura mínima de 15 a 30 cm de altura recomendada por Gomes e Paiva (2006) e poderiam ter descartado as mudas se tivessem seguido somente o critério da altura. Isso mostra a necessidade de interação de fatores que avaliam a qualidade, pois mudas de boa qualidade podem ser descartadas, causando prejuízo, pela falta de análise adequada. Neste sentido, a adoção do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) auxilia a interpretação da pesquisa com produção de mudas por reunir em um só indicador vários parâmetros de qualidade (Fonseca et al., 2002), fornecendo valores mínimos de qualidade para aspectos morfológicos da muda (Dickson et al., 1960). O valor mínimo do IQD considerado satisfatório para uma muda é 0,20. O Índice de Qualidade de Dickson relaciona as variáveis peso de matéria seca total (MST), altura (H), diâmetro do coleto (D), peso de matéria seca da parte aérea (MSA) e peso da matéria seca da raiz (MSR), conforme a fórmula abaixo:

$$\text{IQD} = \frac{\text{MST(g)}}{[\text{H(cm)}/\text{D(mm)}] + [\text{MSA(g)}/\text{MSR(g)}]}$$

Figura 1 – Fórmula utilizada no cálculo do Índice de Qualidade de Dickson.

Assim, por meio do Índice de Qualidade de Dickson é possível ter uma avaliação mais holística do desempenho da planta e do estágio ideal do crescimento da planta para o plantio.

A pesquisa silvicultural para o estabelecimento de plantios florestais não pode abdicar da tecnologia relacionada à etapa de produção das mudas para o sucesso dos empreendimentos de florestamento e reflorestamento (Cunha et al., 2006). No sentido de menor uso de insumos que poluem e encarecem a produção de mudas, é importante que seja dada preferência no momento do plantio pela escolha de espécies nativas arbóreas leguminosas que estabelecem ligações simbióticas com bactérias fixadoras de  $N_2$ . Espécies leguminosas favorecem a viabilidade da produção de mudas por diminuir ou até dispensarem o uso de fertilizantes nitrogenados, diminuindo-se também o impacto ambiental do uso desses insumos (Barberi et al., 1998).

95% do N presente no solo está essencialmente na forma orgânica, entretanto somente as formas minerais são assimiladas pelas plantas e ainda pode haver perdas por lixiviação e volatilização quando estão na forma de amônio e nitrato (Franco e Faria, 1997). A simbiose entre espécies de Fabaceae e os rizóbios é um dos processos naturais mais evoluídos e tecnologicamente pode ser bem aproveitado para aumento de sustentabilidade de nitrogênio em sistemas de produção onde as leguminosas fazem parte da combinação de espécies a serem implantadas.

### **Efeito condicionador do carvão vegetal no solo, seus benefícios no crescimento vegetal e presença em solos antropogênicos da Amazônia conhecidos como “terra preta de índio”**

A produção tradicional de carvão vegetal consiste em decompor termicamente a madeira em fornos apropriados para este fim, podendo haver ou não o controle dos teores de oxigênio (Trugilho e Silva, 2001). A temperatura da carbonização da madeira é o principal fator que altera as percentagens de carbono fixo, cinzas e compostos voláteis durante a produção do carvão vegetal (Oliveira et al., 2010). Sendo que quanto mais alta for a temperatura de produção do carvão, menores serão os teores de compostos voláteis, visto que são gases que se expandem e dissipam em alta temperatura (Valente et al., 1985).

O carvão oriundo de resíduos de diferentes espécies pode ter composições diferentes, como mostra a Tabela 2. As informações apresentadas permitem comparar

os diferentes compostos presentes na composição de carvão derivado do endocarpo das palmeiras babaçu (*Orbignya phalerata*) e macaúba (*Acrocomia sclerocarpa*), comparados com o carvão originado da madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Os dados demonstram que para as três espécies a composição final do carvão produzido apresenta maiores concentrações de holocelulose > lignina > extrativos > cinzas e os dois tipos de endocarpos apresentam maiores teores de extrativos que a madeira de eucalipto, sendo possivelmente mais ricos em nutrientes.

Tabela 2 - Caracterização da composição de carvão derivado de diferentes matérias primas.

Componente (%)	Madeira eucalipto	Endocarpo do babaçu	Endocarpo da macaúba
Lignina	24,60	27,90	36,60
Cinzas	0,23	1,94	0,97
Extrativos	6,40	7,80	10,80
Holocelulose	69,00	64,30	52,60

Fonte: Silva et al. (1986), adaptado.

Considerando-se que há diferenças de compostos nos diferentes tipos de carvão produzidos com material conhecido, espera-se variação na composição de carvões de origem urbana, cuja origem madeireira é geralmente desconhecida, o que ocorre com o pó de serra adquirido em serrarias que é geralmente uma combinação de várias espécies de madeira que lhe deram origem. A concentração de nutrientes e de elementos químicos também apresenta variações em carvões de diferentes origens, conforme pode ser observado na Tabela 3. A composição em N da maioria dos materiais não variam muito, exceto o carvão de madeira de pinus que apresenta valor bem inferior aos demais materiais. Entretanto, a adição de condicionantes com baixos níveis de nitrogênio no substrato de produção de mudas de leguminosas nodulíferas não compromete o produto já que este grupo de planta prefere crescer em condições de pouca disponibilidade deste elemento para que o processo simbiótico se estabeleça em sua plenitude.

Tabela 3 – Análise elementar de carvão derivado de diferentes matérias primas.

Componente	C	H	O	N	S	Cinza
	----- % -----					
Casca de coco	92,28	1,09	3,08	0,47	0,04	2,78
Sabugo de milho	86,38	1,20	5,34	0,56	0,05	4,31
Madeira de leucena	85,41	1,27	6,37	0,53	0,04	4,62
Castanha macadâmia	85,41	1,27	6,37	0,53	0,04	4,62
Madeira de pinus	94,58	1,06	3,09	0,11	0,04	0,69
Casca de arroz	52,61	0,82	3,87	0,57	0,06	41,34

Fonte: Antal e Gronli (2003), modificado.

Na Tabela 3, também é possível observar que quando se compara a composição em nutrientes de carvão de diferentes origens há pequenas variações, com algumas exceções com valores inferiores aos demais para carbono, oxigênio e hidrogênio e valores extremamente altos de cinza em carvão originado de casca de arroz, valores inferiores de oxigênio e cinza para carvão de madeira de pinus e oxigênio e cinza inferior para carvão de casca de coco.

O carvão está presente na Terra Preta de Índio. A Terra Preta é um tipo de solo eutrófico antropogênico encontrado na Amazônia brasileira originado pela queima e deposição de resíduos vegetais e animais. Os principais indícios da origem antrópica destes solos é o alto teor de P e a presença de cerâmica e ferramentas de pedra e a localização de sítios junto ao curso de grandes rios que promoviam a sustentação dos povos sedentários que habitaram outrora essas áreas (Smith, 1980). A expressiva quantidade de carvão na constituição da Terra Preta sugere que as sobras de fogueira conduzidas para o preparo de alimentos também eram depositadas nestas áreas.

Geralmente as manchas de terra preta se encontram na porção mais elevada do terreno, chamada também de “Terra Firme” (Lima et al., 2002). As populações indígenas contribuíram por gerações seguidas para a criação da terra preta com maior teor de matéria orgânica em formas estáveis como ácidos húmicos e huminas e menos na forma de ácidos fúlvicos (Lima et al., 2002; Cunha et al., 2007b), baixos teores de K, maior atividade biológica, contrastando com áreas vizinhas que são ácidas e pobres em matéria orgânica e nutrientes essenciais (Moreira, 2007), altos teores totais de CaO ( $1,81 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $4,90 \text{ mg kg}^{-1}$ ), P disponível, Zn e Mn maior do que 250, 200 e  $450 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente e pH entre 5,2 e 6,4 (Falcão e Borges, 2006).

A Terra Preta de Índio é reconhecidamente a preferida para uso pela agricultura familiar para plantios de milho, frutas e vegetais em geral (Major et al., 2005), pela alta diversidade de microrganismos quando comparada a outros tipos de solo vizinhos tende a favorecer o desempenho das lavouras (Navarrete et al., 2010). Apesar disso, a maioria dos estudos sobre a Terra Preta de Índio está voltada a aspectos geológicos e poucos trabalhos estudaram a diversidade de microrganismos (Cannavan, 2007).

As dúvidas sobre a Terra Preta ainda também permanecem pelo fato de conseguir manter sua alta fertilidade mesmo após longo período de uso sob as condições edafoclimáticas amazônicas (Major et al., 2005). Possivelmente essa capacidade está relacionada com a maior estabilidade e difícil digestão das huminas por microrganismos do solo. O solo do tipo Terra Preta de Índio chega a ter três vezes mais carbono que solos adjacentes com outras formações (Moreira, 2007). Falcão e Borges (2006) pesquisaram a terra preta e terra mulata, sendo que a terra preta é mais antropisada do que a terra mulata, com e sem adubação no plantio de mamão (*Carica papaya*) e perceberam que a terra preta com adubação obteve os melhores resultados. Entretanto o mesmo estudo apontou que os altos teores de P, Ca e Mg e baixo teor de K podem causar desbalanço nutricional, criando toxicidade do solo devido aos teores de Zn e Mn (Falcão e Borges, 2006).

Os estudos já realizados apontam que o carvão oriundo da queima incompleta de matéria orgânica, como aconteceu em passado remoto nessas áreas antropogênicas, e outros resíduos são a chave para a manutenção de matéria orgânica mais estável a degradação química e microbiana. São formados grupos carboxílicos aromáticos estáveis que, além de diminuir a degradação, promovem a maior retenção de nutrientes. Essas características da interação do carvão em solos tropicais indicam sua relevância potencial para sustentação da fertilidade de solos nos trópicos (Glaser et al., 2001).

Seguindo as indicações da terra preta de índio, é provável que o uso de carvão oriundo da queima da madeira para condicionamento do substrato de produção de mudas florestais tenha um potencial a ser explorado. Uma fonte de matéria orgânica carbonizada comumente usada e que pode ser excedente de outros processos de produção vegetal é a casca de arroz carbonizada. Ela é um material inerte a hidratação,

leve e com aumento dos teores dela adicionado ao substrato existe aumento da porosidade, principalmente dos macroporos (Nicoloso et al., 2000).

Tryon (1948) afirma que o carvão está presente nos solos de praticamente todas as florestas do mundo, sendo adicionado por incêndios florestais naturais e incêndios provocados pelo ser humano. Esse carvão adicionado ao solo florestal influencia a germinação, competição e sobrevivência das plantas que compõem a regeneração. Tryon (1948) relacionou as informações registradas em vários trabalhos realizados no mundo sobre a adição de carvão vegetal ao solo para plantio de espécies arbóreas e arbustivas, comparando o desempenho do carvão vegetal e de origem animal e construiu um grupamento de efeitos do carvão nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Tabela 4):

Tabela 4 - Efeito da adição do carvão nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Propriedades	Efeitos no Solo
Físicas	Favorece a recomposição de mudas em áreas incendiadas, pois o carvão protege do calor principalmente a superfície do solo Melhoria no conteúdo de água e ar do solo O uso do carvão na cobertura de solos degradados é menos efetivo do que outras fontes de matéria orgânica usuais
Químicas	Acidez é reduzida Aumento no teor de carbono do solo Aumento na Capacidade de Troca Catiônica Absorção de substâncias tóxicas a planta presente no solo
Biológicas	Aumento da população microbiana do solo Promove a ciclagem de nutrientes e processos de mineralização Favorece processos de nitrificação, fixação de nitrogênio e amonificação Melhora o crescimento de mudas de coníferas

Fonte: Tryon (1948), adaptado.

Tryon (1948) adicionou carvão vegetal oriundo de coníferas e de angiospermas, chamadas por ele de “madeira mole” e “madeira dura”, a solos florestais e observou alta relação estatística entre o aumento das quantidades de carvão adicionadas e a neutralização do pH. O aumento do pH foi mais perceptível com a adição de carvão vegetal de madeira dura ou lenhosa, que é exatamente o tipo de madeira escolhida por

quem produz carvão devido ao maior rendimento em peso. O melhor desempenho da madeira lenhosa provavelmente ocorre porque a madeira lenhosa possui teor de cinza em torno de 6 % e a madeira de coníferas tem somente 1,5 % de cinza. Além disso, concluiu-se que a adição do fino do carvão foi mais eficiente para aumentar o pH do solo que o carvão grosseiro, possivelmente pelo fato de ter maior superfície de contato do que o carvão grosseiro e reagir mais rapidamente com o solo.

O experimento do autor também demonstrou alta relação entre a textura do solo e o efeito do carvão, pois o solo mais arenoso teve maior aumento do pH pela adição de fino do carvão do que o solo mais argiloso, mostrando assim que solos argilosos podem ser menos suscetíveis aos benefícios do uso do carvão pela sua maior capacidade tampão. O teor de N, P, K, Ca e Mg foi analisado e aumentaram a medida que aumentaram os teores de carvão adicionado no substrato e o incremento de todos os nutrientes do solo foi maior em relação ao carvão de lenhosas quando comparado ao carvão de coníferas.

Chidumayo (1994) pesquisou o uso de carvão como substrato para a produção de mudas de sete espécies arbóreas nativas do Zambia. Neste estudo houve diminuição da acidez do solo e aumento do P e K trocável e foi constatado que, exceto para uma das sete espécies, o desempenho das mudas em carvão foi bom quanto à germinação e crescimento quando comparado a plântulas que se desenvolveram em substrato sem carvão.

Oguntunde et al. (2004), verificaram que a presença de carvão contribui para a melhoria dos benefícios diretos do solo ao crescimento e produção das plantas, entretanto Tryon (1948), sugere que o sucesso do uso do carvão pode estar condicionado a espécie testada. Oguntunde et al. (2004) plantaram milho em dois sítios com solos diferentes e constataram maiores teores de pH, saturação por bases, condutividade elétrica, teores de Ca, Mg, K, Na e P no solo com carvão em relação ao solo sem carvão. Os grãos e a biomassa do milho tiveram acréscimo de 91% e 44%, respectivamente, no solo com carvão em comparação ao solo sem carvão. Segundo Morales (2010) o uso de carvão possui poder fertilizante, sendo fonte de P, Ca, K, Mg, Mn, Zn e B, mas também alerta que a utilização do carvão no solo deve ser assistida por possuir características químicas limitantes como pH e sais.

A adição do carvão ao solo pode influenciar positivamente a microbiota do solo. Steiner et al. (2008) perceberam acréscimo linear na respiração basal microbiana, biomassa microbiana, crescimento populacional microbiano e eficiência microbiana ao adicionar doses crescentes de carvão ao solo. Assim como Rondon et al. (2007) observaram aumento significativo na adição de N por fixação bacteriana com o aumento dos teores de carvão em substrato de feijão (*Phaseolus vulgaris*).

Topliantz et al. (2005) aplicaram no solo uma mistura de resíduo de mandioca e carvão e verificaram aumento na fertilidade do solo, produtividade da leguminosa cultivada e da atividade decompositora de minhocas em comparação a áreas próximas não cultivadas, concluindo que a adição do carvão ao solo pode ser uma boa opção para o cultivo de leguminosas nos trópicos. Cunha (2007a) utilizou carvão residual de carvoarias da região de Manaus e realizou a análise química do carvão obtendo os resultados apresentados na Tabela 5. Após a adição desse carvão ao solo foi cultivada a berinjela. Por ocasião da colheita verificou-se a partir da análise foliar que a adição do carvão ao solo contribuiu para uma maior absorção de Ca e Mg, mas não foi significativa para outros nutrientes. Enfim, avaliou-se o efeito do carvão usado no substrato sobre a produtividade de frutos de berinjela por hectare e a produtividade foi 100% maior na área com incorporação de carvão ao solo quando comparada a área sem adição de carvão, mostrando assim a eficácia desse insumo que teve um das maiores relações custo/benefício.

Tabela 5 - Análise química de resíduo de carvão, “fino do carvão”, oriundo de carvoarias na periferia de Manaus.

C	N	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn
----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
873	8,9	6,2	1,3	2,1	0,1	12	67

Fonte: Cunha (2007a), adaptado.

## **Algumas informações gerais sobre as leguminosas arbóreas selecionadas para a pesquisa**

### ***Cassia moschata* Kunth (Fabaceae, Caesalpinioideae)**

Sinonímia: *Cassia leiandra* Benth. e *C. moschata* Benth.

O mari-mari pode tornar-se uma árvore de 4 à 8 m de altura com copa ampla e rala. Possui tronco tortuoso com diâmetro entre 20 e 30 centímetros, com madeira de densidade moderadamente pesada, macia e fácil de ser trabalhada, medianamente resistente e com baixa durabilidade. Sua madeira é usada artesanalmente para usos menos nobres, enquanto seus frutos são muito apreciados para consumo por pessoas e animais e suas flores estimulam seu uso na arborização urbana (Lorenzi, 2002).

Ecologicamente o mari-mari é considerado uma planta pioneira que se desenvolve preferencialmente em solo argiloso sem déficit hídrico ou alagado. Sua produção de sementes é abundante e a taxa de germinação é alta (Lorenzi, 2002). Há registros do mari-mari como espécie de origem incerta no Peru e Brasil e como introduzida em Uganda (ILDIS, 2011). A área de ocorrência do mari-mari no Brasil está na região norte do Brasil, principalmente nos estados do Amazonas e Pará, e no estado do Mato Grosso na região centro oeste do Brasil (Souza e Bortoluzzi, 2010a).



Figura 2 – Folha, frutos, sementes e plantas jovens de mari-mari (*Cassia moschata*).em campo.

***Clitoria fairchildiana* R.A. Howard (Fabaceae, Faboideae)**

Sinonímia: *Centrosema spicata* Glaz., *Clitoria racemosa* Benth., *Neurocarpum racemosum* Pohl e *Ternatea racemosa* (Benth.) Kuntze.

A palheteira é uma árvore que pode chegar de 5 à 12 metros de altura, possui tronco curto, com madeira moderadamente pesada, mole, moderadamente resistente, fácil de trabalhar, mas com pouca durabilidade natural sob condições naturais. Sua madeira pode ser usada na construção civil, mas o maior uso da árvore tem sido na arborização urbana e rural e na recuperação de áreas degradadas devido a sua copa larga e frondosa e a sua rusticidade e crescimento rápido em condições adversas

(Lorenzi, 2002). A espécie produz grande quantidade de sementes viáveis e abunda preferencialmente em áreas com solos férteis e úmidos (Lorenzi, 2002). O sombreiro possui registros como espécie introduzida na Índia, Filipinas, República Dominicana, Estados Unidos, Colômbia e Venezuela (ILDIS, 2011), estando presente no Brasil como espécie nativa na região nordeste do país com domínio da Mata Atlântica e Caatinga (Rando e Souza, 2010).

Estudo realizado por Scalon et al. (2006) afirmam que mudas de sombreiro apresentam melhor crescimento quando estão sob sombreamento entre 70 e 50%. Já Portela et al. (2001) recomendam o sombreamento de 30% para plantio imediato e para a estocagem no viveiro que as mudas devem ser produzidas a pleno sol. Recomendando ainda que as mudas podem ser plantadas com sucesso a pleno sol com 30%, 50% e 75% de sombreamento. O sombreiro apresentou 100% de colonização por rizóbios nativos em experimento realizado por Souza et al. (2007), com nodulação abundante e eficiência na fixação de nitrogênio quando plantado testado em diferentes solos da Zona da Mata de Pernambuco, sendo quatro solos de área com mata, seis solos de área agrícola e dois de área degradada. Isso demonstra compatibilidade entre o sombreiro e populações nativas de rizóbio, sendo que o crescimento e acúmulo de nitrogênio foram favorecidos em área ocupada pela leguminosa herbácea *Calopogonium mucunoides*.





Figura 3 – Folhas, frutos, sementes, flores e planta adulta de palheteira (*Clitoria fairchildiana*) em arborização urbana.

***Copaifera multijuga* Hayne (Fabaceae, Caesalpinioideae)**

Sinonímia: *Copaifera multijuga* (Hayne) Kuntze.

A copaíba pode chegar aos 60 m de altura e diâmetro a altura do peito geralmente em torno de 40 cm e possui geralmente copa densa e globosa (Brum *et al.*, 2009). Sua madeira possui densidade alta com superfície lisa e lustrosa e com resistência alta sob condições naturais. A árvore produz anualmente grande quantidade de frutos viáveis e pode ainda ser utilizada para arborização urbana e rural. Entretanto seu uso mais conhecido é para extração de exsudato para fins medicinais (Lorenzi, 2002).

Segundo Lorenzi (2002) as espécies pertencentes ao gênero *Copaifera* ocorrem em vários estados do país e todas possuem características, usos e nomes parecidos. O domínio fitogeográfico onde *C. multijuga* recobre os estados do Amazonas e Pará (Queiroz e Martins-da-Silva, 2010; ILDIS, 2011). Trevisan (2008) percebeu que copaíba (*C. multijuga*) teve desempenho pior quando comparado ao mesmo tempo de enviveiramento de andiroba (*Carapa guianensis*) e cumaru (*Dipteryx odorata*) e

necessita de tempo superior a 6 meses em viveiro para estar pronta para ser plantada em campo.



Figura 4 – Folhas, frutos, óleo essencial, tronco e árvore adulta de copaíba (*Copaífera multijuga*) em dossel de floresta.

***Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. (Fabaceae, Faboideae)**

Sinonímia: *Coumarouna odorata* Aubl., *C. tetraphylla* (Benth.) Aubl. e *Dipteryx tetraphylla* Benth.

O cumaru é uma árvore que pode alcançar de 20 a 30 metros de altura. Possui copa globosa, tronco ereto e cilíndrico, com madeira muito pesada, dura ao corte, com boa resistência mecânica, ao ataque de cupins e fungos apodrecedores. Sua madeira é usada para fins sujeitos a intempéries como carrocerias de caminhões, construção naval e piso de áreas internas. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis a germinação e estas são comestíveis e apreciados por roedores (Lorenzi,

2002). O cumaru possui registros como espécie introduzida na Oceania, e como planta nativa na Colômbia, Guina Francesa e Inglesa, Peru, Suriname e Brasil. No Brasil o cumaru ocorre nos estados do Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia (Lima, 2010a; ILDIS, 2011).

A produção de mudas de cumaru tem melhores resultados a pleno sol (Uchida e Campos, 2000) e Gonçalves et al. (2010) afirmam que a andiroba apresenta melhor desempenho sob estresse lumínico do que cumaru, sendo mais indicada para plantios de produção e recuperação de áreas degradadas na Amazônia do que o cumaru. Cumaru aos três após o plantio também apresentou menor plasticidade a diferentes níveis lumínicos quando comparado ao mogno (*Switenia macrophylla*), mas não apresentou menores níveis de massa de matéria seca em algum dos ambientes, então de acordo com os parâmetros avaliados sua menor plasticidade não causou prejuízo ao seu crescimento (Gonçalves et al., 2005).

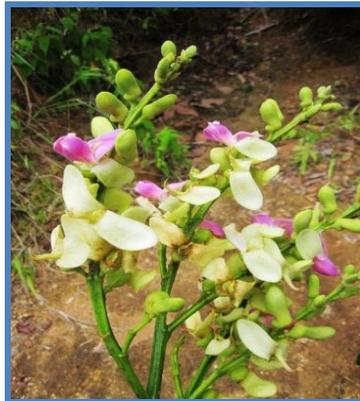




Figura 5 – Folhas, flores, frutos, plântulas e árvore adulta de cumaru (*Dipteryx odorata*) em dossel de floresta.

***Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (Fabaceae, Mimosoideae)**

Orelha de negro. A árvore quando está adulta possui altura entre 10 e 30 metros, com copa baixa e ampla. Possui tronco retilíneo e sua madeira é pesada, dura ao corte, com boa resistência mecânica e moderadamente durável. É indicada para laminas faqueadas decorativas, construção de carrocerias, pisos de assoalhos e obras externas. A orelha de negro produz anualmente grande quantidade de sementes (Lorenzi, 2002). A espécie ocorre nas regiões norte, nordeste e centro oeste nos domínios fitogeográficos da Amazônia e cerrado (Morim, 2010).



Figura 6 – Frutos, sementes, plântulas, planta jovem, tronco e árvore adulta de orelha de macaco (*Enterolobium shomburgkii*) em arborização urbana.

***Inga edulis* Mart. (Fabaceae, Mimosoideae)**

Sinonímia: *Feuilleea edulis* (Mart.) Kuntze, *Inga benthamiana* Meissner, *I. scabriuscula* Benth., *I. vera* sensu Brenan, *I. vera* Kunth e *I. ynga* (Vell.) J.W. Moore e *Mimosa ynga* Vell.

O Ingá cipó apresenta quando adulta altura de 6 m podendo chegar a 25 m, com copa ampla e baixa. Sua madeira é moderadamente pesada, macia, com moderada resistência mecânica e pouco durável. Sua madeira é usada para caixotaria, lenha e carvão, seus frutos são comestíveis e muito apreciados pelas populações amazônicas e até cultivados em quintais domésticos e comercializado em feiras livres. Ocorre geralmente em locais que sofrem inundação em alguma época do ano e produz grande quantidade de frutos e sementes viáveis anualmente (Lorenzi, 2002). Essa espécie está

presente como introduzida na África, América Central e como nativa em vários países da América do Sul. No Brasil é espécie nativa nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia, Roraima e São Paulo, cobrindo quase todos os domínios fitogeográficos do Brasil, pois ocorre na Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (Garcia e Fernandes, 2010; ILDIS, 2011).



Figura 7 – Flores, frutos, sementes e árvore adulta de ingá (*Inga edulis*) em pastagem.

***Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex Walp. (Fabaceae, Mimosoideae)**

**Sinonímia:** *Inga pendula* Willd. e *Mimosa pendula* (Willd.) Poir.

O visgueiro quando adulto tem altura entre 20 e 30 metros, com madeira pesada, mole, fácil de trabalhar e durável em ambientes internos. Sua madeira é recomendada para uso em carpintaria e a árvore é recomendada também para arborização urbana devido ao aspecto curioso de seus frutos pendurados por longos pedúnculos e seu rápido crescimento em ambientes abertos. O visgueiro pode ainda ser usado em recuperação de áreas degradadas, mas possui dispersão sexuada irregular (Lorenzi, 2002). Quanto a área de ocorrência, o visgueiro está presente como espécie nativa na América Central e na América do Sul na Bolívia, Colômbia, Guiana Francesa, Guiana Inglesa, Peru, Suriname, Brasil e Venezuela (ILDIS, 2011). No Brasil é nativo nos domínios fitogeográficos da Amazônia e mata atlântica nas regiões norte, nordeste e centro oeste do Brasil (Iganci, 2010).



Figura 8 – Folhas, frutos, plântulas e copa de visgueiro (*Parkia pendula*) no dossel da floresta.

***Senna multijuga* (Rich) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae, Caesalpinioideae)**

Sinonímia: *Cassia ampliflora* Steud., *C. calliantha* G. Mey., *C. fulgens* Wall., *C. multijuga* Rich., *C. richardiana* Kunth, *Peiransia aristulata* Britton & Killip e *P. multijuga* (Rich.) Britton & Rose.

A canafístula chega a ter 6 a 8 m de altura e possui madeira macia, leve e com baixa durabilidade. Sua madeira é empregada somente para uso interno na propriedade rural, construção de brinquedos e lenha, mas é usada com sucesso na arborização urbana por ser pioneira de crescimento rápido e pequeno porte, possuírem belas flores, crescimento rápido e conseguir bom desempenho em diferentes solos. Podendo ainda ser usada para recuperação de áreas degradadas, ela produz grande quantidade de sementes viáveis anualmente (Lorenzi, 2002). A espécie ocorre nos domínios fitogeográficos da Amazônia, caatinga, cerrado e mata atlântica, estando presente nas regiões norte, nordeste, centro oeste, sudeste e sul do Brasil (Souza e Bortoluzzi, 2010b).





Figura 9 – Folhas, frutos, sementes, flores e árvore adulta de canafístula (*Senna multijuga*) em arborização urbana.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antal, M.J.J. e Gronli, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial e Engineering Chemistry Research*, 42:1619-1640.
- Augusto, D.C.C.; Guerrini, I.A.; Engel, V.L. e Rousseau, G.X. 2003. Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng. (Capixingui) e *Copaifera langsdorffii* Desf. (Copaíba). *Revista Árvore*, 27(3):335-342.
- Barberi, A.; Carneiro, M.A.C.; Moreira, F.M.S. e Siqueira, J.O. 1998. Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no sul de Gerais. *Cerne*, 4: 145-153.
- Barbosa, O. 1968. Alguns aspectos de sementeiras e viveiros florestais. *Revista da Madeira*, 13-19.
- Bernardino, D.C.S.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M. e Marques, V.B. 2005. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. *Revista Árvore*, 29(6):863-870.

- Bernardino, D.C.S.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M. e Marques, V.B. 2007. Influência da saturação por bases e da relação Ca:Mg do substrato sobre o crescimento inicial de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. Ex Benth.) *Revista Árvore*, 31(4):567-573.
- Braga, F.A.; Vale, F.R.; Ventrone, N.; Aubert, E. e Lopes, G.A. 1995. Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. *Revista Árvore*, 19(1):18-31.
- Brum, H.D.; Camargo, J.L.C. e Ferraz, I.D.K. 2009. Copaíba-roxa, *Copaífera multijuga* Hayne in: I.D.K. Ferraz e J.L.C. Camargo (Eds) Manual de Sementes da Amazônia. Fascículo 9. INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. 12pp.
- Caldeira, M.V.W.; Rosa, G.N.; Fenilli, T.A.B. e Harbs, R.M.P. 2008. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria*, 9(1):27-33.
- Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V. e Tedesco, N. 2000. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. *Scientia Forestalis*, 57:161-170.
- Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V.; Barichello, L.R.; Vogel, H.L.M. e Oliveira, L.S. 1998. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. *Revista Floresta*, 28:19-30.
- Camargo, J.L.C.; Ferraz, I.D.K. e Imakawa, A.M. 2002. Rehabilitation of Degradated Areas of Central Amazonia Using Direct Sowing of Forest Tree Seeds. *Restoration Ecology*, 10(4):636-644.
- Campinhos Jr, E.C. e Ikemori, Y.K. 1983. Nova Técnica para a Produção de Mudanças de Essências Florestais. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 23:43-46.
- Cannavan, F.S. 2007. Diversidade das comunidades bacterianas em solos de terra preta antropogênica da Amazônia Central e Oriental. Dissertação Mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 116pp.
- Chaves, A.S. e Paiva, H.N. 2004. Influência de diferentes períodos de sombreamento sobre a qualidade de mudas de fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn. *Scientia Forestalis*, 65: 22-29.
- Chaves, L.F.C.; Borges, R.C.G.; Neves, J.C.L. e Regazzi, A.J. 1995. Crescimento de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem.) em resposta a

inoculação com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes níveis de fósforo no solo. *Revista Árvore*, 19(1):32-49.

Chaves, L.L.B.; Carneiro, J.G.A. e Barros, D.G. 2006. Crescimento de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan (angico-vermelho) em substrato fertilizado e inoculado com rizóbio. *Revista Árvore*, 30(6):911-919.

Chidumayo, E.N. 1994. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. *Forest Ecology and Management*, 70:353-357.

Coutinho, M.P.; Carneiro, J.G.A.; Barroso, D.G.; Rodrigues, L.A. e Siqueira, J. 2006. Substrato de cavas de extração de argila enriquecido com subprodutos agroindustriais e urbanos para produção de mudas de sesbânia. *Revista Árvore*, 30(1):147-153.

Cruz, C.A.F.; Paiva, H.N. e Guerrero, C.R.A. 2006. Efeito da adubação nitrogenada na produção de muda de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). *Revista Árvore*, 30(4):537-546.

Cunha, A.M.; Cunha, G.M.; Sarmiento, R.A.; Cunha, G.M. e Amaral, J.F.T. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o crescimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore*, 30(2):207-214.

Cunha, A.O.; Andrade, L.A.; Bruno, R.L.A.; Silva, J.A.L. e Souza, V.C. 2005. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impertiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. *Revista Árvore*, 29:507-516.

Cunha, J.C.M. 2007a. Uso do fino de carvão vegetal e da adubação potássica na produção de berinjela (*Solanum melongena* L.) em latossolo amarelo antrópico da Amazônia Central. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 72pp.

Cunha, T.J.F.; Madari, B.E.; Benites, V.M.; Canellas, L.P.; Novotny, E.H.; Moutta, R.O.; Trompowsky, P.M. e Santos, G.A. 2007b. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica*, 37:91-98.

Dantas, B.F.; Lopes, A.P.; Silva, F.F.S.; Lucio, A.A.; Batista, P.F.; Pires, M.M.M.L e Aragão, C.A. 2009. Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. *Revista Árvore*, 33: 413-423.

- Dickson, A.; Leaf, A. e Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry chronicle*, 36:10-13.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 212p.
- Falcão, N.P.S. e Borges, L. 2006. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão havaí (*Carica papaya* L.). *Acta Amazonica*, 36:401-406.
- Fernandes, L.A.; Alves, D.S.; Silva, L.F.; Silva, N.C.A.; Martins, E.R.; Sampaio, R.A. e Costa, C.A. 2008. Níveis de nitrogênio, fósforo e potássio para a produção de mudas de fava-danta (*Dimorphandra mollis* Benth). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 10(1):94-99.
- Ferreira, M.G.M.; Candido, J.F.; Condé, A.R. e Brandi, R.M. 1978. Efeito do sombreamento na produção de mudas de quatro espécies florestais nativas. I. Germinação. *Revista Árvore*, 2(1):61-67.
- Fonseca, E.P.; Valéri, S.V.; Miglioranza, E.; Fonseca, N.A.N. e Couto, L. 2002. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, 26:515-523.
- Franco, A.A. e Faria, S.M. 1997 The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5-6):897-903.
- Garcia, F.C.P. e Fernandes, J.M. 2010. *Inga* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB023000>). Acesso: 02/11/11.
- Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G. e Zech, W. 2001. The Terra Preta phenomenon – a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88:37-41.
- Gomes, J.M. e Paiva, H.N. Viveiros florestais. Viçosa: UFV, 2006. 116p. (Cadernos didáticos, 72).
- Gomes, K.C.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Barros, N.F. e Silva, S.R. 2004. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. *Revista Árvore*, 28(6):785:792.

- Gomes, K.C.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Barros, N.F. e Silva, S.R. 2008. Crescimento de mudas de garapa em resposta à calagem e ao fósforo. *Revista Árvore*, 32(3):387-394.
- Gonçalves, E.O.; Paiva, H.N. Gonçalves, W. e Jacovine, L.A.G. 2004. Avaliação qualitativa de mudas destinadas à arborização urbana no Estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, 28(4):479-486.
- Gonçalves, E.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L. e Gomes, J.M. 2008. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. *Revista Árvore*, 32(6):1029-1040.
- Gonçalves, J.F.C.; Silva, C.E.; Guimarães, D.G. e Bernardes, R.S. 2010. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazônica*, 40(1):89-98.
- Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G.; Marengo, R.A.; Ferraz, J.B.S.; Junior, U.M.S. e Barros, F.C. 2005. Estado nutricional e área foliar específica de mogno e cumaru sob dois ambientes de luz. *Acta Amazônica*, 35(1):23-27.
- Guerrini, I.A. e Trigueiro, R.M. 2004. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28:1069-1076.
- Iganci, J.R.V. 2010. *Parkia* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB023111>). Acesso: 02/11/11.
- ILDIS – Internacional Legume Database e Information Service, 2011. ([www.ildis.org/LegumeWeb?version~10.01](http://www.ildis.org/LegumeWeb?version~10.01)). Acesso: 19/11/11.
- Lacerda, M.R.B.; Passos, M.A.A.; Rodrigues, J.J.V. e Barreto, L.P. 2006. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). *Revista Árvore*, 30: 163-170.
- Lima, H.C. 2010a. *Dipteryx* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB022954>). Acesso: 01/11/11.
- Lima, H.N.; Schaefer, C.E.R.; Mello, J.W.V.; Gilkes, R.J. e Ker, J.C. 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. *Geoderma*, 110:1-17.

- Lima, R.L.S.; Severino, L.S.; Silva, M.I.L.; Jeronimo, J.F.; Vale, L.S. e Beltrão, N.E.M. 2006. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(3):474-479.
- Lorenzi, H. 2002. Árvores brasileiras. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP, Brasil. 381 pp.
- Major, J.; DiTommaso, A.; Lehmann, J. e Falcão, N.P.S. 2005 Weed dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111:1-12.
- Marques, L.S.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M. e Souza, P.H. 2009. Crescimento de mudas de jacaré (*Piptadenia gonoacantha* J.F. Macbr.) em diferentes tipos de solos e fontes e doses de nitrogênio. *Revista Árvore*, 33(1):81-92.
- Marques, V.B.; Paiva, H.N.; Gomes, J.M.; Neves, J.C.L. e Bernardino, D.C.S. 2006. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (vell.) Fr. Alex Benth.). *Revista Árvore*, 30(5):725-735.
- Marques, V.B.; Paiva, H.N.; Gomes, J.M. e Neves, J.C.L. 2006. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio no crescimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). *Scientia Forestalis*, 71:77-85.
- Mendes, A.D.R.; Martins, E.R.; Fernandes, L.A. e Marques, C.C.L. 2005. Produção de biomassa e de flavonoides totais por fava danta (*Dimorphandra mollis* Benth) sob diferentes níveis de fósforo em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 7(2):7-11.
- Morales, M.M. 2010. Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo. 88pp.
- Moreira, A. 2007. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. *Bragantia*, 66:307-315.
- Morim, M.P. 2010. *Enterolobium* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB022964>). Acesso: 01/11/11.

- Navarrete, A.A.; Cannavan, F.S.; Taketani, R.G. e Tsai, S.M. 2010. A Molecular Survey of the Diversity of Microbial Communities in Different Amazonian agricultural Model Systems. *Diversity*, 2:787-809.
- Neves, C.S.V.J.; Medina, C.C. e Azevedo, M.C.B. 2005. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de cácia-negra. *Revista Árvore*, 29(6):897-905.
- Nicoloso, F.T.; Zanchetti, F. e Garlet, A. 1999. Exigências nutricionais da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em solo podzólico vermelho amarelo. *Ciência Rural*, 29(2):225-231.
- Nicoloso, F.T.; Fortunato, R.P.; Zanchetti, F.; Cassol, L.F. e Eisinger, S.M. 2000. Recipientes e substratos na produção de mudas de *Maytenus ilicifolia* e *Apuleia leiocarpa*. *Ciência Rural*, 30(6):987-992.
- Nicoloso, F.T.; Fogaça, M.A.F.; Zanchetti, F. e Missio, E. 2001. Nutrição mineral de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*) em argissolo vermelho distrófico arênico: (1) Efeito da adubação com NPK no crescimento. *Ciência Rural*, 31(6):1-8.
- Oguntunde, P.; Fosu, M.; Ajayi, A.; Giesen, N. 2004. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and textures of soil. *Biology Fertility Soils*, 39(4):295-299.
- Oliveira, A.C.; Carneiro, A.C.O.; Vital, B.R.; Almeida, W.; Pereira, B.L.C. e Cardoso, M.T. 2010. Parâmetro de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Revista Árvore*, 38:431-439.
- Portela, R.C.Q.; Silva, I.L. e Pinã-Rodrigues, F.C.M. 2001. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal*, 11(2):163-170.
- Queiroz, L.P. e Martins-da-Silva, R.C.V. 2010. *Copaifera* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB082967>). Acesso: 01/11/11.
- Ramos, M.R.C.; Pinto, J.E.P.B.; Furtini Neto, A.E. e Davide, A.C. 2000. Influência da Aplicação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no Crescimento e Composição Mineral de Mudas de Pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 3:79-86.

- Rando, J.G. e Souza, V.C. 2010. *Clitoria* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB029540>). Acesso: 01/11/11.
- Rondon, M.R.; Lehmann, J.; Ramírez e J.; Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology Fertility Soils*, 43:699-708.
- Sakita, A.E.N.; Porto, P.R.; Sakita, M.N. 2007. Utilização do extrato pirolenhoso na germinação inicial de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. Instituto Florestal Série Regional, 31:57-61.
- Sarcinelli, T.S.; Lynch, L.S.; Ribeiro Junior, E.S. e Dias, L.E. 2004. Crescimento de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel) em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Ciências Agrárias*, 42:109-124.
- Scalon, S.P.Q.; Mussury, R.M.; Filho, H.S. e Francelino, C.S.F. 2006. Crescimento de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) sob condições de sombreamento. *Ciência Agrotecnologia*, 30:166-169.
- Scalon, S.P.Q.; Mussury, R.M.; Rigoni, M.R. e Scalon Filho. 2003. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns Sob condição de sombreamento. *R. Árvore*, 27:753-758.
- Schumacher, M.V.; Caldeira, M.V.W.; Oliveira, E.R.V. e Piroli, E.L. 2001. Influência do vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* hillex maiden. *Ciência Florestal*, 11(2):121-130.
- Schumacher, M.V.; Ceconi, D.E. e Santana, C.A. 2004. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rígida* (Bentham) Brenan). *Revista Árvore*, 28:149-155.
- Schmitz, J.A.K.; Souza, P.V.D. e Kampf, A.N. 2002. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. *Ciência Rural*, 32(6):937-944.
- Silva, J. C.; Barrichelo, L.E.G. e Brito, J.O. 1986. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 34:31-34.

- Smith, N.J.H. 1980. Anthrosol and human carrying capacity in Amazônia. *Annals of the Association of American Geographers*. 70:553-566.
- Souza, C.R.; Lima, R.M.B.; Azevedo, C.P. e Rossi, L.M.B. 2004. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Scientia Forestalis*, 36(77):7-14.
- Souza, L.A.G.; Bezerra Neto, E.; Santos, C.E.R.S. e Stamford, N.P. 2007. Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2):207:217.
- Souza, V.C. e Bortoluzzi, R.L.C. 2010a. *Cassia* in Lista de espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB082808>). Acesso: 31/10/11.
- Souza, V.C. e Bortoluzzi, R.L.C. 2010b. *Senna* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB023157>). Acesso: 02/11/11.
- Steiner, C.; Das, K.C.; Garcia, M.; Foster, B. e Zech, W. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferrasol. *Pedobiologia*, 51:359-366.
- Topliantz, S.; Ponge, J.F. e Ballof, S. 2005. Manioc peel and charcoal: a potential amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biological Fertility Soil*. 41(1):15-21.
- Trevisan, E.F. 2008. Avaliação de diferentes substratos para a produção de mudas de três espécies aromáticas da Amazônia. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Estadual do Amazonas. Manaus, Amazonas. 35 pp.
- Tryon, E.H. Effect of Charcoal on Certain Physical, Chemical, and Biological Properties of Forest Soils. 1948. *Ecological Monographs*, 18:81-115.
- Trugilho, P. F. e Silva, D.A. 2001. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). *Scientia Agrária*, 2:45-53.
- Uchida, T. e Campos, M.A.A. 2000. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. – Fabaceae), cultivadas em viveiro. *Acta Amazônica*, 30(1):107-114.

Valente, O.F.; Almeida, J.M; Vital, B.R. e Lucia, R.M.D. 1985. Efeito da temperatura de carbonização nos rendimentos e propriedades do carvão vegetal produzido. *Revista Árvore*, 9:28-39.

Varela, V.P. e Santos, J. 1992. Influência do sombreamento na produção de mudas de angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 22(3):407-411.

Venturin, N.; Duboc, E. e Vale, F.R. 1999. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34(3):441-448.

Zanetti, M.; Cazetta, J.O.; Junior, D.M. e Carvalho, S.A. 2003. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação de porta-enxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25:508-512.

---

Freitas, A.F.; Souza, L.A.G e Cardoso, I.M. Carvão vegetal em substrato para produção de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*). Manuscrito em preparação para *Revista Árvore*

## **Carvão vegetal em substrato para produção de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*)**

Aroldo Felipe de FREITAS<sup>1</sup>, Luiz Augusto Gomes de SOUZA<sup>2</sup> e Irene Maria CARDOSO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – PPG-CFT/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. Av. André Araújo, 2936, 69011-970, Petrópolis, Manaus, AM. E-mail: [afelipefreitas@yahoo.com.br](mailto:afelipefreitas@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde – CSAS/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – DPS/UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

### RESUMO

O substrato apropriado é importante para a produção de mudas florestais em maior escala. Com base em estudos sobre a terra preta de índio, hipotetizou-se que o uso de carvão oriundo da queima incompleta da madeira poderia ser utilizado em substratos, sem prejuízo na qualidade das mudas de espécies arbóreas produzidas. Para testar a hipótese, conduziu-se experimento em viveiro avaliando o efeito da adição de carvão vegetal em mistura substrato sobre a qualidade de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*). As sementes germinaram em areia lavada, com transplante subsequente para recipientes com capacidade de 2 kg. Os tratamentos utilizados foram a mistura substrato 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e carvão e mistura base 3:2:0,5 (v:v) solo argiloso, areia e esterco bovino combinada com 0, 0,5, 1,0 e 1,5 parte de carvão. Altura (H) e diâmetro do coleto (D) foram medidos bimensalmente. As mudas foram coletadas aos 191 dias de enviveiramento e colocadas em estufa à 65°C por 72h. Em seguida pesou-se a massa seca aérea (MSA) e da raiz (MSR). Também foi calculado o Incremento Médio Mensal do caule e coleto, as relações MSA/MSR e H/D, o Índice de Qualidade de Dickson e a sobrevivência. Em todos os

tratamentos as mudas de cumaru apresentaram boa qualidade. O incremento de níveis de carvão na mistura tradicional não afetou a qualidade das mudas. Quando o carvão substituiu o esterco na mistura tradicional o resultado foi semelhante. Assim, o carvão pode substituir o esterco na mistura tradicional 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco sem prejuízos a qualidade das mudas de cumaru, mas esta substituição deve ser feita com cautela, já que houve maior mortalidade de mudas em substrato sem esterco.

PALAVRAS-CHAVE: crescimento, espécie florestal, viveiro.

