

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

The seal of the Universidade Federal do Amazonas is a circular emblem. It features a central shield with a stylized landscape, including a river and a sun. The shield is flanked by two branches of a tree. Above the shield are three stars. The outer ring of the seal contains the text "UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS" at the top and "IN UNIVERSA SCIENTIA VERITAS" at the bottom.

CARVÃO VEGETAL COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO
PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa* H. B. K.)

MARIA MUNIZ NUNES

MANAUS

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

MARIA MUNIZ NUNES

CARVÃO VEGETAL COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO
PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa* H. B. K.)

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia Tropical da
Universidade Federal do Amazonas, como
requisito parcial para obtenção de Título de
Mestre na área de concentração Produção
Vegetal.

Orientador: Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira

MANAUS

2010

Ficha Catalográfica
(Catalogação na fonte realizada pela Biblioteca Central - UFAM)

	Nunes, Maria Muniz
N972c	Carvão vegetal como componente de substrato para produção de mudas de castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B.) / Maria Muniz Nunes. - Manaus: UFAM, 2010. 84 f.; il. color. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) — Universidade Federal do Amazonas, 2010. Orientador: Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira 1. Castanheira-do-Brasil 2. Carvão vegetal 3. Produção de mudas de castanheira I. Teixeira, Wenceslau Geraldes II. Universidade Federal do Amazonas III. Título
	CDU 634.575 (043.3)

MARIA MUNIZ NUNES

CARVÃO VEGETAL COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO
PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa* H. B. K..)

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia Tropical da
Universidade Federal do Amazonas, para
obtenção de Título de Mestre na área de
concentração Produção Vegetal, linha de
pesquisa Propriedades e Manejo de Solos
Tropicais.

Aprovada em 22 de março de 2010

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Dr. Luiz Marcelo Brum Rossi, Membro
Embrapa Amazônia Ocidental

Dr. Newton Paulo de Souza Falcão, Membro
Instituto de Pesquisa da Amazônia

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, pela oportunidade de concluir mais um sonho na minha vida, cuidando e provendo tudo o que foi necessário para a conclusão deste projeto.

Aos meus pais por estar sempre presente e, apesar da simplicidade me ensinaram a viver dignamente;

A minha família a quem não canso de agradecer pelo apoio, carinho e pelos momentos felizes em que passamos juntos;

Ao meu orientador professor Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