### **Charcoal in substrate for cumaru seedlings (*Dipteryx odorata*)**

#### **ABSTRACT**

The appropriate substrate is important for production of forest seedlings. Based on studies of “terra preta” (an anthropogenic soil in the Amazon), we hypothesized that the charcoal originating from incomplete burn of wood could replace manure for the production of high-quality tree seedlings. To test this, we evaluated the effect of the addition of charcoal in a substratum on the quality of cumaru (*Dipteryx odorata*) seedlings in a nursery. Sowing was done in recipients with a capacity of 2 kg of soil. Treatments were a mixture of 3:2:0,5 (v:v) of clay soil, sand and charcoal and a mixture of traditional 3:2:0,5 (v:v) clay soil, sand and manure and its combination with 0,5, 1,0 and 1,5 part of charcoal. After the transplanting, the diameter of the collect and the height of the seedlings were measured every two months after the transplanting. Seedlings were harvested at 191 days and placed in an oven at 65°C for 72h. The dry aerial mass and root mass was assessed. The monthly medium increment of stem and collect, aerial mass/root mass, Dixon’s index of quality, height/diameter of the collect, and survival were calculated. The experimental design was completely random with five treatments and ten repetitions. The quality of cumaru seedlings was good in all treatments. Increase of charcoal in the traditional mixture for seedling production did not affect the quality of cumaru seedlings. When charcoal replaced the manure in the traditional mixture, the results were similar. Therefore, charcoal can replace manure in the traditional mixture for production of good quality of cumaru seedlings.

KEYWORDS: growth, forest species, nursery.

## 1. INTRODUÇÃO

Cumaru (*Dipteryx Odorata*) é uma árvore da Amazônia brasileira importante por possuir madeira nobre. Sua madeira é apreciada em usos que demandam resistência mecânica à intempéries e à deterioração por ataque de cupins e fungos xilófagos. As sementes dessa espécie contém o óleo essencial chamado cumarina e a exploração desse óleo pela indústria química tem potencial para viabilizar extrativismo não madeireiro (LORENZI, 2002).

Neste cenário de potencial econômico e social dessa espécie amazônica há necessidade de desenvolver tecnologia de baixo custo para restabelecer a presença de cumaru em áreas onde houve desflorestamento e enriquecimento à diversidade em áreas onde ela não está mais presente em função da exploração madeireira predatória. No estabelecimento ou recuperação de áreas florestais, a formação de mudas vigorosas e de boa qualidade condiciona em parte o sucesso do plantio definitivo (BERNARDINO et al., 2005).

Nos viveiros para produção de mudas há um controle das condições adequadas ao pleno crescimento da planta, pois quando é possível os viveiros são instalados em locais com acesso que facilita o manejo, fornecimento de água e insumos (GOMES e PAIVA, 2006). Na produção de mudas os substratos devem ser adequados, estimulando o crescimento radicular, fornecendo às raízes a água, oxigênio, nutriente e suporte, permitindo que a muda se desenvolva e esteja preparada para as condições adversas verificadas após o plantio (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

O fino do carvão é subproduto do peneiramento na classificação do carvão vegetal. Na região amazônica o carvão também é componente essencial do solo eutrófico antropogênico classificado como Terra Preta de Índio, que é originado pela deposição sistemática de resíduos carbonizados vegetais e animais (FALCÃO e BORGES, 2006). Estudos mostram que é o resíduo carbonizado o responsável pela manutenção da fertilidade da terra preta (GLASER et al., 2001)

Assim, o carvão possui potencial para composição dos substratos para a produção de mudas de espécies arbóreas, dentre elas o cumaru. Com base nos estudos da terra preta de índio hipotetizou-se que com a adição de quantidades adequadas de carvão de espécies lenhosas seja possível produzir substrato com características químicas e físicas adequadas à produção de mudas de qualidade. Esta qualidade pode ser verificada nas características biométricas de crescimento das plantas.

Alguns resíduos, como a casca de arroz é comumente carbonizada e utilizada na produção de mudas (NICOLOSO et al., 2000). Entretanto, há poucos estudos sobre os efeitos da adição de resíduos do carvão vegetal oriundo da carbonização de espécies madeireiras e os benefícios que podem causar na produção de mudas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição do fino de carvão (“moinha”) misturado ao substrato de produção de mudas da espécie leguminosa arbórea cumaru.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida durante os anos de 2011 e 2012 no Campus do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) V-8 em áreas de sementeira e viveiro da Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde – CSAS/INPA, em Manaus, AM. A área de sementeira é constituída por bancadas de madeira dentro de um galpão aberto lateralmente e com cobertura de telha de barro. A estrutura do viveiro é de ferro, cobertura de sombrite com 50% de luz incidente, aberta lateralmente, com chão cimentado e possui área de 8 x 11 m.

Os propágulos de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd., Fabaceae, Faboideae, Dipteryxaceae), procederam de árvores matrizes cultivadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, BR 174, Km 46, Manaus, AM. A coleta dos frutos ocorreu sob a copa das matrizes na fase de dispersão plena. As sementes foram extraídas mecanicamente dos frutos com auxílio de bastão de madeira no Laboratório de Microbiologia do Solo do INPA e secos ao ar por 48 h.

Antecedendo a semeadura as sementes foram mantidas submersas em água por um período de 24 h para promover a embebição. Em seguida foram semeadas em linhas, empregando-se como sementeiras caixas plásticas drenadas com 40 x 80 cm preenchidas com areia lavada. Na fase de germinação na sementeira a irrigação das plântulas foi diária.

Os componentes das misturas substrato foram obtidos em diferentes locais. O solo argiloso e o esterco bovino curtido foram coletados na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, localizada na BR 174, Km 35, Manaus, AM. O solo foi coletado até 10 cm de profundidade em área com Latossolo Amarelo sob pastagem abandonada (VIEIRA et al., 2011). A areia adquirida foi a utilizada como material de construção. A moinha de carvão,

subproduto da carbonização de espécies arbóreas, foi coletada em área de produtor na BR-174, Ramal ZF-1, na Comunidade Nova Canaã, Manaus.

Após o transporte até a sede cada componente foi submetido à secagem em sombra por 48 h. Em seguida foi peneirado em malha de 5 mm e uma amostra de cada componente isolado foi separada para análise química. No preparo das misturas a combinação de componentes obedeceu proporção de base volumétrica. A mistura substrato básica empregada na definição dos tratamentos foi a combinação de solo argiloso, areia e composto do tipo 3:2:0,5 (v:v) recomendada para leguminosas arbóreas (SOUZA, 1992).

Os seguintes tratamentos foram aplicados:

- T1) Mistura substrato 3:2:0,5, solo, areia e carvão.
- T2) Mistura substrato 3:2:0,5, solo, areia e esterco.
- T3) Mistura substrato 3:2:0,5:0,5, solo, areia, esterco e carvão.
- T4) Mistura substrato 3:2:0,5:1, solo, areia, esterco e carvão.
- T5) Mistura substrato 3:2:0,5:1,5, solo, areia, esterco e carvão.

Após homogeneização as misturas substratos foram distribuídas em recipientes plásticos de polipropileno. Os recipientes eram devidamente drenados, possuíam dimensões de 13 x 27 cm, 11 cm de diâmetro após preenchimento e capacidade para 2 kg de mistura substrato. As plântulas foram transplantadas para os recipientes pela técnica de raízes nuas após a emissão de um par de folhas definitivas na sementeira. Durante a condução do experimento os substratos foram irrigados regularmente nos dias sem chuva e quando necessário removido as plantas espontâneas manualmente.

O crescimento das plantas em altura e diâmetro do coleto foi mensurado com auxílio de régua e paquímetro digital um dia após o transplante e aos 59, 127 e 191 dias. Como altura foi considerada a medida entre o coleto e o meristema apical da muda. Foram efetuadas estimativas do incremento médio mensal em altura e diâmetro do coleto, segundo Benincasa (1988), obedecendo à formulação:  $\text{Incremento Médio Mensal} = \{h_2 - h_1 / [(t_2 - t_1) - 1]\} \times 30$  dias. Onde:  $h_1$  e  $t_1$  correspondem à altura inicial no tempo inicial e a altura final é  $h_2$  no tempo final  $t_2$ . A fórmula foi repetida para as medidas de diâmetro do coleto.

A avaliação das mudas ocorreu 191 dias após o transplante. As mudas foram extraídas inteiras após destorroamento da mistura substrato, em seguida foram lavadas, seccionadas na altura do coleto e submetidas à secagem em estufa à 65°C por 72 h. Após a secagem foram

determinados o peso da parte aérea, caule e raízes das mudas. O peso das folhas foi determinado pela subtração do peso do caule no peso da parte aérea. A matéria seca total foi obtida pela soma do peso da parte aérea e raízes das mudas.

A análise das características químicas dos componentes isolados e das misturas substrato foi realizada no Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP/INPA em Manaus. A metodologia empregada foi prescrita pela Embrapa (1997). Foi determinado o pH dos substratos em água (1:2,5) e teores disponíveis de Ca, Mg e Al em solução extratora de KCl 1N. A matéria orgânica foi determinada pelo método Walkley-Black (MENDONÇA e SILVA, 2001). O K foi determinado por fotometria de chama, P extraído e determinado por espectrofotometria. Zn e Fe foram extraídos em solução Mehlich-1 e quantificados em leitor por absorção atômica.

Com os valores obtidos também foi calculada a relação matéria seca da parte aérea/raíz. Foi determinado o Índice de Qualidade de Dickson (DICKSON et al., 1960) de acordo com a fórmula:

$$IQD = \frac{MST(g)}{[H(cm)/D(mm)] + [MSA(g)/MSR(g)]}$$

Onde: MST é a matéria seca total, H corresponde à altura, D é o diâmetro do coleto, MSA é a matéria seca da parte aérea e MSR a matéria seca das raízes. Foi ainda calculada a relação altura/diâmetro e a taxa de sobrevivência das mudas também foi registrada para cada mistura substrato ao final do experimento.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado constituído por cinco tratamentos com doze repetições para a sobrevivência e oito repetições para medidas de crescimento e as outras características avaliadas. A análise dos resultados foi feita com o programa Estat (UNESP, versão 2002) empregando-se o teste de Tukey para comparações entre médias.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análise química do substrato

As informações sobre as características químicas dos componentes e das misturas substrato estão apresentadas na Tabela 1. Foram verificadas diferenças importantes nas características químicas entre os componentes utilizados na produção dos substratos.

(Entra Tabela 1)

O pH do carvão foi o menor, seguido do pH da argila, do esterco e areia. O carvão e o esterco bovino possuem mais nutrientes do que areia e solo argiloso. Entretanto há diferenças importantes entre carvão e esterco. O carvão apresentou teores de matéria orgânica 3,5 vezes maior que o do esterco, mas disponibilizou Ca e Mg similar ao esterco. Nas condições do ensaio o esterco apresentou valores de P, K, Fe e Zn bem maiores que os disponibilizados pelo carvão, especialmente para os teores de fósforo trocável. O carvão também possui maior acidez potencial do que o esterco.

Estas características do carvão e esterco refletiram nas misturas utilizadas. O incremento em carvão elevou progressivamente a acidez, aumentando também os índices de acidez potencial do substrato (Tabela 1).

Com o incremento dos níveis de carvão nos substratos observou-se um progressivo aumento da matéria orgânica, tendência de aumento do Ca e Mg e diminuição do Fe. No caso de P e K não foi possível perceber tendência de aumento ou diminuição dos teores seguindo a variação das quantidades de carvão no substrato.

### 3.2. Adição de carvão no substrato e a formação de mudas de cumaru

Os diferentes substratos avaliados para a formação de mudas de cumaru não influenciaram a altura e diâmetro do coleto durante o período experimental (Tabela 2). Inicialmente, foi verificada desuniformidade um dia após o transplântio na altura das plantas de cumaru. Já na segunda avaliação aos 59 dias estas diferenças não mais se manifestavam permanecendo assim até os 191 dias. Na colheita, quando as mudas adquiririam qualidade suficiente para o plantio definitivo, a média geral da altura alcançou 34,8 cm. Desse modo, o incremento dos níveis na mistura substrato tradicional não afetou o crescimento da planta em altura. A ausência de diferença estatística entre as medidas de altura no substrato 3:2:0,5 de solo, areia e esterco e 3:2:0,5 de solo, areia e carvão, onde as mudas apresentavam médias de 35,0 e 35,4 cm, respectivamente, sugere que o carvão pode substituir o esterco no substrato tradicional sem afetar o crescimento da muda.

(Entra Tabela 2)

As médias do diâmetro do coleto apresentaram maior homogeneidade que o comprimento do caule um dia após o transplante e mantiveram-se sem diferenças estatísticas entre tratamentos durante o ensaio. Ao final de 191 dias de enviveiramento as mudas de cumaru apresentavam em média 5,7 mm de diâmetro do coleto (Tabela 2). Para essa variável, embora não tenha havido diferenças estatísticas entre os substratos, a maior média do diâmetro do coleto com 6,2 mm foi alcançada na mistura 3:2:0,5 de solo, areia e carvão.

Na Tabela 3, que contém os dados da biomassa seca de cumaru, é possível perceber que, assim como o menor incremento médio mensal da altura das plantas ocorreu no substrato com uma parte e meia de carvão, também nesse substrato ocorreram os menores valores de biomassa, sendo a biomassa seca foliar de 2,72g, do caule com 3,25g e matéria seca total de 8,77g, estando bem distante dos maiores valores de biomassa seca verificada no substrato sem carvão, que foram biomassa seca foliar de 4,35g, do caule de 4,39g e matéria seca total de 12,02g. Entretanto, novamente não houve diferença estatística entre a biomassa das plantas desenvolvidas em diferentes substratos, mesmo tendo mostrado a análise individual dos componentes do substrato que o esterco possuía valores maiores de nutrientes que o carvão.

(Entra Tabela 3)

A relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz, o Índice de Qualidade de Dickson e altura/diâmetro estão apresentados na Tabela 4. Os valores da relação entre a massa seca aérea pela massa seca da raiz apresentaram média de 2,72, variando entre 2,33 no substrato 3:2:0,5:1,5 de solo, areia, esterco e carvão e 3,04 no substrato 3:2:0,5:0,5 de solo, areia, esterco e carvão. O valor médio da relação altura/diâmetro foi de 6,0, variando entre 5,7 e 6,2. O Índice de Qualidade de Dickson teve valor médio alcançado para mudas de cumaru de 1,17, variando entre 1,06 no substrato 3:2:0,5:1,5 de solo, areia, esterco e carvão e 1,40 no substrato 3:2:0,5 de solo, areia e esterco. Nas condições experimentais o período de formação de mudas desta espécie foi de seis meses.

(Entra Tabela 4)

As informações sobre as taxas de sobrevivência das mudas de cumaru durante o período experimental também estão disponibilizadas na Tabela 4. Nota-se que quedas na sobrevivência foram somente registradas na mistura substrato 3:2:0,5 de solo, areia e carvão e 3:2:0,5:0,5 de solo, areia, esterco e carvão, respectivamente, com taxas de mortalidade de 16,7 e 8,4 %.

#### 4. DISCUSSÃO

Apesar de Morales (2010) alertar sobre alterações nocivas do pH com a adição de carvão, em nenhuma das misturas substrato do presente experimento o pH abaixou a ponto de prejudicar as plantas (Tabela 1). Contrariando os resultados do presente trabalho, outros autores encontraram aumento do pH com o aumento do teor de carvão no substrato (TRYON,1948; CHIDUMAYO, 1994).

Tryon (1948) observou alta relação entre a textura do solo e o efeito do carvão, mostrando que solos argilosos podem ser menos suscetíveis aos benefícios do uso do carvão na neutralização do pH pela sua maior capacidade tampão. Silva et al. (1986) e Antal e Gronli (2003) analisaram quimicamente diferentes tipos de material carbonizado e verificaram diferenças na concentração de elementos químicos. Espera-se também essa variação na composição de carvão cuja origem madeireira é desconhecida, como é o caso do carvão usado nesse experimento. As diferenças entre os dados sobre o efeito da adição de carvão disponíveis na literatura e os do presente experimento pode ter ocorrido devido a uma combinação de espécies de madeira com diferentes propriedades químicas na produção de carvão. Isso, associado à capacidade tampão de solos argilosos pode ter sido responsável pela divergência entre os dados.

O efeito condicionador do carvão no solo está relacionado aos altos valores de matéria orgânica e esta foi diretamente proporcional ao aumento da quantidade de carvão adicionada (Tabela 1). Como o tempo de produção de mudas florestais é prolongado, a atenção para a combinação de diferentes compostos não se prende somente as propriedades químicas que oferecem, mas também a esse efeito condicionador proporcionado pelo carvão.

A adição de carvão promove a formação de grupos carboxílicos aromático estáveis que, além de diminuir a digestão da matéria orgânica do solo por microorganismos, ainda promovem maior retenção de nutrientes (GLASER et al., 2001). Isto pode ter contribuído para aumentar a eficácia do carvão quando associado à outros materiais mais férteis como o esterco na composição mistura substrato. A superioridade apresentada na fertilidade e teor de matéria orgânica do carvão e do esterco (Tabela 1) justificam a possibilidade de substituição do esterco pelo carvão como composto orgânico capaz de melhorar as propriedades químicas e físicas do substrato.

Na composição de substrato, além da qualidade, deve ser considerada a facilidade de acesso e custo de seus componentes (BERNARDINO et al., 2005). Os dados aqui apresentados sugerem que o produtor de mudas que possui grande disponibilidade de carvão e pouca oferta de esterco poderá utilizar o carvão para substituir o esterco na combinação de 3:2:0,5 (solo, areia, carvão). Isto porque não houve diferença estatística entre os substratos com ou sem uso de esterco nos parâmetros biométricos avaliados (Tabela 2), produção de biomassa (Tabela 3) e nos índices de qualidade das mudas (Tabela 4).

Os resultados sobre o efeito do uso do carvão na produtividade de algumas espécies de plantas são controversos. Houve maior crescimento de mudas de seis espécies arbóreas nativas do Zâmbia (CHIDUMAYO, 1994). Rondon et al. (2007) observaram aumento na produção de grãos e biomassa em experimento com feijão (*Phaseolus vulgaris*) pela adição de carvão. Chidumayo (1994) não encontrou efeito da adição de carvão no crescimento da espécie *Isoberlinia angolensis*. Já Zanetti et al. (2003) não constataram benefícios e ainda perceberam prejuízos com o aumento do teor de carvão em substrato para produção de limoeiro cravo (*Citrus limonia* Osbeck).

Estas diferenças encontradas na literatura podem estar relacionadas também a características das plantas. Por exemplo, *Phaseolus vulgaris* é capaz de estabelecer relações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio e é uma espécie de ciclo mais curto em relação à cumaru. Sendo assim mais fácil constatar efeitos em menor prazo.

Os dados de biomassa seca média das folhas, caule e raiz apresentados por Uchida e Campos (2000) para mudas de cumaru aos cinco meses após a repicagem com 50% de luminosidade foram menores que o das plantas nos tratamentos do presente experimento (Tabela 3). Havendo assim maior acúmulo de biomassa nas plantas, formação de sistema radicular para captação de nutrientes e aparato fotossintético para as futuras condições em campo. Na maioria dos casos, o presente experimento apresentou valores de biomassa que chegaram quase ao dobro dos expostos por Uchida e Campos (2000), mostrando assim que as plantas do presente experimento estão com qualidade superior quanto à biomassa do trabalho científico desses autores.

Gomes e Paiva (2006) afirmam que a relação altura/diâmetro (H/D) também é conhecida como quociente de robustez e quanto menor os valores desse índice maiores serão as chances dessas mudas terem sucesso no plantio definitivo. Os valores da relação H/D (Tabela 4)

utilizados como indicadores de qualidade do cumaru foram igualmente menores do que nas plantas de cumaru do experimento de Uchida e Campos (2000) H/D de 6,88.

Para a relação parte aérea/raiz (MSA/MSR) o valor 2,0 foi convencionado como sendo o valor mais equilibrado (GOMES e PAIVA, 2006). Assim, o valor da relação MSA/MSR igual a 2,83 encontrado nas plantas de cumaru por Uchida e Campos (2000) no tratamento com 50% de luminosidade foi mais elevado do que a média de 2,72 dos tratamentos do presente experimento (Tabela 4). Os resultados dos dois índices apresentados de H/D e MSA/MSR confirmam que as mudas no presente experimento apresentaram crescimento equilibrado da parte aérea e da parte aérea em relação à raiz, resultando em maior robustez e sucessivamente maior possibilidade de sobrevivência e estabelecimento após o plantio definitivo. A inferioridade das mudas de Uchida e Campos (2000) possivelmente pode ser explicada por características físico-químicas menos favoráveis do substrato usado composto por solo, areia, esterco de galinha e palha de arroz na proporção 12:4:0,5:1 (v:v).

Trevisan (2008) testou a resposta biométrica de cumaru à três substratos, sendo um latossolo amarelo, outro terra preta e uma mistura de latossolo, areia e terra preta. Obteve aos 180 dias valores similares de altura, diâmetro do coleto e valores da partição da biomassa seca dessa espécie no presente experimento aos 191 dias (Tabela2). Ao comparar o incremento médio mensal da altura com o do presente experimento constata-se que são similares e a mortalidade foi superior a do presente experimento. Atestando novamente a qualidade das mudas de todos os tratamentos.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) reforça a boa qualidade das mudas, pois apresentaram valores em média cinco vezes maiores que o mínimo recomendado pela literatura de 0,20 para mudas de *Picea abies* e *Pseudotsuga menziesii*. Assim como superioridade aos valores de 0,23 a 0,69 do IQD apresentados por Azevedo et al. (2010) avaliando o crescimento de mudas de *Simarouba amara* em viveiro. Ao calcular o IQD com os dados das mudas de Uchida e Campos (2000) aos 50% de luminosidade e as médias dos valores de Trevisan (2008), a qualidade das mudas do presente experimento é superior ao valor do IQD de 0,70 do primeiro autor e similar ao IQD de 1,30 do segundo autor no substrato somente com esterco e no substrato 3:2:0,5:1 de solo, areia, esterco e carvão.

Uchida e Campos (2000) responsabilizaram o grande tamanho das sementes de cumaru e reservas contidas nela pela similaridade na altura das plantas em seu experimento sob diferentes

níveis de sombreamento. Embora o trabalho aqui apresentado seja sobre variações no substrato, as reservas das sementes podem também ter sido responsáveis pela similaridade dos resultados entre tratamentos.

Nossos dados mostraram diferença apenas na mortalidade das mudas da espécie de cumaru. A maior mortalidade no tratamento sem esterco provavelmente ocorreu devido a maior acidificação, pois, como pode ser observado na Tabela 1, o substrato sem esterco possui pH menor dentre todos os substratos. Entretanto o pH de todas as misturas ficou entre 5,2 e 6,1, sendo similar aos valores considerados benéficos de pH para a terra preta (FALCÃO e BORGES, 2006).

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados sugerem que o carvão pode substituir o esterco na mistura tradicional 3:2:0,5 de solo, areia e esterco (v:v) para a produção de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*), pois até os seis meses de enviveiramento, as mudas de cumaru apresentaram a mesma qualidade quando utilizou-se carvão ou esterco na mistura tradicional. Entretanto, houve maior mortalidade de mudas sem o uso de esterco. Assim, a substituição deve ocorrer apenas onde há abundância de carvão em relação ao esterco. No caso de substituição, o uso de carvão deve ser de 0,5 na mistura, pois aumentos na quantidade de carvão não resultaram em melhorias na qualidade das mudas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

- AZEVEDO, I.M.G.; ALENCAR, R.M.; BARBOSA, A.P. e ALMEIDA, N.O. Estudo do crescimento e qualidade de mudas de marupá (*Simarouba amara* Aubl.) em viveiro. **Acta Amazônica**, v.40, n.1, p.157-164, 2010.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal, São Paulo, Brasil: FUNEP. 1988. 41pp.
- BERNARDINO, D.C.S.; PAIVA, H.N.; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. e MARQUES, V.B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, V.29, N.6, P.863-870, 2005.
- CHIDUMAYO, E.N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, v.70, p.353-357, 1994.
- DICKSON, A.; LEAF, A. e HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry chronicle**, v.36, n.1, p.10-13, 1960.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FALCÃO, N.P.S. e BORGES, L. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão havaí (*Carica papaya* L.). **Acta Amazonica**, v.36, n.4, p.401-406, 2006.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G. e ZECH, W. The Terra Preta phenomenon – a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v.88, n.1, p.37-41, 2001.
- GOMES, J.M. e PAIVA, H.N. **Viveiros florestais**. Viçosa: UFV, Caderno didático n.72, 2006. 116p.
- GUERRINI, I.A. e TRIGUEIRO, R.M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, n.6, p.1069-1076, 2004.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa, São Paulo, Instituto Plantarum. 2002. 381p.
- MENDONÇA, E.S. e MATOS, E. S. 2005. **Matéria orgânica do solo: Método de análises**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 107p.
- MORALES, M.M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 88f. Dissertação (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo. 2010.

- MOREIRA, A. 2007. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, v.66, n.2, p.307-315. 2007
- CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 3. 2010 Manaus. **Anais...Manaus**: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 11p.
- RONDON, M.A.; LEHMANN, J.; RAMIREZ, J. e HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology Fertility Soils**, v.43, p.699-708. 2007.
- SILVA, J. C.; BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J.O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v.34, p.31-34. 1986
- SOUZA, L.A.G. **Seleção em solos ácidos de *Bradyrhizobium* para leguminosas arbóreas e efeito do composto usado no substrato para produção de mudas noduladas.** 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- TREVISAN, E.F. **Avaliação de diferentes substratos para a produção de mudas de três espécies aromáticas da Amazônia.** 35f. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia Florestal), Universidade Estadual do Amazonas. Manaus, Amazonas. 2008.
- TRYON, E.H. Effect of Charcoal on Certain Physical, Chemical, and Biological Properties of Forest Soils. **Ecological Monographs**, v.18, p.81-115. 1948.
- UCHIDA, T. e CAMPOS, M.A.A. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. – Fabaceae), cultivadas em viveiro. **Acta Amazônica**, v.30, n.1, p.107-114. 2000.
- VIEIRA, E.P. e SOUZA, L.A.G. Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. **Revista de Ciências Agrárias**, v.54, n.1, p.54-62. 2011.
- ZANETTI, M.; CAZETTA, J.O.; JUNIOR, D.M. e CARVALHO, S.A. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação de porta-enxerto limoeiro ‘cravo’ em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.508-512. 2003.

Tabela 1. Características químicas dos componentes isolados e da mistura substrato empregadas na formação de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*).

Table 1. Chemical characteristics of the individual components and substrate mixture used for the production of cumaru seedlings (*Dipteryx odorata*).

	pH	MO <sup>*1</sup>	H+Al	Ca	Mg	P	K	Fe	Zn
	H <sub>2</sub> O	g kg <sup>-1</sup>	---- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----			----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
Componentes									
Solo argiloso	5,1	8,3	0,11	838	235	2,4	24	137	1,5
Areia	6,8	0,4	0	115	7	7,8	17	29	5,5
Esterco	6,4	50,6	0	3340	372	2915	1076	81	52,9
Carvão	4,4	179	2,68	3245	334	35,5	510	10	7,9
Misturas substrato <sup>*2</sup>									
3:2:0,5 (S:A:C)	5,6	29,5	0,05	689	66	95,0	31	212	9,3
3:2:0,5 (S:A:E)	6,0	19,1	0,07	558	49	78,8	42	268	10,1
3:2:0,5:0,5 (S:A:E:C)	6,1	26,8	0,07	578	54	69,2	32	254	7,9
3:2:0,5:1 (S:A:E:C)	5,7	30,1	0,13	701	70	92,0	31	202	8,5
3:2:0,5:1,5 (S:A:E:C)	5,2	31,7	0,16	859	87	89,0	51	201	9,2

<sup>\*1</sup>MO -Matéria Orgânica.

<sup>\*2</sup>S = solo, A = areia, E = esterco bovino e C = carvão em combinação volumétrica v:v.

Tabela 2. Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*) no comprimento do caule, diâmetro do coleto e taxas de incremento mensal no crescimento, sob enviveiramento.<sup>\*1\*2</sup>

Table 2. Effect of increasing doses of charcoal in the substrate for production of cumaru seedlings (*Dipteryx odorata*) on stem length, stem diameter and monthly rates of increase in a nursery.<sup>\*1\*2</sup>

Misturas substrato <sup>*3</sup>	Dias após a repicagem				IMM <sup>*3</sup>
	1	59	127	191	
----- comprimento do caule (cm) -----					cm mês <sup>-1</sup>
3:2:0,5 (S:A:C)	17,0 ab	26,0 a	32,2 a	35,4 a	3,2 a
3:2:0,5 (S:A:E)	15,0 b	28,7 a	32,7 a	35,0 a	2,9 a
3:2:0,5:0,5 (S:A:E:C)	16,1 b	27,8 a	33,1 a	35,6 a	3,1 a
3:2:0,5:1 (S:A:E:C)	19,7 a	28,4 a	34,1 a	37,2 a	2,8 a
3:2:0,5:1,5 (S:A:E:C)	16,3 b	24,4 a	28,6 a	30,6 a	2,3 a
----- diâmetro do coleto (mm) -----					mm mês <sup>-1</sup>
3:2:0,5 (S:A:C)	4,3 a	4,6 a	6,0 a	6,2 a	0,3 a
3:2:0,5 (S:A:E)	4,2 a	4,3 a	5,5 a	5,8 a	0,3 a
3:2:0,5:0,5 (S:A:E:C)	3,9 a	4,0 a	5,2 a	5,3 a	0,2 a
3:2:0,5:1 (S:A:E:C)	4,0 a	4,3 a	5,5 a	5,8 a	0,3 a
3:2:0,5:1,5 (S:A:E:C)	3,9 a	4,1 a	5,0 a	5,2 a	0,2 a

<sup>\*1</sup>Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade (P<0,05).

<sup>\*2</sup>IMM = Incremento Médio Mensal.

<sup>\*3</sup>S = solo, A = areia, E = esterco bovino e C = carvão em combinação volumétrica v:v.

Tabela 3. Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*) na biomassa de folhas, caule, raízes e total seca aos 191 dias após o transplante, sob enviveiramento.<sup>\*1</sup>

Table 3. Effect of increasing doses of charcoal in the substrate for production of cumaru seedlings (*Dipteryx odorata*) on the biomass of leaves, stems, roots and total dry mass 191 days after transplantation in a nursery. <sup>\*1</sup>

Misturas substrato <sup>*2</sup>	-----Biomassa seca (g) -----			
	Folha	Caule	Raízes	Total
3:2:0,5 (S:A:C)	3,38 a	3,71 a	2,75 a	9,86 a
3:2:0,5 (S:A:E)	4,35 a	4,39 a	3,29 a	12,02 a
3:2:0,5:0,5 (S:A:E:C)	3,29 a	3,58 a	2,28 a	9,14 a
3:2:0,5:1 (S:A:E:C)	4,24 a	4,32 a	3,02 a	11,58 a
3:2:0,5:1,5 (S:A:E:C)	2,72 a	3,25 a	2,81 a	8,77 a

<sup>\*1</sup> Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade (P<0,05).

<sup>\*2</sup> S = solo, A = areia, E = esterco bovino e C = carvão em combinação volumétrica v:v.

Tabela 4. Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata*) nos indicadores de qualidade e taxa de sobrevivência aos 191 dias após o transplante, sob enviveiramento. <sup>\*1</sup>

Table 4. Effect of increasing doses of charcoal in the substrate for production of cumaru seedlings (*Dipteryx odorata*) on quality indicators and survival rate 191 days after transplantation in a nursery. <sup>\*1</sup>

Misturas substrato <sup>*2</sup>	Relação parte aérea/raiz	Índice de Qualidade de Dickson	Relação altura/diâmetro	Sobrevivência (%)
3:2:0,5 (S:A:C)	2,50 a	1,08 a	6,2 a	83,3
3:2:0,5 (S:A:E)	2,81 a	1,40 a	5,9 a	100,0
3:2:0,5:0,5 (S:A:E:C)	3,04 a	1,00 a	6,1 a	91,6
3:2:0,5:1 (S:A:E:C)	2,95 a	1,29 a	6,0 a	100,0
3:2:0,5:1,5 (S:A:E:C)	2,33 a	1,06 a	5,7 a	100,0

<sup>\*1</sup> Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade (P<0,05).

<sup>\*2</sup> S = solo, A = areia, E = esterco bovino e C = carvão em combinação volumétrica v:v.

**CAPITULO II**

---

Freitas, A.F.; Souza, L.A.G e Cardoso, I.M. Uso de carvão no substrato para a produção de mudas de leguminosas arbóreas.  
Manuscrito em preparação para *Acta Amazônica*

## USO DE CARVÃO VEGETAL NO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS

Aroldo Felipe de FREITAS<sup>1</sup>, Luiz Augusto Gomes de SOUZA<sup>2</sup> e Irene Maria CARDOSO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – PPG-CFT/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. Av. André Araújo, 2936, 69011-970, Petrópolis, Manaus, AM. E-mail: [afelipefreitas@yahoo.com.br](mailto:afelipefreitas@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde – CSAS/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – DPS/UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

### RESUMO

O fino do carvão tem estrutura de alta porosidade e a sua adição ao solo pode aumentar a porosidade, capacidade de retenção de água do substrato, além de facilitar a proliferação de microrganismos benéficos. Assim, foi conduzido experimento em viveiro com o objetivo de investigar o efeito da adição de carvão vegetal em mistura ao substrato sobre a qualidade de mudas de *Cassia moschata*, *Copaifera multijuga*, *Parkia pendula* e *Senna multijuga*. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos e dez repetições. Os tratamentos foram: mistura substrato 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco e uma mistura base 3:2 (v:v) de argila e areia combinada com 0, 0,5, 1,0 e 1,5 partes de carvão. A semeadura ocorreu em caixas com areia e após a germinação foram repicadas para recipientes contendo os substratos propostos. A altura (H) e diâmetro do coleto (D) das mudas foram mensurados um dia após a repicagem e no momento da colheita para análises destrutivas das plantas. Após a colheita o material vegetal permaneceu em estufa à 65°C/72h para pesagem da massa seca aérea (MSA) e da raiz (MSR). Com os dados também foi calculada a MSA/MSR, Índice de Qualidade de Dickson, altura/diâmetro e sobrevivência. O uso de carvão como substituto do esterco bovino no substrato 3:2 de solo argiloso e areia

resultou na acidificação da mistura substrato e no geral menor disponibilidade de nutrientes. O trabalho também confirmou que para a formação de mudas de *S. multijuga*, *C. multijuga*, *C. moschata* e *P. pendula* o melhor desempenho foi no substrato com esterco. O substrato com esterco pode ser substituído sem prejuízo na qualidade das mudas no caso de copaíba e mari-mari pelo substrato com uma parte de carvão e no de visgueiro pelo substrato com meia parte de carvão.

**PALAVRAS-CHAVE:** crescimento, espécies florestais, *Cassia moschata*, *Copaifera multijuga*, *Parkia pendula*, *Senna multijuga*.

## **USE OF CHARCOAL IN SUBSTRATE FOR PRODUCTION OF TREE SEEDLINGS LEGUME**

### **ABSTRACT**

The fine coal has a structure with high porosity and increases its addition to soil porosity, water holding capacity of the substrate, and facilitate the proliferation of beneficial microorganisms. To test this, the experiment was conducted in nursery evaluating the effect of the addition of charcoal mixture in a substratum on the quality of *Cassia moschata*, *Copaifera multijuga*, *Parkia pendula* and *Senna multijuga*. The experimental design was a completely randomized design with five treatments and ten replicates. Treatments were a mixture of 3:2:0,5 (v:v) of clay soil, sand and manure and a base mixture 3:2 (v:v) of clay soil and sand combination with 0, 0,5, 1,0 and 1.5 part of charcoal. Substrate samples underwent routine chemical analysis. Sowing in boxes with sand and transplanted after germination for containers containing substrates proposed. The height (H) and the diameter of collect (D) of the seedlings were measured one day after transplanting and at harvest. After harvesting the plant material placed in an oven at 65 °C for 72h. The monthly medium increment of stem and collect, aerial mass/root mass, Dixon's index of quality, height/diameter of the collect, and survival were calculated. The use of coal as a substitute for manure substrate in 3:2 clay soil and sand mixture resulted in the acidification of the substrate and overall lower availability of nutrients. The study also confirmed that for production of seedlings canafístula, copaiba, mari-mari and visgueiro the best performance was in the substrate with manure. The substrate with manure can be substituted without loss of quality seedlings in case of

copaiba and mari-mari the substrate with a piece of coal and visgueiro of the substrate with a half piece of coal.

**KEY-WORDS:**

Growth, Forest species, *Cassia moschata*, *Copaifera multijuga*, *Parkia pendula*, *Senna multijuga*.

**INTRODUÇÃO**

O avanço da fronteira agrícola e pecuária na Amazônia tem substituído extensas áreas outrora recobertas por florestas para o estabelecimento de pastagens ou cultivos econômicos. Neste cenário, há necessidade de desenvolver tecnologia de baixo custo para restabelecer o componente arbóreo para as áreas desflorestadas. Para retomar a produtividade da terra há necessidade de selecionar espécies florestais que apresentem aptidão para estabelecimento em áreas adversas e o desenvolvimento de tecnologia silvicultural adequada (Cunha et al., 2005).

Considera-se que a produção de mudas de boa qualidade favorece a retomada do crescimento da planta após sua introdução em áreas alteradas, a sobrevivência e o estabelecimento do plantio (Barbosa, 1968). Na fase viveiro a definição do substrato adequado é uma estratégia importante e frequentemente pesquisada. O substrato selecionado nesta atividade deve ser constituído por materiais de boa qualidade, fácil disponibilidade e de baixo custo (Bernardino et al., 2005; Cunha et al., 2006).

As misturas substrato adequadas para a formação de mudas de espécies arbóreas, florestais ou frutíferas, visam favorecer o crescimento radicular, permitindo consequentemente que o sistema aéreo das mudas se desenvolva e adquira resistência para as condições ambientais verificadas após o plantio (Guerrini e Trigueiro, 2004). Sendo assim, para manejo adequado do viveiro é necessário conhecer as características químicas e físicas do substrato selecionado com vista ao sucesso do cultivo (Schmitz et al., 2002). Tradicionalmente nos viveiros florestais são testadas diferentes composições de substrato, já que o uso de solo em substratos puros pode não atender as condições necessárias ao bom desenvolvimento da muda (Cunha et al., 2005).

Na maioria das misturas substrato convencionalmente usadas está presente o componente orgânico. O componente orgânico contribui para a melhoria das

propriedades físicas e químicas do substrato (Cunha et al., 2006). Com maiores teores de matéria orgânica na mistura estimula-se o crescimento de microrganismos benéficos, aumento no número de microporos, na capacidade de retenção de água e nutrientes, além de reduzir a densidade da mistura substrato (Caldeira et al., 2008). O emprego de fontes orgânicas nas misturas tem também a finalidade de fornecer nutrientes para o crescimento da muda.

A utilização do fino do carvão como um dos componentes orgânicos na mistura substrato tem potencialidade para uso na produção de mudas, pois é um subproduto obtido após a seleção do carvão de maiores dimensões que será comercializado e com isso possui baixo custo. A adição da porção mais fina do carvão, vulgarmente denominada “moinha de carvão” ao solo é feita Japão, enquanto no Brasil estudos têm sido realizados recentemente e apontam que seu aproveitamento melhora as propriedades físico-químicas e biológicas do solo. O fino do carvão na produção de mudas pode aumentar a porosidade, a capacidade de retenção de água e facilitar o desenvolvimento de microrganismos benéficos, cumprindo a função dos aditivos orgânicos usados convencionalmente (Zanetti et al., 2003)

Nas pesquisas pioneiras desenvolvidas por Tryon (1948) considerou-se que o carvão está presente nos solos de florestas de todo o mundo resultante de incêndios naturais ou ação antrópica. Esse carvão adicionado ao solo florestal influencia a germinação, competição e sobrevivência das plantas que compõem a regeneração natural. A presença do carvão também é relatada em estudos sobre a Terra Preta de Índio.

A Terra Preta é um tipo de solo eutrófico antropogênico encontrado na Amazônia brasileira originado da queima e deposição sistemática de resíduos vegetais e animais pela população tradicional que ocupa secularmente essas áreas (Smith, 1980). Sendo a “moinha” do carvão um subproduto disponível para aquisição a baixo custo no mercado e com potencial para composição de substratos para produção de mudas, torna-se importante que sejam realizadas pesquisas que aprofundem o conhecimento sobre as proporções na mistura substrato que melhorem a qualidade das mudas formadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição da “moinha” de carvão na mistura substrato sobre a qualidade de mudas de espécies de leguminosas arbóreas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida durante os anos de 2011 e 2012 no Campus INPA V-8 em áreas de sementeira e viveiro da Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – CSAS-INPA, em Manaus, AM. A área de sementeira é constituída por bancadas de madeira dentro de um galpão aberto lateralmente e com cobertura de telha de barro. A estrutura do viveiro é feita de ferro, com cobertura de sombrite com 50 % de luz incidente, aberta lateralmente, com chão cimentado e área de 8 x 11 m.

Para o estudo foram selecionadas três espécies de Fabaceae da subfamília Caesalpinioideae, sendo elas canafístula (*Senna multijuga* (Rich) H.S. Irwin & Barneby), copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e mari-mari (*Cassia moschata* Kunth.) e também o visgueiro (*Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp.) que é uma espécie da subfamília Mimosoideae. As sementes de canafístula foram coletadas de plantas espontâneas que crescem no município de São Gabriel da Cachoeira, AM. As de copaíba foram procedentes da Reserva Ducke, município de Manaus, AM. As de mari-mari procederam da Ilha de Maracá, município de Amajari, RR e as sementes de visgueiro foram coletadas em árvores que crescem no município de Coari, AM.

Os frutos de todas as espécies foram transportados até a sede e beneficiados para extração das sementes. A semeadura de copaíba ocorreu imediatamente após a coleta. Canafístula, mari-mari e visgueiro foram preservadas em temperatura de 8 °C em recipientes não permeáveis até o momento da semeadura.

Antecedendo a semeadura as sementes de canafístula, mari-mari e visgueiro receberam o tratamento pré-germinativo de corte mecânico com pinça na extremidade oposta ao hilo, seguindo-se da embebição da semente por 24 h. A copaíba foi somente submersa em água por 24 h. Em seguida foram semeadas em linhas em sementeiras constituídas por caixas plásticas drenadas com 40 x 80 x 15 cm preenchidas com areia lavada. Na fase de germinação na sementeira a irrigação das plântulas foi diária.

Os componentes das misturas substrato foram obtidos em diferentes locais. O solo argiloso e o esterco bovino curtido foram coletados na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, localizada na BR 174, Km 35, Manaus,

AM. O solo argiloso foi coletado até 10 cm de profundidade em área com Latossolo Amarelo sob pastagem abandonada (Vieira et al., 2011). A areia foi a utilizada como material de construção. A moínha de carvão, subproduto da carbonização de espécies arbóreas, foi coletada em área de produtor na BR 174, Ramal ZF-1, na Comunidade Nova Canaã, município de Manaus.

Após o transporte até a sede cada componente foi submetido à secagem em sombra por 48 h. Em seguida foi peneirado em malha de cinco mm e uma amostra de cada componente isolado foi separada para análise.

No preparo das misturas foi utilizado como medida um balde de 20 L e a combinação de componentes obedeceu proporção de base volumétrica. A mistura substrato de referência empregada na definição dos tratamentos foi a combinação de solo argiloso, areia e composto do tipo 3:2:0,5 (v:v), recomendada para leguminosas arbóreas (Souza, 1992).

Os seguintes tratamentos foram aplicados:

T1) Mistura substrato 3:2:0,5, solo, areia e esterco bovino (Se).

T2) Mistura substrato 3:2, solo argiloso e areia (S).

T3) Mistura substrato 3:2:0,5, solo argiloso, areia e carvão (S0,5c).

T4) Mistura substrato 3:2:1,0, solo argiloso, areia e carvão (S1,0c).

T5) Mistura substrato 3:2:1,5, solo argiloso, areia e carvão (S1,5c).

Após homogeneização as misturas substratos foram distribuídas em recipientes plásticos de polipropileno. Os recipientes possuíam dimensões de 13 x 27 cm, 11 cm de diâmetro após preenchimento e capacidade para 2 kg de mistura substrato.

A análise das características químicas das misturas substrato foi realizada no Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP/INPA, em Manaus, AM. A metodologia empregada foi prescrita pela Embrapa (1997). Foi determinado o pH dos substratos em água (1:2,5) e teores disponíveis de Ca, Mg e H+Al em solução extratora de KCl 1N. O teor de C foi determinado pelo método Walkley-Black (Mendonça e Silva, 2001) e o teor de matéria orgânica estimado a partir do teor de C (teor de C\*1,72). O K foi determinado por fotometria de chama, P extraído e determinado por espectrofotometria. Zn e Fe foram extraídos em solução Mehlich-1 e quantificados por absorção atômica.

Após a emissão de um par de folhas definitivas no substrato de semeadura, as plântulas foram transplantadas para os recipientes pela técnica de raízes nuas. Durante a condução do experimento os substratos foram irrigados regularmente nos dias sem chuva e quando necessário as plantas espontâneas foram removidas manualmente.

Como altura foi considerada a distância entre o coleto e o meristema apical da muda determinado com régua, determinando-se também o diâmetro do colo a cada avaliação com o auxílio de um paquímetro digital. O acompanhamento do crescimento das mudas de canafístula foi feito aos 23, 52 e 84 dias pós-transplante. O de copaíba 1, 93, 189 e 245 dias após o transplante. Mari-mari aos 3, 42, 71 e 103 dias após a repicagem e visgueiro aos 2, 97, 153 e 217 após a repicagem.

Para todas as espécies foram efetuadas estimativas do incremento mensal em altura e diâmetro do coleto (Benincasa, 1988), obedecendo à formulação: Incremento Médio Mensal =  $\{h_2 - h_1 / [(t_2 - t_1) - 1]\} \times 30$  dias. Onde:  $h_1$  e  $t_1$  correspondem a altura e tempo inicial e  $h_2$  e  $t_2$  corresponderam a altura e tempo da avaliação efetuada na colheita.

As mudas de canafístula, copaíba, mari-mari e visgueiro foram colhidas, respectivamente, aos 84, 245, 103 e 217 dias após a repicagem, quando apresentavam qualidade para o plantio definitivo. Nesta ocasião foram extraídas inteiras após destorroamento da mistura substrato, em seguida foram lavadas, seccionadas na altura do coleto e submetidas à secagem em estufa à 65 °C por 72 h. Após a secagem foi determinada a biomassa da parte aérea e das raízes.

Com os valores obtidos foi calculada a relação parte aérea/raiz e determinado o Índice de Qualidade de Dickson (Dickson et al., 1960), de acordo com a fórmula:

$$IQD = \frac{MST(g)}{[H(cm)/D(mm)] + [MSA(g)/MSR(g)]}$$

Onde: MST é a matéria seca total, H corresponde a altura, D é o diâmetro do coleto, MSA é a matéria seca da parte aérea e MSR a matéria seca das raízes.

Foi também calculada a relação altura/diâmetro e a taxa de sobrevivência das mudas para cada mistura substrato ao final do experimento. Cada espécie constituiu um

experimento. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado constituído por cinco tratamentos com 20 repetições para a sobrevivência de mari-mari, canafístula e visgueiro, 35 repetições para a sobrevivência de copaíba e dez repetições para as demais características. A análise dos resultados foi feita com o programa Estat (UNESP, versão 2002) empregando-se o teste de Tukey para comparações entre médias.

## RESULTADOS

Numa avaliação mais ampla foi evidenciado que o incremento da proporção de carvão na mistura substrato aumentou a acidez do substrato, afetou a acidez trocável, reduziu a disponibilidade de Ca e Mg, incrementando, entretanto, o teor de matéria orgânica, disponibilidade de fósforo e potássio (Tabela 1). Por outro lado, a análise do substrato convencional apresentava melhores características químicas que as outras misturas substrato, o que foi relacionado à acidez menor, maior nível de matéria orgânica, neutralização do alumínio e maior disponibilidade de Ca, Mg, P e Zn.

Tabela 1. Efeito da adição de carvão nas características químicas das misturas substrato empregadas na formação de mudas de leguminosas arbóreas.

Misturas substrato <sup>*1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	MO <sup>*2</sup> g kg <sup>-1</sup>	H+Al Ca Mg			P K Fe Zn			
			----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----	-----	mg kg <sup>-1</sup> -----	-----	-----	
Se	6,2	30,6	0	884	220	110,0	93	151	11,1
S	5,9	20,0	0,06	813	160	6,0	33	138	5,1
S0,5c	4,7	24,2	0,06	585	95	5,7	46	117	4,8
S1,0c	5,5	15,8	0,41	429	73	7,2	58	134	4,4
S1,5c	4,8	26,1	0,85	420	74	14,4	109	112	6,2

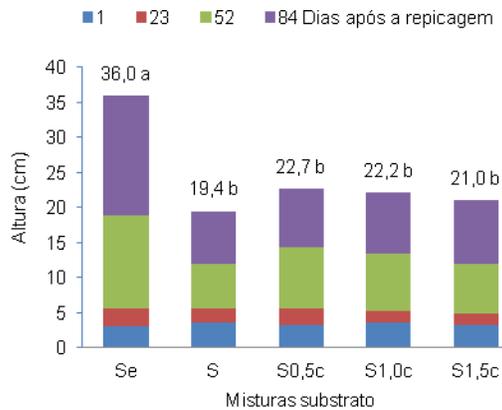
<sup>\*1</sup> Mistura substrato volume:volume: Se = 3:2:0,5 solo argiloso, areia e esterco; S = 3:2 de solo argiloso e areia; S0,5c = 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão; S1,0c = 3:2:1 de solo argiloso, areia e carvão; S1,5c = 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão.

<sup>\*2</sup> MO = Matéria Orgânica.

A resposta do crescimento em altura das leguminosas arbóreas não nodulíferas à adição de carvão no substrato de formação de mudas variou entre as espécies pesquisadas (Figura 1). Foi constatado que a resposta do crescimento em altura das espécies canafístula e mari-mari foi favorecida no substrato convencional de produção de mudas. Isto sugere uma maior exigência de canafístula e mari-mari por uma mistura substrato com melhores características químicas e maior disponibilidade de nutrientes. Na mistura convencional as plantas de canafístula e mari-mari aos 84 e 103 dias de

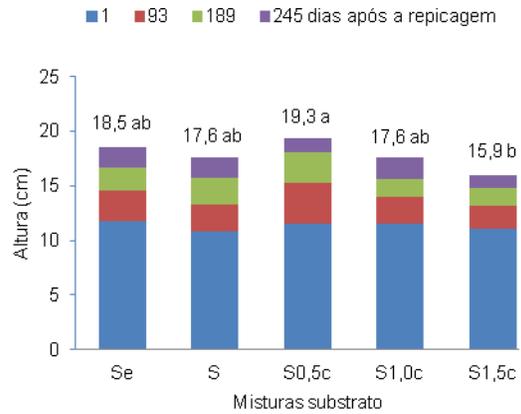
enviveiramento apresentaram 13,3 e 5,3 cm de altura a mais ( $P<0,01$ ), respectivamente, que o melhor resultado encontrado na combinação 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão.

Teste F 20,79 \*\*



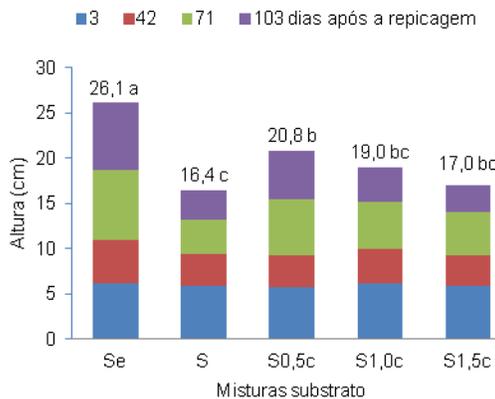
(a)

Teste F 2,97 \*



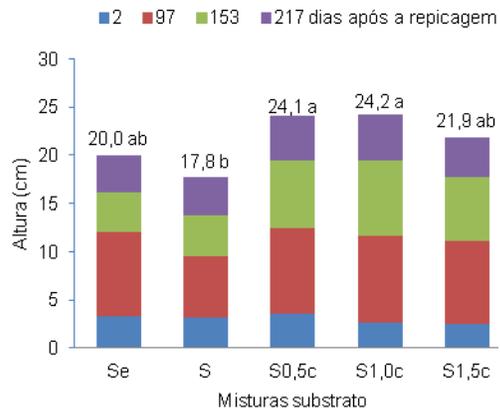
(b)

Teste F 16,27 \*\*



(c)

Teste F 5,09 \*\*



(d)

Figura 1. Efeito da adição de carvão no substrato<sup>\*1</sup> de formação de mudas de canafistula - *Senna mutijuga* (a), copaíba - *Copaifera multijuga* (b), mari-mari - *Cassia moschata* (c) e visgueiro - *Parkia pendula* (d) no incremento do crescimento em altura, sob enviveiramento.<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Mistura substrato em volume:volume: Se = 3:2:0,5 solo argiloso, areia e esterco; S = 3:2 de solo argiloso e areia; S0,5c = 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão; S1,0c = 3:2:1 de solo argiloso, areia e carvão; S1,5c = 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão.

<sup>\*2</sup> Médias com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % ou 1 % de probabilidade ( $P<0,05$ ;  $P<0,01$ ).

As mudas de copaíba tiveram o crescimento em altura maior na mistura 3:2:0,5 solo argiloso, areia e carvão que superou significativamente ( $P<0,05$ ) as mudas que cresceram na mistura substrato 3:2:1,5 destes mesmos constituintes. Foi observado que a variação na altura das mudas de copaíba entre os tratamentos aos 245 dias de enviveiramento é menor entre as diferentes misturas avaliadas com desempenho menos favorável na combinação 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão.

Contrariamente as demais espécies, as mudas de visgueiro apresentaram maior crescimento em altura em substratos que continham alguma parte de carvão. Mesmo não diferindo significativamente da mistura substrato convencional as mudas de visgueiro apresentaram maior expressão de altura nas misturas 3:2:0,5 e 3:2:1,0 de solo argiloso, areia e carvão que superaram significativamente ( $P<0,01$ ) a combinação 3:2 de solo argiloso e areia.

O cálculo do incremento médio mensal em altura e as determinações efetuadas sobre o diâmetro do colo, biomassa da parte aérea e das raízes secas das quatro espécies de leguminosas arbóreas pesquisadas estão apresentadas na Tabela 2. Para esses indicadores as evidências iniciais foram de que o substrato convencional favoreceu de maneira geral a formação das mudas de todas as espécies avaliadas em comparação as plantas produzidas em substrato sem esterco.

Tabela 2. Efeito da adição de carvão na mistura substrato para formação de mudas de canafístula (*Senna multijuga*), copaíba (*Copaifera multijuga*), mari-mari (*Cassia moschata*) e visgueiro (*Parkia pendula*) no diâmetro do coleto e biomassa aérea e radicular seca, sob enviveiramento. <sup>\*1\*2</sup>

Misturas substrato <sup>*3</sup>	Incremento médio mensal em altura (cm mês <sup>-1</sup> )	Diâmetro do coleto (mm)	Biomassa seca (g)	
			Aérea	Radicular
----- canafístula -----				
Se	10,8 a	3,6 a	3,58 a	0,73 a
S	5,2 b	1,8 c	0,80 b	0,19 c
S0,5c	6,3 b	2,2 bc	1,10 b	0,26 bc
S1,0c	6,1 b	2,1 bc	1,20 b	0,32 bc
S1,5c	5,8 b	2,3 b	1,24 b	0,35 b
Teste F	24,71 **	43,97 **	79,90 **	27,20 **
----- copaíba -----				
Se	0,8 a	4,6 a	2,00 a	0,63 a
S	0,8 a	4,3 ab	1,61 ab	0,49 ab
S0,5c	0,9 a	4,3 ab	1,72 ab	0,47 ab
S1,0c	0,7 a	4,0 ab	1,58 ab	0,44 b
S1,5c	0,6 a	3,9 b	1,25 b	0,38 b

Teste F	1,28 ns	2,85 *	3,57 *	3,83 **
----- mari-mari -----				
Se	5,9 a	2,2 a	1,72 a	0,44 a
S	3,1 c	1,5 b	0,58 c	0,10 b
S0,5c	4,4 b	1,9 ab	0,98 b	0,22 ab
S1,0c	3,8 bc	1,9 ab	0,98 b	0,34 a
S1,5c	3,3 c	1,9 ab	0,85 bc	0,34 a
Teste F	16,18 **	5,39 **	18,41 **	5,36 **
----- visgueiro -----				
Se	2,2 bc	4,6 a	5,02 a	0,86 ab
S	2,0 c	3,4 b	1,86 c	0,46 b
S0,5c	2,8 ab	5,1 a	3,49 b	1,13 a
S1,0c	2,9 a	4,5 a	2,94 bc	0,72 ab
S1,5c	2,6 ab	4,2 ab	2,68 bc	0,65 b
Teste F	5,77 **	5,74 **	18,71 **	5,25 **

<sup>1</sup> Médias com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % ou 1 % de probabilidade (P<0,05; P<0,01).

<sup>2</sup> As mudas de canafístula (*Senna mutijuga*), copaíba (*Copaifera multijuga*), mari-mari (*Cassia moschata*) e visgueiro (*Parkia pendula*) foram colhidas, respectivamente, aos 93, 247, 103 e 224 dias após a repicagem.

<sup>3</sup> Mistura substrato em volume:volume: Se = 3:2:0,5 solo argiloso, areia e esterco; S = 3:2 de solo argiloso e areia; S0,5c = 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão; S1,0c = 3:2:1 de solo argiloso, areia e carvão; S1,5c = 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão.

Confirmando os resultados obtidos para o crescimento em altura, no substrato convencional as mudas de canafístula apresentaram significativamente (P<0,01) maior diâmetro do colo, biomassa da parte aérea e das raízes aos 93 dias de enviveiramento, comparado aos demais substratos (Tabela 2). Os valores médios determinados para o diâmetro do colo e crescimento total da muda de canafístula, avaliados pela biomassa de parte aérea e das raízes evidenciaram uma inadequação dos substratos onde o esterco bovino foi suprimido. Entre os substratos sem esterco, o diâmetro do colo e biomassa radicular de canafístula foi maior na mistura substrato 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão comparado ao substrato que consistiu somente da combinação de solo argiloso e areia. Os resultados evidenciaram que para esta espécie a mistura convencional deve ser adotada para a formação das mudas, especialmente pela sua taxa de incremento mensal em altura que foi calculada em 11,9 cm mês<sup>-1</sup>, sendo a maior velocidade de crescimento calculada entre todas as espécies testadas.

Para copaíba as diferenças diamétricas e na biomassa de folhas e raízes secas após 8 meses de enviveiramento foram pouco acentuadas entre tratamentos. Ainda assim, as mudas estabelecidas no substrato convencional com esterco apresentaram diâmetro do colo e biomassa significativamente maior que no substrato com maiores

níveis de carvão. A velocidade de crescimento em altura não ultrapassou  $1,5 \text{ cm mês}^{-1}$ , sendo o menor incremento médio mensal em altura entre as espécies desse trabalho (Tabela 2).

Os níveis de fertilidade do substrato influenciaram mais destacadamente a formação de mudas de mari-mari, já que na mistura 3:2 de solo argiloso e areia foi identificado o pior desempenho em diâmetro do colo e biomassa de parte aérea e das raízes. Para esta espécie o crescimento diamétrico e a biomassa das raízes das mudas desenvolvidas em substrato convencional ou que recebeu diferentes proporções de carvão não diferiu significativamente. Entretanto, a biomassa da parte aérea do mari-mari destacou-se dos demais substratos quando formada em substrato convencional, verificando-se adicionalmente que a biomassa da parte aérea seca de plantas desenvolvidas nas misturas 3:2:0,5 e 3:2:1 de solo argiloso, areia e carvão foi significativamente maior ( $P < 0,01$ ) que na mistura substrato sem carvão (Tabela 2). Também para esta espécie a maior média da velocidade de crescimento mensal em altura ocorreu no substrato convencional.

Um padrão de resposta parecido com o do mari-mari foi constatado em visgueiro, evidenciando um maior favorecimento na formação das mudas em substratos de maior fertilidade. No crescimento em diâmetro, as mudas de visgueiro desenvolvidas em substrato convencional não diferiram significativamente daquelas desenvolvidas nas misturas com carvão, entretanto a biomassa da parte aérea foi significativamente maior no substrato convencional do que em qualquer outro substrato. Em contraste, o crescimento radicular do visgueiro atingiu sua maior média na mistura substrato 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão superando significativamente ( $P < 0,01$ ), os substratos 3:2 e 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão (Tabela 2). Comparado as demais espécies o visgueiro também apresentou crescimento lento na fase viveiro.

Dentre as espécies pesquisadas, entre os índices de qualidade selecionados para avaliar o ponto adequado de formação das mudas, o que teve resultados similares aos das medidas de crescimento foi o Índice de Qualidade de Dickson (Tabela 3). Desse modo, a relação parte aérea/raízes das espécies canafístula e copaíba não diferiram entre tratamentos e a relação altura/diâmetro também não variou significativamente ( $P > 0,05$ ) para canafístula, copaíba e mari-mari.

Tabela 3. Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato para formação de mudas de canafístula, copaíba, mari-mari e visgueiro nos indicadores de qualidade e taxa de sobrevivência, sob enviveiramento. <sup>\*1\*2</sup>

Misturas substrato <sup>*3</sup>	Relação parte aérea/raiz	Índice de Qualidade de Dickson	Relação altura/diâmetro	Sobrevivência (%)
----- canafístula -----				
Se	5,10 a	0,29 a	9,9 a	95,0
S	4,67 a	0,07 c	10,7 a	100,0
S0,5c	4,48 a	0,10 bc	13,3 a	100,0
S1,0c	4,35 a	0,10 bc	10,7 a	95,0
S1,5c	3,79 a	0,12 b	9,3 a	90,0
Teste F	1,24 ns	5,23 **	2,42 ns	Nd
----- copaíba -----				
Se	3,25 a	0,36 a	4,3 a	80,0
S	3,40 a	0,29 ab	4,1 a	88,6
S0,5c	3,74 a	0,26 ab	4,7 a	80,0
S1,0c	3,65 a	0,26 ab	4,4 a	94,3
S1,5c	3,39 a	0,21 b	4,4 a	91,7
Teste F	0,63 ns	4,70 **	1,02 ns	Nd
----- mari-mari -----				
Se	4,94 ab	0,14 a	11,8 a	100,0
S	7,08 a	0,04 b	11,0 a	100,0
S0,5c	4,65 ab	0,08 ab	11,2 a	100,0
S1,0c	3,54 b	0,11 ab	10,0 a	100,0
S1,5c	4,25 b	0,11 ab	9,6 a	100,0
Teste F	4,39 **	5,23 **	2,42 ns	Nd
----- visgueiro -----				
Se	6,22 a	0,57 ab	4,30 b	100,0
S	4,96 ab	0,24 c	5,30 ab	100,0
S0,5c	3,20 b	0,59 a	4,77 ab	100,0
S1,0c	4,29 ab	0,38 abc	5,42 a	100,0
S1,5c	4,22 ab	0,36 bc	5,36 ab	90,0
Teste F	3,68 *	7,04 **	3,01 *	Nd

<sup>\*1</sup> Médias com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % ou 1 % de probabilidade (P<0,05; P<0,01). ns = não significativo e nd = não disponível.

<sup>\*2</sup> As mudas de canafístula (*Senna mutijuga*), copaíba (*Copaifera mutijuga*), mari-mari (*Cassia moschata*) e visgueiro (*Parkia pendula*) foram colhidas, respectivamente, aos 93, 247, 103 e 224 dias após a repicagem.

<sup>\*3</sup> Mistura substrato em volume:volume: Se = 3:2:0,5 solo argiloso, areia e esterco; S = 3:2 de solo argiloso e areia; S0,5c = 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão; S1,0c = 3:2:1 de solo argiloso, areia e carvão; S1,5c = 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) confirmou a análise das características já discutidas anteriormente mostrando maior qualidade nas plantas cultivadas no substrato com esterco, com Índice de Qualidade de Dickson de 0,29 no caso de

canafístula, IQD de 0,36 em copaíba e IQD de 0,14 em mari-mari e no substrato com meia parte de carvão com IQD de 0,59 em visgueiro.

A relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSA/MSR) de mari-mari apresentou o valor menor e mais equilibrado no tratamento com uma parte de carvão quando atingiu o valor de 3,54 e confirmou a escolha do tratamento com meia parte de carvão com massa seca da parte aérea/massa seca da raiz de 3,20 em visgueiro como sendo o tratamento mais eficiente para produção de mudas equilibradas. A relação altura/diâmetro mostrou maior qualidade para o substrato com esterco com altura/diâmetro de 4,30, divergindo um pouco do tratamento apontado como melhor pelo Índice de Qualidade de Dickson no caso de visgueiro.

Na fase viveiro a sobrevivência das mudas de mari-mari foi de 100 % ao passo que para o visgueiro só morreram plantas no tratamento com a mistura substrato 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão onde a mortalidade foi calculada em 10 %. É possível que o prolongado tempo de enviveiramento da copaíba, e suas características autoecológicas de lento desenvolvimento, tenham influenciado a sobrevivência das mudas, já que houve registros de perdas para todos os tratamentos. Por fim foi constatado para a canafístula 100 % de sobrevivência nos substratos 3:2 e 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e carvão e taxas de mortalidade de 5 % no substrato convencional e mistura 3:2:1 e de 10 % na mistura 3:2:1,5, respectivamente de solo argiloso, areia e carvão.

## **DISCUSSÃO**

Foi evidenciado que a substituição do esterco pelo carvão na mistura substrato não favoreceu os indicadores químicos de qualidade das misturas (Tabela 1), o que sugere que a adição de algum nível de outra fonte de matéria orgânica deve ser considerado. A mistura substrato com esterco bovino apresentou alta concentração de fósforo e nenhum dos níveis de carvão combinados nas misturas proporcionou disponibilidade equivalente deste nutriente. Sabe-se que a condição de acidez elevada influencia a disponibilidade de outros nutrientes essenciais e somente para o potássio o incremento de níveis de carvão no substrato, na maior concentração das misturas do

tratamento 3:2:1,5 de solo argiloso, areia e carvão disponibilizou esse elemento em níveis comparáveis aos fornecidos pelo substrato convencional com esterco.

Adicionalmente, na combinação 3:2 de solo argiloso e areia, a acidez do solo foi somente levemente reduzida comparada a mistura tradicional com esterco (de pH 6,2 para 5,0). Entretanto, na ausência de carvão ou esterco nesta mistura substrato, a disponibilidade de matéria orgânica, potássio, zinco e especialmente o fósforo caíram abruptamente, o que não aconteceu com o cálcio. Essa menor disponibilidade de nutrientes confirma a necessidade de um componente na mistura que forneça elementos essenciais para a muda que se formará nestas condições.

A análise das misturas substrato contendo carvão (Tabela 1) possuem similaridade com o pH da terra preta de índio (pH entre 5,2 a 6,4) descrita por Falcão e Borges (2006) somente no pH do substrato sem adição de matéria orgânica = 5,9 e no tratamento com uma parte de carvão = 5,5 e quanto ao P aumentando com as doses de carvão. Entretanto, para os outros elementos analisados os resultados divergiram da descrição de terra preta (Falcão e Borges, 2006; Moreira, 2007), tendo havido aumento do K, teor de Zn inferior ao da terra preta e diminuição do Ca e Mg com o aumento da quantidade de carvão, enquanto a terra preta possui baixos teores de K e altos teores de Ca e Mg.

As investigações de Oguntunde et al. (2004), Oliveira et al. (2010) e Souchie et al. (2011) encontraram aumento do pH e do teor dos elementos analisados com a adição de doses crescentes de moinha de carvão ao solo. Enquanto no presente experimento (Tabela 1) aconteceu a diminuição do teor de alguns elementos e do pH, podendo com isso ter prejudicado o desempenho de algumas espécies com o aumento das doses de carvão, devendo as vantagens e desvantagens da aplicação de carvão estarem condicionadas à espécie em estudo (Tryon, 1948). Morales (2010) alerta que o carvão possui poder fertilizante, mas pode haver interações químicas limitantes ao crescimento como o pH.

Silva et al. (1986) e Antal e Gronli (2003) analisaram quimicamente diferentes tipos de material carbonizado e verificaram diferenças na concentração de elementos químicos nos carvões produzidos com materiais vegetais conhecidos. Espera-se também essa variação na composição de carvão cuja origem madeireira desconhecida,

como é o caso do carvão usado nesse experimento (Tabela 1). Tryon (1948) também observou alta relação entre a textura do solo e o efeito do carvão, mostrando que solos argilosos podem ser menos suscetíveis aos benefícios do uso do carvão pela sua maior capacidade tampão. Assim, o uso de combinação de espécies de madeira variada para produção de carvão, associado à capacidade tampão de solos argilosos pode ter sido responsável pela divergência entre os dados sobre o efeito da adição de carvão disponíveis na literatura e o encontrado nesse experimento.

Nunes e Teixeira (2010) avaliaram o efeito da adição de porcentagens crescentes de carvão no substrato de *Bertholletia excelsa*. Aos 240 dias os tratamentos com 30% de carvão com e sem calagem e adubação fosfatada não se diferenciaram, mostrando que os substratos somente com carvão apresentaram nutrientes suficientes para o crescimento da espécie.

Nos resultados da pesquisa de Chidumayo (1994) houve maior crescimento de mudas de seis espécies arbóreas nativas do Zâmbia com o uso de substrato com carvão em comparação às plantas em substrato sem carvão, exceto para *Isoberlinia angolensis*, sendo que essa variação do efeito do carvão condicionada à espécie é mais compatível com o presente experimento (Figura 1 e Tabela 2). Oguntunde et al. (2004) também verificaram que a presença de carvão no solo beneficiou diretamente o crescimento e produção de plantas de milho. Souchie et al. (2011) experimentaram o uso de doses crescentes de moinha de carvão no substrato de produção de mudas de *Tachigali vulgaris* e observaram aumento na altura, diâmetro e número de folhas com o aumento dos teores de carvão aplicado, além de acréscimo na massa seca da raiz e massa seca da parte aérea.

No presente experimento na mistura convencional foi possível produzir mudas de canafistula e mari-mari com altura adequada para o plantio entre 15 e 30 cm (Gomes e Paiva, 2006) com mais ou menos 3 meses de enviveiramento, e, para estas duas espécies, neste substrato o crescimento das mudas superou significativamente todas as demais combinações de mistura substrato avaliadas. Amorim et al. (2008) obteve mudas de *Senna multijuga* aos dois meses e meio após a germinação com média de 34,5 cm de altura e 4,2 mm de diâmetro do coleto quando produzidas em substrato com terra de subsolo e casca de arroz carbonizada na proporção 8:3. Esses valores são

similares à média das plantas produzidas em substrato com esterco com altura de 36 cm (Figura 1) e diâmetro do coleto de 3,6 mm (Tabela 2), mas superior aos valores médios de altura de 21,3 cm e diâmetro do coleto de 2,1 mm obtidos nas plantas cultivadas em substratos sem esterco.

Já Carvalho (2004) afirma que mudas de *Senna multijuga* atingiram 20 cm de altura a partir de quatro meses após a semeadura sem mencionar o substrato. Esse crescimento foi semelhante ao obtido em substratos sem esterco (Figura 1), mas necessitou o dobro do tempo de enviveiramento do aqui apresentado.

Silva et al. (1997) cultivou mudas de *Senna multijuga* em Cambissolo Álico superficial e adubou com K. Aos 100 dias obtiveram mudas com valores de altura de 58,3 cm, diâmetro do coleto de 6,8 mm, massa seca da parte aérea de 9,9 g e massa seca da raiz com 2,43 g, sendo superiores aos valores encontrados nas plantas no substrato com esterco para altura e diâmetro do colo quase o dobro dos valores de massa seca da parte aérea de 3,58 g e massa seca da raiz de 0,73 g (Tabela 2). Apesar dos experimentos envolvendo *Senna multijuga* disponíveis na literatura serem de substratos com diferentes composições e terem sido realizados em regiões geográficas diferentes, a qualidade das mudas produzidas em substrato com esterco é similar ao encontrado na literatura, enquanto as mudas produzidas em substrato sem esterco estão abaixo.

As mudas de copaíba apresentaram crescimento considerado lento na fase de enviveiramento e só foram colhidas aos 8 meses após o transplante. As evidências são de que mesmo em substratos com diferentes características químicas o incremento de altura das mudas de copaíba é lento na fase viveiro.

É possível que para visgueiro, o carvão possa ser uma alternativa ao esterco bovino na fase de formação das mudas. Isso indica uma menor exigência nutricional do visgueiro comparado ao desempenho observado por canafístula e mari-mari.

Varela et al. (1995) cultivando copaíba em viveiro sob diferentes níveis de sombreamento, obteve aos 60 dias altura maior do que o dobro do mensurado pelo presente trabalho aos 245 dias. Da mesma forma que copaíba apresentou o crescimento mais lento entre as espécies desse experimento, copaíba também teve menor crescimento comparado à cumaru e andiroba no estudo de Trevisan (2008). O

estudo foi com três substratos diferentes, sendo um latossolo amarelo, outro terra preta e uma mistura de latossolo, areia e terra preta, aos 180 dias após a repicagem com IMM em altura de  $0,5 \text{ cm mês}^{-1}$ , sendo inferior também ao valor do presente experimento com  $0,8 \text{ cm mês}^{-1}$  de IMM. Os dados de Trevisan (2008) de altura com 13,8 cm, diâmetro do colo de 4,1 mm, massa seca da parte aérea de 1,50 g e massa seca da raiz de 0,64 g foram inferiores aos do presente (Figura 1 e Tabela 2), podendo as diferenças dos valores estarem relacionadas ao diferente tempo de permanência em viveiro ou as propriedades físico-químicas dos substratos.

No estudo de Oliveira et al. (2010) a adição de carvão ao solo gerou maior benefício para a MSA e MSR de *Vigna unguiculata* em relação ao solo que não recebeu carvão, semelhante ao que ocorreu com as plantas no presente experimento e no experimento de Chidumayo (1994). Entretanto, o aumento gradual do teor de carvão foi seguido por aumento na MSA e MSR, enquanto nesse experimento nenhuma das quatro espécies apresentou resposta gradual ao aumento do carvão no substrato.

Chaves e Paiva (2004) experimentaram o efeito de diferentes níveis de sombreamento em *Senna macranthera* e observaram o maior valor da relação altura/diâmetro de 4,38. No presente estudo *Senna multijuga* e *Cassia moschata* tiveram valor duas vezes maior que esse (Tabela 3). Isso mostra desequilíbrio no crescimento, principalmente no caso de canafístula que pertence ao mesmo gênero de *Senna macranthera*. Pelo contrário, copaíba e visgueiro apresentaram valores menores (Tabela 3), sendo assim mais robustas e com maior capacidade de sobrevivência em campo (Gomes e Paiva, 2006)

O aumento das doses de carvão foi positivo para o equilíbrio do crescimento das raízes em relação à parte aérea de *Vigna unguiculata* (Oliveira et al., 2010). A diferença na resposta à adição de carvão pode ter ocorrido devido a *Vigna unguiculata* ser uma espécie herbácea de ciclo curto enquanto às espécies aqui estudadas são arbóreas. Não houve assim tempo suficiente para as espécies arbóreas expressarem o efeito da influência do carvão no curto período de enviveiramento. Apesar de não ter havido diferença estatística da relação massa seca aérea/massa seca da raiz entre os tratamentos sem esterco em canafístula, copaíba, mari-mari e visgueiro, houve tendência de diminuição da relação parte aérea/raiz. O uso de carvão no substrato

tendeu a equilibrar a relação massa seca aérea/massa seca da raiz da planta, pois tornou as plantas mais próximas do valor mais favorável da relação de 2,0 (Gomes e Paiva, 2006).

Mas a literatura também mostra efeitos desfavoráveis do carvão, pois Zanetti et al. (2003) utilizaram doses crescentes de moinha do carvão em substrato comercial no plantio de *Citrus limonea* Osbeck. Além de não serem observadas melhorias pela adição do carvão, ainda houve prejuízo na altura e massa seca aérea nas plantas cultivadas em substrato com maior teor de carvão. Tryon (1948) sugere que o sucesso do uso do carvão pode estar condicionado à espécie testada.

Entretanto, a qualidade das mudas não deve ser avaliada por meio de padrões morfológicos e relações isoladas, pois podem ser selecionadas mudas altas, porém fracas, descartando-se mudas com maior vigor. O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) considera a robustez e equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas, sendo assim um bom indicador (Fonseca et al, 2002).

Além de apresentarem valor da relação altura/diâmetro mais equilibrados do que canafistula e mari-mari, em copaíba e visgueiro também foram observados em todos os tratamentos valores do IQD maiores do que o mínimo de 0,2 para qualidade de mudas de *Pseudotsuga menziesii* e *Picea abies* (Gomes e Paiva, 2006). Segundo o valor mínimo do IQD recomendado para a qualidade de mudas, somente as plantas de canafistula cultivadas em substrato com esterco possuem qualidade suficiente para o plantio definitivo em campo. Enquanto nenhuma de mari-mari está pronta para o plantio definitivo e todas de copaíba e visgueiro possuem qualidade suficiente. Essa análise mais holística realizada pelo IQD e relação altura/diâmetro mostra que apesar das plantas de canafistula e mari-mari apresentarem crescimento mais rápido, possuem menores chances de sucesso em campo.

A sobrevivência das mudas não apresentou relação aparente com os teores de carvão no substrato, pois seus maiores valores não ocorreram respectivamente nos tratamentos com melhor desempenho para os outros fatores avaliados, conforme pode ser verificado na Tabela 3. Souza et al. (2007) cultivando três leguminosas arbóreas encontraram 100% de sobrevivência, sendo esses resultados semelhantes aos verificados em mari-mari e visgueiro, enquanto canafistula e copaíba apresentaram

variação na sobrevivência nos tratamentos. Trevisan (2008), assim como no presente experimento, verificou em copaíba a menor sobrevivência em relação às outras espécies produzidas sob as mesmas condições.

## CONCLUSÃO

O uso de carvão como substituto do esterco bovino no substrato 3:2 de solo argiloso e areia nas proporções de 0,5, 1,0 ou 1,5 com base volumétrica, resultou na acidificação da mistura substrato e no geral menor disponibilidade de nutrientes. O trabalho também confirmou que para a formação de mudas de canafístula, copaíba, mari-mari e visgueiro o melhor desempenho foi no substrato com esterco. O substrato com esterco pode ser substituído sem prejuízo na qualidade das mudas no caso de copaíba e mari-mari pelo substrato com uma parte de carvão e no de visgueiro pelo substrato com meia parte de carvão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, I.L.; Davide, A.C.; Ferreira, R.A. e Chaves, M.M.F. 2008. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e mudas de *Senna multijuga* var. *lindleyana* (Gardner) H.S. Irwin & Barneby – Leguminosae Caesalpinioideae. *Revista Brasil. Bot.*, 31(3):507-516.
- Antal, M.J.J. e Gronli, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial e Engineering Chemistry Research*, 42:1619-1640.
- Barbosa, O. 1968. Alguns aspectos de sementeiras e viveiros florestais. *Revista da Madeira*, 13-19.
- Benincasa, M.M.P. 1988. Análise de crescimento de plantas. FUNEP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. 41pp.
- Bernardino, D.C.S.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M. e Marques, V.B. 2005. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. *Revista Árvore*, 29(6):863-870.
- Caldeira, M.V.W.; Rosa, G.N.; Fenilli, T.A.B. e Harbs, R.M.P. 2008. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria*, 9(1):27-33.
- Carvalho, P.E.R. 2004. Pau-Cigarra – *Senna multijuga*. EMBRAPA Florestas, Circular Técnica 92.

- Chaves, A.S. e Paiva, H.N. 2004. Influência de diferentes períodos de sombreamento sobre a qualidade de mudas de fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn. *Scientia Forestalis*, 65: 22-29.
- Chidumayo, E.N. 1994. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. *Forest Ecology and Management*, 70:353-357.
- Cunha, A.M.; Cunha, G.M.; Sarmiento, R.A.; Cunha, G.M. e Amaral, J.F.T. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o crescimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore*, 30(2):207-214.
- Cunha, A.O.; Andrade, L.A.; Bruno, R.L.A.; Silva, J.A.L. e Souza, V.C. 2005. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impertiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. *Revista Árvore*, 29:507-516.
- Dickson, A.; Leaf, A. e Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry chronicle*, 36:10-13.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 212p.
- Falcão, N.P.S. e Borges, L. 2006. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão havaí (*Carica papaya* L.). *Acta Amazonica*, 36:401-406.
- Fonseca, E.P.; Valéri, S.V.; Miglioranza, E.; Fonseca, N.A.N. e Couto, L. 2002. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, 26:515-523.
- Gomes, J.M. e Paiva, H.N. Viveiros florestais. Viçosa: UFV, 2006. 116p. (Cadernos didáticos, 72).
- Guerrini, I.A. e Trigueiro, R.M. 2004. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28:1069-1076.
- Morales, M.M. 2010. Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo. 88pp.
- Moreira, A. 2007. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. *Bragantia*, 66:307-315.

- Oguntunde, P.; Fosu, M.; Aji, A.; Giesen, N. 2004. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and textures of soil. *Biology Fertility Soils*, 39(4):295-299.
- Nunes, M.M. e Teixeira, W.G. 2010. Crescimento de mudas de castanheiras do Brasil (*Bertholletia excelsa* h. B.K.) em função de doses de carvão vegetal como componente de substrato. In: III REUNIÃO CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA . Manaus, AM. 5pp.
- Oliveira, D.M.; Falcão, N.P.S. e Souza, L.A.G. 2010b. Efeito do resíduo de carvão vegetal e pó de serra no crescimento vegetativo e na nodulação do feijão caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp) em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Central. In: III REUNIÃO CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA . Manaus, AM. 11pp.
- Schmitz, J.A.K.; Souza, P.V.D. e Kampf, A.N. 2002. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. *Ciência Rural*, 32(6):937-944.
- Silva, I.R.; Furtini Neto, A.E.; Curi, N. e Vale, F.R. 1997. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. *Pesquisa agropec. bras.*, 32(2):205-212.
- Silva, J. C.; Barrichelo, L.E.G. e Brito, J.O. 1986. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 34:31-34.
- Smith, N.J.H. 1980. Anthrosol and human carrying capacity in Amazônia. *Annals of the Association of American Geographers*. 70:553-566.
- Souchie, F.F.; Junior, B.H.M.; Petter, F.A.; Madari, B.E.; Marimon, B.S. e Lenza, E. 2011. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima. *Ciência Florestal*. 21(4):811-821.
- Souza, L.A.G.; Bezerra Neto, E.; Santos, C.E.R.S. e Stamford, N.P. 2007. Crescimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2):207:217.
- Trevisan, E.F. 2008. Avaliação de diferentes substratos para a produção de mudas de três espécies aromáticas da Amazônia. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Estadual do Amazonas. Manaus, Amazonas. 35 pp.

- Tryon, E.H. Effect of Charcoal on Certain Physical, Chemical, and Biological Properties of Forest Soils. 1948. *Ecological Monographs*, 18:81-115.
- Uchida, T. e Campos, M.A.A. 2000. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. – Fabaceae), cultivadas em viveiro. *Acta Amazônica*, 30(1):107-114.
- Varela, V.P., Vieira, M.G.G. & Melo, Z.L. 1995. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e concentração de clorofila nas folhas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém*, 11(2):139-152.
- Vieira, E.P. e Souza, L.A.G. 2011. Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. *Revista de Ciências Agrárias*, 54(1):54-62.
- Zanetti, M.; Cazetta, J.O.; Junior, D.M. e Carvalho, S.A. 2003. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação de porta-enxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25:508-512.

**CAPITULO III**

---

Freitas, A.F.; Souza, L.A.G e Cardoso, I.M. Efeito da adição de carvão vegetal no substrato para produção de mudas de leguminosas arbóreas inoculadas com rizóbios. Manuscrito em preparação para *Acta Amazônica*

## ADIÇÃO DE CARVÃO NO SUBSTRATO DE FORMAÇÃO DE MUDAS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS INOCULADAS COM RIZÓBIOS

Aroldo Felipe de FREITAS<sup>1</sup>, Luiz Augusto Gomes de SOUZA<sup>2</sup> e Irene Maria CARDOSO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – PPG-CFT/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. Av. André Araújo, 2936, 69011-970, Petrópolis, Manaus, AM. E-mail: [afelipefreitas@yahoo.com.br](mailto:afelipefreitas@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde – CSAS/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – DPS/UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

### RESUMO

O estabelecimento do plantio florestal com mudas bem noduladas favorece o seu crescimento inicial e sobrevivência após a fase de estabelecimento. As espécies leguminosas arbóreas ingá (*Inga edulis*), orelha de macaco (*Enterolobium schomburgkii*) e palheteira (*Clitoria fairchildiana*) têm sido recomendadas para recuperação de áreas degradadas e composição de sistemas agroflorestais pela sua capacidade de estabelecer simbiose com bactérias do solo do grupo dos rizóbios, eficientes em fixar N<sub>2</sub>. Foi conduzido estudo experimental para analisar o efeito da adição de carvão vegetal em mistura substrato sobre a qualidade de mudas produzidas em viveiro. Os tratamentos utilizados foram: mistura 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco bovino e de solo argiloso e areia 3:2 (v:v), combinado com carvão vegetal em dosagem de 0, 10, 19 e 29 % de carvão em mistura. Amostras das misturas substratos foram coletadas e analisadas quimicamente. O delineamento foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos e dez repetições. A semeadura ocorreu em caixas com areia lavada para ingá e orelha de macaco, enquanto para palheteira foi direta, mantendo-se uma muda por saco. Após a germinação, as mudas foram inoculadas com estirpes homólogas de rizóbios, sendo que 5 mL planta<sup>-1</sup> foram aplicados na base do coleto das mudas. O crescimento das mudas foi acompanhado mensalmente e as

plantas foram coletadas para contagem do número de nódulos formados e determinação da biomassa das raízes, parte aérea e nódulos após secagem a 65°C/72 h. O uso de esterco na composição dos substratos inibiu a nodulação em todas as três espécies estudadas. Foi também possível verificar aumento na qualidade das mudas pelo uso de carvão no substrato.

**PALAVRAS-CHAVE:** crescimento, fixação biológica de N<sub>2</sub>, *Inga edulis*, *Enterolobium schomburgkii*, *Clitoria fairchildiana*.

### **ABSTRACT**

The establishment of forest planting with seedlings nodulated well favor their development and survival after cultivation. The leguminous trees ingá (*Inga edulis*), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii*) and palheteira (*Clitoria fairchildiana*) have been recommended for recovering degraded areas and agroforestry systems by its ability to establish symbiosis with soil bacteria of the group of rhizobia, efficient in N<sub>2</sub> fixation. We conducted an experimental study to evaluate the effect of adding charcoal mixed substrate on the quality of seedlings grown in nursery. The treatments were a mixture 3:2:0,5 (v:v) of clay soil, sand and manure and clay soil and sand 3:2 (v:v), combined with charcoal dose of 0, 10, 19 and 29% of coal in the mixture. Samples of mixtures substrates were collected and passed through routine chemical analysis. The experimental design was completely randomized design with five treatments and ten replicates. Was used for seedlings bag with capacity for 2 kg of soil. Sowing in boxes with sand and washed to ingá and orelha-de-macaco, while palheteira was direct, keeping one seedling per bag. After germination, the seedlings were inoculated with homologous strains of rhizobia. Five mL plant<sup>-1</sup> were applied at the base of the girth of the seedlings. The seedling growth was monitored monthly and the plants were harvested by evaluating the number of nodules formed and biomass of roots, shoots and nodules after drying at 65 °C/72 h. The use of manure in the composition of the substrates inhibit nodulation in all three species. It was also possible to see an increase in the quality of seedlings by the use of carbon in the substrate.

**KEY-WORDS:** Forestry, Biological fixation of N<sub>2</sub>, *Inga edulis*, *Enterolobium schomburgkii*, *Clitoria fairchildiana*

## INTRODUÇÃO

A produção de mudas com boa qualidade é condicionante para o sucesso de empreendimentos florestais (Cunha et al., 2006). As características biométricas e outros indicadores empregados na fase final de produção de mudas quando estas estão aptas para o plantio definitivo, podem avaliar sua qualidade, excluindo-se as sem vigor (Fonseca et al., 2002). Dentre os indicadores mais comuns estão avaliações de biomassa, comprimento do caule ou diâmetro, flexibilidade da haste, relações altura/diâmetro, raiz/parte aérea, Índice de Qualidade de Dickson, área foliar, aspectos fitossanitários, etc.

Na formação de mudas de *Senna macranthera*, por exemplo, Chaves e Paiva (2004), observaram que aos 150 dias de enviveiramento as mudas apresentaram bom desempenho segundo vários indicadores, exceto a altura mínima de 15 a 30 cm recomendada por Gomes e Paiva (2006). Ao desconsiderar a variedade de características autoecológicas de espécies florestais, por esse critério de qualidade, poderiam ter descartado mudas pela falta de indicadores adequados para a espécie.

A pesquisa silvicultural específica visa estabelecer indicadores de qualidade para as espécies de maior importância, evitando o descarte de mudas. Neste sentido, a adoção do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960) auxilia a interpretação dos resultados da pesquisa sobre produção de mudas por reunir em um só índice vários indicadores de qualidade (Fonseca et al., 2002). Entretanto, é preciso que o cálculo deste Índice seja efetuado para cada espécie de interesse. Nas propriedades agrícolas para formar mudas de boa qualidade há necessidade de dispor de insumos de fácil disponibilidade e de baixo custo (Bernardino et al., 2005; Cunha et al., 2006), se possível a partir de subprodutos reaproveitáveis como as sobras de carvão. Usualmente estas sobras de carvão já são incorporadas no substrato dos canteiros para produção de hortaliças.

O emprego de adubação orgânica no substrato de produção de mudas de espécies arbóreas é uma alternativa à adubação mineral, que é dispendiosa e nem sempre acessível. Usada inadequadamente, a adubação mineral pode resultar num desbalanceamento dos nutrientes fornecidos e tem possibilidade de contaminação de cursos de água. Adicionalmente, há evidências de esgotamento das fontes de alguns minerais constituintes dos adubos (Schumacher et al., 2001), além da queima de combustíveis fósseis não renováveis no processamento industrial.

Na mistura substrato, o componente orgânico contribui para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas, favorecendo a estruturação do substrato, fornecendo nutrientes para o crescimento da muda na fase de viveiro e o estabelecimento de uma biomassa microbiana diversificada (Cunha et al., 2006). Tradicionalmente nos viveiros florestais são testadas diferentes combinações de mistura substrato, pois o uso de solo puro pode não atender as condições necessárias ao bom crescimento da planta (Cunha et al., 2005), especialmente pelo período prolongado de enviveiramento exigido por algumas espécies florestais.

A utilização do fino do carvão de madeira pode contribuir com a viabilização econômica da produção de mudas, pois é um subproduto da seleção do carvão de maiores dimensões que será comercializado e com isso possui baixo custo. O carvão está presente no solo eutrófico antropogênico classificado como Terra Preta de Índio e é um dos responsáveis pela manutenção da fertilidade dessa classe de solo após plantios consecutivos (Smith, 1980). O efeito da adição do fino do carvão de madeira ao solo, denominado “moinha de carvão”, tem sido estudado recentemente no Brasil por melhorar as propriedades do solo, especialmente por aumentar a proliferação de microrganismos benéficos (Zanetti et al., 2003).

Sob o prisma agroecológico, complementando o interesse por menor uso de insumos que poluem e encarecem a produção de mudas, há necessidade de atender as demandas por recuperação de áreas degradadas, espaços ociosos e subutilizados na propriedade agrícola, introduzindo leguminosas arbóreas fixadoras de  $N_2$  (Franco e Faria, 1997). Algumas leguminosas florestais nodulíferas são classificadas como plantas de múltiplo uso, estrategistas nos sistemas de produção agrícola sustentáveis por diminuir ou até dispensarem o uso de fertilizantes nitrogenados, amenizando o

impacto ambiental desses adubos (Barberi et al., 1998). Na região tropical certas leguminosas arbóreas já foram intensivamente pesquisadas, tais como a leucena (*Leucaena leucocephala*), a glirícidia (*Gliricidia sepium*), o ingá-de-metro (*Inga edulis*) e a acácia mangium (*Acacia mangium*) e seu cultivo favorece a manutenção da fertilidade do solo.

O emprego de carvão vegetal de madeira na formação de mudas florestais foi ainda pouco pesquisado, especialmente para leguminosas arbóreas. Na Amazônia há muitas leguminosas arbóreas nodulíferas capazes na fixação de N<sub>2</sub> que, portanto, apresentam interesse para sistemas agroflorestais, o que justifica maior conhecimento sobre substratos para produção de mudas destas espécies. Esta pesquisa foi desenvolvida para avaliar o efeito da adição de níveis de carvão na mistura substrato sobre o crescimento, nodulação e eficiência da fixação simbiótica N<sub>2</sub> em mudas de leguminosas arbóreas de interesse agroflorestal.

## **METODOLOGIA**

Os experimentos foram conduzidos durante os anos de 2011 e 2012 no Campus INPA V-8 em áreas de sementeira e viveiro da Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – CSAS-INPA, em Manaus, AM. A área de sementeira é constituída por bancadas de madeira dispostas em um galpão aberto lateralmente e com cobertura de telha de barro. A estrutura do viveiro é constituída por ferro, com cobertura de sombrite, 50 % de luz incidente, aberta lateralmente, com chão cimentado e possui área de 8 x 11 m e irrigação distribuída por mangueiras plásticas.

As sementes de ingá (*Inga edulis* Mart., Mimosoideae) e palheteira (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard, Faboideae) procederam de árvores matrizes cultivadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, localizada na BR 174, Km 46, município de Manaus, AM. As sementes de orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth., Mimosoideae) foram coletadas em Codajás, AM. Cada espécie constituiu um experimento.

A colheita dos frutos de ingá foi diretamente na copa das árvores com ajuda de podão com vara extensora. Os frutos de palheteira e orelha de macaco foram colhidos sob a copa das matrizes na fase de dispersão plena por barocoria. O beneficiamento dos frutos para obtenção de sementes puras foi feito no Laboratório de Microbiologia do Solo do INPA, após secagem ao ar por 48 h.

Antes da sementeira as sementes de cada espécie foram mantidas submersas em água por um período de 24 h para promover a embebição. Para as sementes de orelha-de-macaco foi efetuado o tratamento pré-germinativo de corte do tegumento com pinça na extremidade oposta ao embrião. As sementes de ingá e orelha-de-macaco foram semeadas em linhas, empregando-se como sementeiras caixas plásticas drenadas com 40 x 80 x 15 cm preenchidas com areia lavada. Na fase de germinação a irrigação das plântulas foi diária. Para a palheteira a sementeira foi diretamente nos recipientes já preenchidos com as misturas substrato, três sementes por saco, seguido do desbaste, mantendo-se a melhor e mais central.

Como constituintes das misturas substrato foram usados solo argiloso, esterco bovino, areia e o fino do carvão. O solo argiloso e o esterco bovino curtido foram coletados na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, na BR 174, Km 35, Manaus, AM. A coleta de solo foi feita a até 10 cm de profundidade em área com Latossolo Amarelo sob pastagem abandonada (Vieira et al., 2011). A areia foi a comercializada em Manaus como material de construção. A moínha de carvão, subproduto da carbonização da madeira, foi coletada em uma propriedade na BR 174, Distrito Agropecuário da Suframa, Ramal ZF-1, Comunidade Nova Canaã, Manaus, AM.

Após o transporte até a sede, cada componente foi submetido à secagem a sombra por 48 h e em seguida peneirado em malha de 5 mm. No preparo das misturas foi utilizado como medida um balde de 20 L e na combinação de componentes a base foi volumétrica. A mistura substrato convencional foi adotada como tratamento controle, sendo a combinação de 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco bovino proposta para leguminosas arbóreas nodulíferas (Souza, 1992). As proporções de carvão empregadas nos tratamentos foram estimadas para atender a recomendação de aplicação de 0, 40, 80 e 120 t ha<sup>-1</sup> de carvão proposta para condições de campo por Oliveira et al. (2010). Os seguintes tratamentos foram aplicados:

T1) Mistura substrato 3:2:0,5, solo argiloso, areia e esterco bovino.

T2) Mistura substrato 3:2, solo argiloso e areia.

T3) Mistura substrato 5,5:3,5:1, solo argiloso, areia e carvão.

T4) Mistura substrato 2,5:2:1, solo argiloso, areia e carvão.

T5) Mistura substrato 1,5:2:1, solo argiloso, areia e carvão.

Após homogeneização, as misturas substratos foram distribuídas em recipientes plásticos de polipropileno, devidamente drenados, com dimensões de 13 x 27 cm, 11 cm de diâmetro após preenchimento e capacidade para 2 kg. As plântulas foram transplantadas após a emissão de um par de folhas definitivas, pela técnica de raízes nuas. Durante a condução do experimento os substratos foram irrigados regularmente nos dias sem chuva e quando necessário foram removidas manualmente as plantas espontâneas.

Foram tomadas medidas iniciais de altura e diâmetro do coleto das mudas de ingá e orelha-de-macaco um dia após o transplante. Para a palheteira, onde se praticou a semeadura direta nos recipientes, a primeira avaliação de crescimento e desbaste foi feita aos 19 dias. Posteriormente as mudas foram medidas mensalmente até a colheita.

Nestes experimentos as mudas foram inoculadas com estirpes de rizóbios homólogas, preservadas na coleção de rizóbios do Laboratório de Microbiologia do Solo. Para tanto foi preparado inoculante líquido YM (Hungria et al., 1994), pH 6,0, sem corante, distribuído em erlenmeyers de 125 mL e incubados durante 8 dias em agitador mecânico horizontal. Na ausência de estirpes selecionadas para solos locais as estirpes foram combinadas em coquetel (v:v). Para o ingá foram empregadas as estirpes SMS 828, SMS 832, SMS 841, SMS 842, SMS 847 e SMS 850. Para orelha-de-macaco as estirpes SMS 600, SMS 602 e SMS 617. Por fim, para a palheteira as estirpes SMS 938, SMS 941, SMS 943, SMS 944, SMS 945, SMS 949, SMS 950 e SMS 959. As mudas receberam 5 mL de inoculante líquido aplicado na base do caule, aos 21 e 32 dias após a repicagem para o ingá e a orelha-de-macaco e a palheteira aos 27 dias após a germinação.

Quando as mudas adquiriram qualidade suficiente para o plantio definitivo foram colhidas, o que ocorreu aos 92 e 75 após o transplante para o ingá e a orelha-de-macaco e aos 90 dias após a semeadura para a palheteira. Nesta ocasião, as mudas

tiveram a altura e diâmetro do coleto medidos e foram extraídas inteiras após destorroamento da mistura substrato. Em seguida foram lavadas e seccionadas em parte aérea e raízes. Os nódulos foram destacados das raízes, contados e separados. Todo o material vegetal foi submetido à secagem em estufa à 65°C por 72 h, seguido de sua pesagem. Para a parte aérea foi também determinada a biomassa do caule e obtido a biomassa foliar por subtração. A taxa de sobrevivência das mudas também foi registrada para cada mistura substrato ao final do experimento.

O material foliar seco foi moído em moinho de facas e preparado para determinação da concentração de nitrogênio no tecido pela digestão ácida das amostras com ácido sulfúrico, empregando-se o método de Kjeldahl modificado. Com as determinações do nitrogênio foliar foi calculado o conteúdo em nitrogênio total das folhas. O número e a biomassa seca dos nódulos foram correlacionados com as determinações de nitrogênio como uma medida indireta da eficiência da nodulação e para as correlações significativas foi gerada equação de regressão.

A análise do teor de nitrogênio presente nas folhas e das características químicas das misturas substrato foi realizada no Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP/INPA, em Manaus, AM. A metodologia empregada foi prescrita pela Embrapa (1997). Foi determinado o pH dos substratos em água (1:2,5) e teores de Ca, Mg e Al em solução extratora de KCl 1N. A matéria orgânica foi determinada pelo método Walkley-Black (Mendonça e Silva, 2001). O K foi determinado por fotometria de chama e o P por espectrofotometria. Zn e Fe foram extraídos em solução Mehlich-1 e quantificados por absorção atômica.

Com os valores obtidos também foi calculada as relações altura/diâmetro e parte aérea/raízes. Foi também determinado o Índice de Qualidade de Dickson (Dickson et al., 1960), de acordo com a fórmula:

$$IQD = \frac{MST(g)}{[H(cm)/D(mm)] + [MSA(g)/MSR(g)]}$$

Onde: MST é a matéria seca total, H corresponde à altura, D é o diâmetro do coleto, MSA é a matéria seca da parte aérea e MSR a matéria seca das raízes.

Para todas as espécies o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos com 10 repetições para as medidas de crescimento e biomassa e cinco repetições para as análises dos teores de N foliar e total. Para efeito de análise, o número, biomassa seca e peso específico de nódulos foram transformados para  $\sqrt{(x+0,01)}$  e o N-foliar para  $\text{arc-seno}\sqrt{(x+0,01)}$ , respectivamente, conforme recomenda Centeno (1990). A análise dos resultados foi feita com o programa Estat desenvolvido pela UNESP, versão 2002, adotando-se o teste de Tukey para comparações entre médias.

## RESULTADOS

A análise das características químicas das misturas substratos demonstrou que nos substratos sem esterco havia menor disponibilidade da maioria dos nutrientes, matéria orgânica e o pH tornou-se mais ácido em comparação ao substrato 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco (Tabela 1). Foi também constatado que os teores de P no substrato com esterco de  $110,1 \text{ mg kg}^{-1}$  foi em média dez vezes maior que o teor de P nos substratos sem esterco, onde a maior disponibilidade deste elemento ocorreu no substrato com maior teor de carvão 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão com  $15,6 \text{ mg kg}^{-1}$ . Neste substrato com maior teor de carvão houve maior similaridade com o substrato com esterco para os teores de matéria orgânica, Ca, Mg e Fe e valor superior ao substrato com esterco para o teor de K, indicando que o carvão disponibiliza altas quantidades deste elemento essencial.

Tabela 1. Características químicas das misturas substrato empregadas na formação de mudas leguminosas arbóreas nodulíferas.\*<sup>1</sup>

Misturas substrato* <sup>1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	Matéria orgânica g kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
			H+Al	Ca	Mg	P	K	Fe	Zn
Se	6,2	30,6	0	884	220	110	93	151	11,1
S	5,9	20,0	0,06	813	160	6,0	33	138	5,1
S1c	5,4	16,4	0,06	411	112	3,2	51	117	4,8
S2c	6,0	25,1	0,08	472	138	5,4	47	134	4,4
S3c	5,6	27,3	0,14	770	174	15,6	102	112	6,2

\*1 Se = solo argiloso, areia e esterco bovino (3:2:0,5), S = solo argiloso e areia (3:2), S1c = solo argiloso, areia e carvão (5,5:3,5:1), S2c = solo argiloso, areia e carvão (2,5:2:1), S3c = solo argiloso, areia e carvão (1,5:2:1).

Foi também verificado que na mistura tradicional o alumínio tóxico, na forma trocável está completamente neutralizado nas condições de pH 6,2 e a substituição do esterco pelo carvão com efeitos sobre a acidez da mistura apontou formas trocáveis deste elemento, embora em níveis que não provocam riscos ao crescimento vegetal. Adicionalmente, a maior proporção de carvão na mistura se destacou entre os substratos com carvão pelo aumento nos teores de matéria orgânica, Mg, P, K, Zn e Mn comparado a mistura básica de 3:2 (v:v) de solo argiloso e areia.

Os substratos avaliados não afetaram as medidas de crescimento de ingá e palheteira, entretanto influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) a formação de mudas de orelha-de-macaco (Tabela 2). Aos três meses de enviveiramento, as mudas de ingá já apresentavam médias de altura e diâmetro do coleto de 28,7 cm e 3,9 mm, respectivamente, com condições adequadas para o plantio.

Tabela 2. Efeito da adição de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato de formação de mudas nas medidas de crescimento de três leguminosas arbóreas conduzidas sob enviveiramento. \*1\*2

Misturas substrato*3	Altura (cm)	Diâmetro do coleto (mm)	Biomassa seca (g)	
			Parte aérea	Raiz
----- <i>Inga edulis</i> -----				
Se	30,2 a	4,1 a	3,01 a	0,97 a
S	29,2 a	4,0 a	3,10 a	0,97 a
S1c	28,2 a	3,9 a	3,40 a	0,96 a
S2c	28,3 a	3,8 a	3,30 a	0,91 a
S3c	27,4 a	3,7 a	3,15 a	1,17 a
Teste F	0,36 ns	1,28 ns	0,22 ns	1,17 ns
----- <i>Enterolobium schomburgkii</i> -----				
--				
Se	9,6 b	1,6 c	0,37 c	0,22 b
S	24,4 a	3,2 a	2,29 a	0,92 a
S1c	19,6 a	2,8 ab	1,50 b	1,04 a
S2c	19,8 a	2,7 ab	1,88 ab	0,87 a
S3c	18,9 a	2,6 b	1,79 ab	0,78 a
Teste F	14,38 **	21,21 **	16,49 **	14,69 **
----- <i>Clitoria fairchildiana</i> -----				
Se	35,4 a	4,4 a	2,66 a	1,04 a

S	34,6 a	4,5 a	2,41 a	0,90 a	*1 Médias seguidas de mesma
S1c	34,7 a	4,6 a	3,10 a	1,20 a	
S2c	35,1 a	4,5 a	3,33 a	1,19 a	
S3c	34,9 a	4,4 a	2,64 a	1,01 a	
Teste F	0,05 ns	0,23 ns	1,79 ns	1,63 ns	

letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 1% de probabilidade ( $P < 0,01$ ).

<sup>2</sup> *Inga edulis*, *Enterolobium shomburkii* e *Clitoria fairchildiana* foram colhidas, respectivamente, aos 92 e 175 após a repicagem e 90 dias após a semeadura.

<sup>3</sup> Se = solo argiloso, areia e esterco bovino (3:2:0,5), S = solo argiloso e areia (3:2), S1c = solo argiloso, areia e carvão (5,5:3,5:1), S2c = solo argiloso, areia e carvão (2,5:2:1), S3c = solo argiloso, areia e carvão (1,5:2:1).

Concordando com os resultados experimentais verificados para ingá, não houve resposta das plantas de palheteira nas medidas de crescimento nas misturas substrato avaliadas (Tabela 2). Assim, aos 3 meses após a semeadura as plantas apresentavam altura média de 34,9 cm e diâmetro do coleto de 4,5 mm, que foram médias mais expressivas que as do ingá, e que também indicam qualidade para o plantio definitivo. Embora as biomassas da parte aérea e das raízes secas de palheteira não tenham diferido entre misturas substrato, naquela constituída somente por solo argiloso e areia a planta apresentou menor crescimento.

As plantas de orelha-de-macaco apresentaram crescimento bem mais lento que o da palheteira e ingá e necessitaram de 5,8 meses de enviveiramento para alcançar o ponto adequado para sua introdução em condições de campo (Tabela 2). Os resultados experimentais demonstraram menor desempenho das mudas desta espécie quando conduzidas na mistura substrato convencional constituída por 3:2:0,5 de solo argiloso, areia e esterco. Nos substratos com carvão e na mistura 3:2 de solo argiloso e areia as plantas de orelha-de-macaco apresentaram altura significativamente superior ( $P < 0,01$ ) das conduzidas no substrato convencional, e esta mesma resposta foi verificada para a biomassa das raízes secas. O crescimento do diâmetro do coleto das mudas de orelha-de-macaco também foi significativamente afetado em resposta as misturas substrato. Neste caso, o maior diâmetro da planta foi constatado na mistura substrato 3:2 de solo argiloso e areia superando significativamente as medidas tomadas no substrato com maior nível de carvão e o substrato convencional.

As medidas de crescimento da parte aérea e raízes das mudas de orelha-de-macaco também foram significativamente afetadas pela mistura substrato empregadas.

Para o crescimento radicular, como já comentado, a mistura substrato convencional não favoreceu a espécie. Para a biomassa da parte aérea as plantas crescidas na mistura substrato 3:2 de solo argiloso e areia superaram significativamente aquelas da mistura convencional e com o menor nível de carvão correspondente a mistura 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão.

Por se tratarem de leguminosas arbóreas nodulíferas e fixadoras de N<sub>2</sub>, a definição do efeito do carvão nas mistura substratos depende não somente das medidas de crescimento, mas também da avaliação das características da nodulação e absorção de N pelas mudas. Assim, os resultados experimentais evidenciaram um efeito significativo das misturas substrato sobre as características da nodulação das três espécies de leguminosas arbóreas pesquisadas (Tabela 3). Por outro lado, considerando-se a absorção de N, pelos teores de N e N-total, somente o ingá não apresentou resposta às misturas substrato, absorvendo N eficientemente em todas as combinações testadas.

Tabela 3. Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato de produção de mudas na nodulação e teor de nitrogênio de mudas sob envolvimento.<sup>\*1\*2</sup>

Misturas substrato <sup>*3</sup>	Número de Nódulos	Biomassa dos nódulos secos (mg)	Peso específico (mg nódulos <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	N-total (mg planta <sup>-1</sup> )
----- <i>Inga edulis</i> -----					
Se	44 b	46 b	2,9 a	35,99 a	104,11 a
S	101 a	89 ab	1,0 a	32,88 a	74,84 a
S1c	97 a	104 a	1,1 a	35,30 a	102,48 a
S2c	104 a	114 a	1,1 a	34,93 a	89,09 a
S3c	83 a	74 ab	1,0 a	34,53 a	85,74 a
Teste F	5,18 **	4,29 **	0,19 ns	0,66 ns	2,25 ns
----- <i>Enterolobium schomburgkii</i> -----					
Se	0 c	0 c	0 b	22,04 a	11,41 c
S	28 a	46 a	2,2 a	22,96 a	52,40 a
S1c	8 b	13 bc	3,2 a	21,97 a	33,30 b
S2c	17 ab	44 a	4,6 a	22,80 a	42,76 ab
S3c	14 ab	38 ab	5,2 a	22,12 a	46,94 ab
Teste F	9,87 **	10,46 **	10,63 **	0,87 ns	18,69 **
----- <i>Clitoria fairchildiana</i> -----					
Se	20 a	13 b	0,8 b	33,74 a	54,39 ab
S	33 a	44 a	1,4 ab	33,90 a	53,25 b

S1c	32 a	44 a	1,5 a	34,41 a	67,61 ab
S2c	32 a	51 a	1,7 a	31,75 a	58,53 ab
S3c	33 a	50 a	1,5 a	34,72 a	70,30 a
Teste F	1,14 ns	5,79 **	4,68 **	0,77 ns	4,51 *

<sup>1</sup> Médias com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % ou 1 % de probabilidade (P<0,05; P<0,01).

<sup>2</sup> *Inga edulis*, *Enterolobium schomburkii* e *Clitoria fairchildiana* foram colhidas, respectivamente, aos 92 e 175 após a repicagem e 90 dias após a semeadura.

<sup>3</sup> Se = solo argiloso, areia e esterco bovino (3:2:0,5), S = solo argiloso e areia (3:2), S1c = solo argiloso, areia e carvão (5,5:3,5:1), S2c = solo argiloso, areia e carvão (2,5:2:1), S3c = solo argiloso, areia e carvão (1,5:2:1).

A formação de mudas de ingá em substrato convencional não favoreceu a formação de nódulos avaliada pelo número e biomassa dos nódulos secos comparados aos demais substratos, o que sugere uma influência do esterco na mistura substrato, mesmo em níveis recomendados para leguminosas nodulíferas, com efeito inibidor sobre a nodulação (Tabela 3). Desse modo, na mistura substrato 3:2 de solo argiloso e areia e em todas as combinações com carvão, o número de nódulos formados em ingá foi superior significativamente (P<001) ao verificado no substrato convencional. Os nódulos formados em ingá, entretanto, não apresentavam diferenças significativas em tamanho, o que foi avaliado pelo peso específico dos nódulos que em média foi de 1,4 mg nódulos<sup>-1</sup>. Por outro lado foi também verificado que nas mudas desenvolvidas nos substratos com combinações de 5,5:3,5:1 e 2,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão os nódulos apresentavam biomassa seca significativamente superior àqueles formados em mudas conduzidas no substrato convencional. Sem manifestar diferenças significativas, o conteúdo de N e N-total médio em mudas de ingá foi de 34,7 g kg<sup>-1</sup> e 91,3 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Adicionalmente, as relações entre as variáveis da nodulação e da absorção de nitrogênio pela planta para esta espécie foram todas não significativas.

A espécie orelha-de-macaco foi mais sensível do que ingá ao esterco presente no substrato convencional e nas condições experimentais não formou nódulos neste substrato (Tabela 3). Foi verificado que o número de nódulos formados nas raízes de orelha-de-macaco foi maior no substrato 3:2 de solo argiloso e areia que no substrato 5,5:3,5:1 que continha o menor nível de carvão. A avaliação da biomassa dos nódulos formados em orelha-de-macaco mostrou que no substrato 3:2 de solo argiloso e areia e no 2,5:2:1 com dose média de carvão o crescimento nodular foi significativamente superior ao do substrato 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão não diferindo

significativamente do substrato com maior nível de carvão. Nessa espécie, ainda houve diferença significativa para o peso específico de nódulos com pior desempenho no substrato convencional.

Considerando-se a absorção de N pelas mudas de orelha-de-macaco, observou-se que não houve diferenças significativas para o N absorvido no material foliar entre os substratos pesquisados com média geral de  $22,4 \text{ g kg}^{-1}$ , o que corresponde a um valor médio de N foliar de 2,24 %. Por outro lado, o baixo crescimento desta espécie no substrato convencional influenciou diretamente os teores de N-total na biomassa foliar demonstrando que este substrato não favoreceu a formação de mudas desta espécie. Na avaliação do N-total nos demais tratamentos foi demonstrado que no substrato 3:2 de solo argiloso e areia as plantas absorveram mais nitrogênio que no substrato 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão, não diferindo entretanto dos substratos com teores mais elevados de carvão.

A eficiência do processo simbiótico estabelecido em mudas de orelha-de-macaco foi demonstrada pela correlação significativa estabelecida entre as variáveis independentes da biomassa dos nódulos secos e N-total acumulado nas folhas das plantas (Figura 1). Para esta espécie, as evidências são de que a inoculação das mudas favoreceu linearmente a expressão da fixação de  $\text{N}_2$ , já que um elevado valor de  $R^2$  de 0,92 consolida a importância do crescimento nodular na quantidade de nitrogênio acumulada na biomassa foliar. A Figura 1 também apresenta a equação de regressão linear gerada por essa relação significativa. Os resultados sugerem que na ausência de nódulos no substrato convencional a mineralização da matéria orgânica por si só não contribuiu para o suprimento de N para as mudas de orelha-de-macaco.

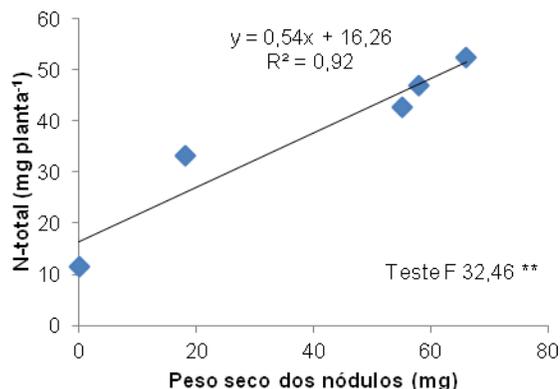


Figura 1. Relações entre os teores de N-total e biomassa dos nódulos secos de mudas de orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii*) inoculadas com rizóbios em misturas substrato com diferentes níveis de carvão aos 175 dias sob enviveiramento.

As características da nodulação de palheteira também foram influenciadas pelos substratos pesquisados (Tabela 3). Considerando-se que esta espécie tem comportamento promíscuo quanto a sua capacidade de infectar-se com rizóbios, não foram verificadas diferenças significativas no número de nódulos formados que em média foi de 30 nódulos por muda. Por outro lado, o crescimento dos nódulos avaliado pela sua biomassa seca foi afetado pela presença de esterco bovino presente no substrato convencional, onde foi verificada a menor biomassa de nódulos comparada aos outros substratos. Enquanto a biomassa nodular formada nos substratos sem esterco não tiveram diferenças entre si. Neste experimento foi constatado que o tamanho dos nódulos de palheteira avaliados pelo peso específico dos nódulos foi favorecido com a presença de carvão no substrato e nas três proporções de carvão avaliadas os nódulos apresentavam maior peso específico que no substrato convencional, embora não diferissem significativamente da combinação 3:2 de solo argiloso e areia.

O melhor crescimento de palheteira nos substratos sem esterco influenciou significativamente o acúmulo de nitrogênio total na biomassa foliar, embora o mesmo não tenha sido constatado no N absorvido no material foliar (Tabela 3). O N-total acumulado na biomassa foliar das mudas de palheteira desenvolvidas no substrato 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão foi significativamente superior ( $P < 0,05$ ) ao N-total verificado na combinação de 3:2 de solo argiloso e areia, com benefício de acúmulo de N calculado em 24,30 % por planta. O acúmulo de N-total na biomassa foliar evidencia que de algum modo a presença de carvão no substrato embora na fase muda ainda não reflita em um maior crescimento da muda interfere favoravelmente nos indicadores da nodulação, mas, como demonstrado para a palheteira, também no N-total da biomassa foliar. Considerando-se o ciclo vegetativo das espécies arbóreas, não foram demonstradas diferenças quantitativas, mas sim qualitativas.

A eficiência do processo simbiótico das mudas de palheteira neste experimento foi demonstrada pela correlação significativa entre as variáveis independentes do

número de nódulos formados e N-total acumulado na biomassa foliar da muda (Figura 2). Entretanto o  $R^2$  de 0,57 identificado nesta correlação linear entre estas variáveis sugere que alguma outra forma de suprimento de N esteja contribuindo para o N-total na biomassa da parte aérea da muda, além do N fixado pelo processo simbiótico estabelecido entre o hospedeiro e os rizóbios. Há que se considerar que o número de nódulos estabelecidos em uma dada muda também tem variações de tamanho e de eficiência, e esse pode ter sido um fator condicionante desta relação. A Figura 2 também apresenta a equação de regressão gerada pela relação destas duas variáveis permitindo o estabelecimento de estimativas.

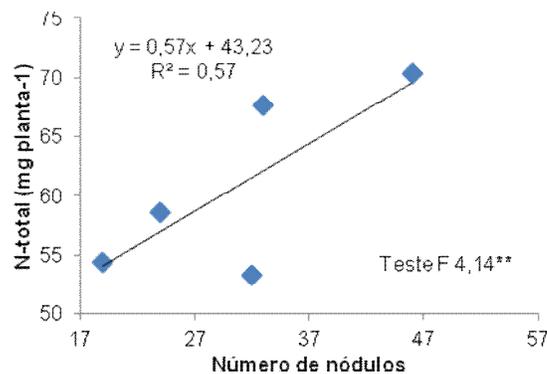


Figura 2. Relações entre os teores de N-total e número de nódulos de mudas de palheteira (*Clitoria farchildiana*) inoculadas com rizóbios em misturas substrato com diferentes níveis de carvão aos 90 dias sob enviveiramento.

Os índices de qualidade calculados para as três espécies estão na Tabela 4. Para ingá não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à relação parte aérea/raiz, Índice de Qualidade de Dickson e relação altura/diâmetro, tendo médias de 3,30, 0,40 e 7,34. A pior sobrevivência foi no substrato sem adição de material orgânico com 10% de mortalidade e 100% de sobrevivência nos outros substratos, mostrando que as características do substrato 3:2 de solo argiloso e areia pode não ter suprido as necessidades das plantas.

Tabela 4. Efeito de doses crescentes de carvão na composição da mistura substrato de formação de mudas nos indicadores de qualidade e taxa de sobrevivência para três leguminosas arbóreas, conduzidas sob enviveiramento.<sup>\*1\*2</sup>

Misturas substrato <sup>3</sup>	Relação parte aérea/raiz	Índice de Qualidade de Dickson	Relação altura/diâmetro	Sobrevivência (%)
----- <i>Inga edulis</i> -----				
---				
Se	3,02 a	0,38 a	7,21 a	100
S	3,43 a	0,39 a	7,06 a	90
S1c	3,57 a	0,40 a	7,36 a	95
S2c	3,79 a	0,38 a	7,61 a	100
S3c	2,71 a	0,43 a	7,48 a	100
Teste F	2,55 ns	0,35 ns	0,31 ns	nd
----- <i>Enterolobium schomburgkii</i> -----				
-----				
Se	1,91 ab	0,08 b	6,28 a	95
S	2,66 a	0,32 a	7,74 a	100
S1c	1,48 b	0,30 a	6,97 a	100
S2c	2,25 ab	0,29 a	7,44 a	100
S3c	2,34 ab	0,27 a	7,34 a	100
Teste F	3,49 *	12,17 **	1,30 ns	nd
----- <i>Clitoria fairchildiana</i> -----				
--				
Se	2,93 a	0,34 a	7,61 a	100
S	2,73 a	0,32 a	7,73 a	100
S1c	2,73 a	0,42 a	7,90 a	95
S2c	2,91 a	0,43 a	7,70 a	95
S3c	2,51 a	0,34 a	8,14 a	100
Teste F	0,31 ns	2,52 ns	0,21 ns	nd

<sup>1</sup> Médias com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % ou 1 % de probabilidade (P<0,05; P<0,01).

<sup>2</sup> *Inga edulis*, *Enterolobium shomburgkii* e *Clitoria fairchildiana* foram colhidas, respectivamente, aos 92 e 175 após a repicagem e 90 dias após a semeadura.

<sup>3</sup> Se = solo argiloso, areia e esterco bovino (3:2:0,5), S = solo argiloso e areia (3:2), S1c = solo argiloso, areia e carvão (5,5:3,5:1), S2c = solo argiloso, areia e carvão (2,5:2:1), S3c = solo argiloso, areia e carvão (1,5:2:1).

O valor menor e mais equilibrado da relação matéria seca aérea/matéria seca radicular das plantas de orelha de macaco foi 1,48 no substrato 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão (Tabela 4), que também foi o substrato com maiores valores de diâmetro e matéria seca aérea (Tabela 3). Quanto ao Índice de Qualidade de Dickson de orelha de macaco, todos os tratamentos sem esterco apresentaram valores em torno de 0,30, sendo mais de três vezes superiores e diferentes estatisticamente do

tratamento com esterco que apresentou Índice de Qualidade Dickson de 0,08. Quanto à relação altura/diâmetro, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos e a média foi de 7,15. As plantas no tratamento com esterco, além de terem o pior desempenho na maioria das características avaliadas foram as únicas com mortalidade ao longo do experimento.

Para palheteira, assim como ocorreu no experimento com ingá, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a relação parte aérea/raiz, Índice de qualidade Dickson e relação altura/diâmetro, sendo que as médias desses índices foram, respectivamente, 2,76, 0,37 e 7,82. Quanto à sobrevivência, foi registrada mortalidade de 5% nos substratos com menor e médio teor de carvão e nos outros substratos não houve mortalidade.

## **DISCUSSÃO**

A análise química dos substratos (Tabela 1) mostra que 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão tem seu pH classificado agronomicamente como ácido, o pH no substrato com esterco e no tratamento 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão possuem acidez com classificação em fracamente ácida, enquanto os outros substratos possuem classificação agrônômica em medianamente ácida. Os teores de P foram altos no substrato 3:2:0,5 (v:v) de solo argiloso, areia e esterco, médio no substrato 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão e deficiente nos outros substratos (EMBRAPA, 1999).

O teor de Fe e Zn é considerado alto em todos os substratos. O substrato com esterco e o substrato sem adição de matéria orgânica apresentaram teores de K deficiente, o substrato com maior teor de carvão apresentou teor baixo de K e os outros substratos apresentaram valor médio. O tratamento 3:2 de solo argiloso e areia e o 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão apresentaram valores médios para Ca e Mg, enquanto o substrato com esterco teve teor baixo de Ca e deficiente para Mg e os outros substratos apresentaram valores baixos de Ca e Mg.

Com a adição de esterco e carvão ao substrato houve tendência a aumento do teor de matéria orgânica (Tabela 1). Com maiores teores de matéria orgânica misturados ao substrato estimula-se o crescimento de microrganismos benéficos e pelo aumento no número de microporos aumenta a capacidade de retenção de água e

nutrientes pelo substrato, além de diminuir sua densidade (Guerrini e Trigueiro, 2004; Caldeira et al., 2008).

Comparando os dados da análise química dos substratos à descrição de Terra Preta de Índio feita por Falcão e Borges (2006), houve maiores teores de P pela adição do carvão somente no substrato 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão com 15,6 mg kg<sup>-1</sup> em comparação ao substrato sem carvão e sem esterco com 6,0 mg kg<sup>-1</sup>, mas é bem inferior ao teor de P de 200 mg kg<sup>-1</sup> da Terra Preta. Divergiram da Terra Preta também por ter havido aumento do teor de K com a adição de maiores doses de carvão.

No presente experimento somente pela adição de esterco houve neutralização do pH, enquanto nos resultados encontrados por Tryon (1948) e Chidumayo (1994), houve neutralização do pH pelo aumento das doses de carvão. Entretanto, o estudo de Tryon (1948) mostrou que a tamponação da argila neutralizar o efeito de neutralização do pH pela adição de carvão. Os resultados do Chidumayo (1994) assemelham-se aos encontrados no substrato 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão por ter havido aumento do P e K trocável pelo aumento do teor de carvão no substrato.

As plantas de ingá e palheteira foram menos plásticas aos tratamentos testados do que orelha de macaco (Tabela 2), podendo essa diferença ter ocorrido pelas sementes de ingá e palheteira serem maiores que as sementes de orelha de macaco. Além disso, enquanto ingá e palheteira necessitaram de um tempo em torno de 90 dias em viveiro para chegar aos 30 cm de altura, orelha de macaco aos 175 dias após a repicagem não atingiu altura de 20 cm na maioria dos substratos. Podendo essa maior rapidez no crescimento ser devido à independência provida pelas sementes, sendo assim as plantas de orelha de macaco menos independentes e mais suscetíveis aos efeitos do substrato (Uchida e Campos, 2000).

As espécies em estudo apresentavam no momento da colheita mudas com média da altura (Tabela 2) superior ao tamanho mínimo de 15 a 30 cm de altura recomendada por Gomes e Paiva (2006), exceto as plantas no tratamento com esterco de orelha de macaco. Ingá apresentou homogeneidade de crescimento no período experimental, avaliado pela biomassa da parte aérea e das raízes e tal fato sugere que a formação de mudas do ingá foi menos dependente do substrato do que orelha-de-

macaco e, possivelmente, as características autoecológicas da espécie tiveram maior influência em seu estabelecimento. A ausência de diferenças entre as plantas de ingá e palheteira nos substratos avaliados segundo as características de crescimento sugere que qualquer um deles poderia ser empregado para ingá e palheteira, e, considerando a redução de custos a mistura 3:2 de solo argiloso e areia poderiam ser adotadas. Com base ainda na Tabela 2, as evidências são de que as plantas de orelha-de-macaco, embora com taxa de crescimento mais lenta comparada as outras duas espécies, também se adaptariam a mistura 3:2 de solo argiloso e areia por razões diferentes das identificadas para o ingá.

Comparando os resultados do presente experimento com dados científicos disponíveis na literatura, palheteira nos substratos do presente experimento aos 90 dias apresentou plantas com altura média de 34,9 cm e foi 14 cm superior ao valor de altura de 20,4 cm obtido para palheteira na pesquisa desenvolvida por Portela et al. (2001) cultivando com 50 % de sombreamento aos 150 dias após a semeadura em substrato com 50% de solo e 50% de composto de lixo urbano. Já no estudo de Souza et al. (2007) as plantas de palheteira aos 70 após o transplântio já apresentavam altura de 42,2 cm e diâmetro de 9,1 mm sendo cultivadas em casa de vegetação, sendo esses valores maiores do que as maiores médias do presente experimento de altura de 35,4 cm no substrato com esterco e diâmetro de 4,6 mm no substrato 5,5:3,5:1. No estudo de Scalon et al. (2006) as mudas de sombreiro cultivadas em recipiente com solo e adubação mineral sob 50% de luminosidade aos 123 dias de idade apresentaram pior desempenho com altura de 15,9 cm e maior diâmetro do coleto de 6,4 mm.

Sabe-se que a absorção de nitrogênio em leguminosas nodulíferas é a soma do  $N_2$  fixado pelos processos simbióticos e o nitrogênio mineralizado no solo a partir da decomposição de seus estoques orgânicos. Em decorrência, não foram constatadas diferenças na absorção do nitrogênio em mudas de ingá, avaliados pelo seu conteúdo de N e N-foliar para os substratos pesquisados (Tabela 3). Assim, é possível que o maior número de nódulos e biomassa de nódulos formados nos substratos sem esterco tenha se equiparado ao menor número e peso de nódulos no substrato convencional onde, possivelmente, as maiores entradas de nitrogênio se devem ao elevado teor de matéria orgânica fornecida pelo esterco bovino. As evidências são de que, como o

processo simbiótico fixador de  $N_2$  é uma propriedade restauradora do ecossistema diante de perturbações está adaptado a condições adversas e tem menor expressão em ambientes mais favoráveis.

Oliveira et al. (2010) cultivando a espécie herbácea *Vigna unguiculata* em solo com doses crescente de carvão constatou que o aumento das doses de carvão foi acompanhado por aumento significativo nas características biométricas avaliadas e na nodulação, sendo esses resultados diferentes dos encontrados no presente estudo. Palheteira apresentou 100% de colonização por rizóbios nativos em experimento realizado por Souza et al. (2007), com nodulação abundante e eficiência na fixação de nitrogênio quando plantado em diferentes solos da Zona da Mata de Pernambuco, sendo quatro solos de área com mata, seis solos de área agrícola e dois de área degradada. Isso demonstra compatibilidade entre o sombreiro e populações nativas de rizóbio. O tratamento com maior número de nódulos de 33 nódulos e matéria seca dos nódulos de 50 mg no substrato 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão de palheteira é quase dez vezes menor que o número de nódulos igual a 269 nódulos e matéria seca de nódulos de 560 mg encontrados por Souza et al. (2007) para essa mesma espécie em solo de agricultura.

Os resultados da avaliação da nodulação das três espécies permitem afirmar que o uso de esterco na composição do substrato inibiu a nodulação, assim como a inibição do processo simbiótico observado por Vieira et al. (2011) pelo fornecimento de N-mineral. A plena nodulação das mudas é interessante pelo fato de que quando em condições de campo poderão ser mais autônomas quanto a absorção de N.

Quanto aos teores de N no tecido das plantas do presente experimento, o N foliar foi superior a médias dos dados de N foliar para *Leucaena leucocephala* de 21,4 g  $kg^{-1}$  do experimento de Souza et al (2007) no caso de ingá e palheteira e semelhante à média de orelha-de-macaco. Quanto ao N-total, Vieira et al (2011) verificou para *Swartzia argentea* média de 38,3 mg  $planta^{-1}$ , sendo essa média menor do que a maioria do N-total verificado em Ingá, palheteira e orelha de macaco. Os dados também permitem afirmar que devido ao maior N-total apresentado por ingá, esta espécie possui maior potencial para uso como adubação verde do que as outras duas espécies em estudo.

Ao calcular a relação matéria seca aérea/matéria seca da raiz com os dados de Souza et al. (2007) em solo de agricultura temos o valor 1,66. Calculando a relação altura/diâmetro com os dados expostos por Souza et al. (2007) e Scalon et al. (2006) temos, respectivamente, 4,6 e 2,5. Os valores das relações matéria seca aérea/matéria seca da raiz e altura/diâmetro são inferiores aos menores valores dessas relações para palheteira apresentados na Tabela 4, matéria seca aérea/matéria seca da raiz no substrato com esterco com 2,56 e altura/diâmetro no substrato 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão com 7,5 e também inferiores à maioria dos valores dessas relações calculados para ingá e orelha de macaco. Com exceção dos valores da relação matéria seca aérea/matéria seca da raiz de orelha de macaco no tratamento 5,5:3,5:1 de solo argiloso, areia e carvão com 1,44. Segundo Gomes e Paiva (2006), quanto menores os valores dessas duas relações melhor a qualidade da planta. Sendo assim, as médias das plantas de ingá, orelha de macaco e palheteira no presente experimento apresentaram desempenho inferior as mudas de palheteira cultivadas em solo de agricultura por Souza et al. 2007 e sob 50% de luminosidade no estudo de Scalon et al. (2006) segundo as relações matéria seca área/matéria seca da raiz e altura/diâmetro do coleto.

No momento da colheita as plantas de ingá, orelha de macaco e palheteira em estudo apresentaram valores do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) maiores do que o mínimo necessário para que sejam levadas à campo, exceto no tratamento com esterco de orelha de macaco. 0,20 é o menor valor que o IQD pode ter pra que as mudas tenham desempenho satisfatório, segundo Hunt (1990) citado por Chaves e Paiva (2004) para mudas produzidas em tubetes de 50 a 60 cm<sup>3</sup>. Também estão dentro da faixa de valores de 0,23 a 0,69 do IQD apresentados por Azevedo et al. (2010) avaliando o crescimento de mudas de *Simarouba amara* em viveiro, exceto o Índice de Qualidade de Dickson de 0,08 das plantas no tratamento com esterco de orelha de macaco.

Especificamente no caso de palheteira, calculando o Índice de Qualidade de Dickson com os dados publicados por Souza et al. (2007) para mudas cultivadas em solo de agricultura aos 70 dias temos Índice de Qualidade de Dickson de 3,9, que é quase dez vezes maior que a média de 0,34 do Índice de Qualidade de Dickson das

mudas de palheteira desse experimento. Mostrando também para esse índice que os resultados do experimento com palheteira aos 90 dias estão aquém do potencial dessa espécie. Além disso, os valores calculados do Índice de Qualidade de Dickson para palheteira com os dados do trabalho de Souza et al. (2007) são também superiores aos valores do Índice de Qualidade de Dickson de ingá e orelha de macaco em todos os tratamentos. Neste sentido, a adoção do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) auxilia a interpretação da pesquisa com produção de mudas por reunir em um só indicador várias características da qualidade (Fonseca et al., 2002), fornecendo valores mínimos de qualidade para aspectos morfológicos da muda.

## CONCLUSÃO

O uso de esterco na composição dos substratos inibiu a nodulação em todas as três espécies estudadas. Já o substrato 3:2 de solo argiloso e areia foi favoreceu a qualidade e nodulação das mudas de orelha de macaco, assim como o substrato 2,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão.

Já no caso de ingá, os substratos 2,5:2:1 e 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão foram onde houve mudas com melhor qualidade. Enquanto para palheteira o substrato mais favorável à produção de mudas foi 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão.

Assim, também é possível afirmar que para as três espécies em estudo o carvão foi capaz de favorecer a qualidade das mudas pela melhoria na nodulação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, I.M.G.; Alencar, R.M.; Barbosa, A.P. e Almeida, N.O. 2010. Estudo do crescimento e qualidade de mudas de marupá (*Simarouba amara* Aubl.) em viveiro. *Acta Amazônica*, 40(1):157-164.
- Barberi, A.; Carneiro, M.A.C.; Moreira, F.M.S. e Siqueira, J.O. 1998. Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no sul de Gerais. *Cerne*, 4: 145-153.
- Bernardino, D.C.S.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M. e Marques, V.B. 2005. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. *Revista Árvore*, 29(6):863-870.

- Caldeira, M.V.W.; Rosa, G.N.; Fenilli, T.A.B. e Harbs, R.M.P. 2008. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria*, 9(1):27-33.
- Centeno, A.J. 1990. *Curso de estatística aplicada à biologia*. UFG, Goiânia, Centro Editorial, Coleção didática 3, 188pp.
- Chaves, A.S. e Paiva, H.N. 2004. Influência de diferentes períodos de sombreamento sobre a qualidade de mudas de fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn. *Scientia Forestalis*, 65: 22-29.
- Chidumayo, E.N. 1994. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. *Forest Ecology and Management*, 70:353-357.
- Cunha, A.M.; Cunha, G.M.; Sarmiento, R.A.; Cunha, G.M. e Amaral, J.F.T. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore*, 30(2):207-214.
- Cunha, A.O.; Andrade, L.A.; Bruno, R.L.A.; Silva, J.A.L. e Souza, V.C. 2005. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impertiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. *Revista Árvore*, 29:507-516.
- Dickson, A.; Leaf, A. e Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry chronicle*, 36:10-13.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 212p.
- Falcão, N.P.S. e Borges, L. 2006. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão havaí (*Carica papaya* L.). *Acta Amazonica*, 36:401-406.
- Fonseca, E.P.; Valéri, S.V.; Miglioranza, E.; Fonseca, N.A.N. e Couto, L. 2002. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, 26:515-523.
- Franco, A.A. e Faria, S.M. 1997 The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5-6):897-903.
- Gomes, J.M. e Paiva, H.N. Viveiros florestais. Viçosa: UFV, 2006. 116p. (Cadernos didáticos, 72).

- Guerrini, I.A. e Trigueiro, R.M. 2004. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28:1069-1076.
- Hungria, M. 1994. Coleta de nódulos e isolamento de rizóbios. *In: Hungria, M. e Araújo, R.S. (Eds.) Manual de Métodos empregados em estudos de Microbiologia Agrícola*. EMBRAPA-CNPAP, Documentos 46, Brasília, p. 45-59.
- Oliveira, D.M.; Falcão, N.P.S. e Souza, L.A.G. 2010. Efeito do resíduo de carvão vegetal e pó de serra no crescimento vegetativo e na nodulação do feijão caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp) em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Central. *In: III REUNIÃO CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA*. Manaus, AM. 11pp.
- Portela, R.C.Q.; Silva, I.L. e Pinã-Rodrigues, F.C.M. 2001. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal*, 11(2):163-170.
- Scalon, S.P.Q.; Mussury, R.M.; Filho, H.S. e Francelino, C.S.F. 2006. Desenvolvimento de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) sob condições de sombreamento. *Ciência Agrotecnologia*, 30:166-169.
- Schumacher, M.V.; Caldeira, M.V.W.; Oliveira, E.R.V. e Piroli, E.L. 2001. Influência do vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* hillex maiden. *Ciência Florestal*, 11(2):121-130.
- Smith, N.J.H. 1980. Anthrosol and human carrying capacity in Amazônia. *Annals of the Association of American Geographers*. 70:553-566.
- Souza, L.A.G.; Bezerra Neto, E.; Santos, C.E.R.S. e Stamford, N.P. 2007. Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2):207:217.
- Tryon, E.H. Effect of Charcoal on Certain Physical, Chemical, and Biological Properties of Forest Soils. 1948. *Ecological Monographs*, 18:81-115.
- Uchida, T. e Campos, M.A.A. 2000. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. – Fabaceae), cultivadas em viveiro. *Acta Amazônica*, 30(1):107-114.
- Vieira, E.P. e Souza, L.A.G. 2011. Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. *Revista de Ciências Agrárias*, 54(1):54-62.

Zanetti, M.; Cazetta, J.O.; Junior, D.M. e Carvalho, S.A. 2003. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação de porta-enxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25:508-512.

## SÍNTESE

O substrato com esterco pode ser substituído sem prejuízo na qualidade das mudas no caso de copaíba e mari-mari pelo substrato com uma parte de carvão e no de visgueiro pelo substrato com meia parte de carvão. Mudanças de ingá e palheteira podem ser produzidas em substrato sem esterco, respectivamente, nos tratamentos 2,5:1,7:1 de solo argiloso, areia e carvão e 1,5:2:1 de solo argiloso, areia e carvão. Orelha de macaco e palheteira também podem ser produzidas na mistura 3:2 de solo argiloso e areia sem prejuízo para as mudas.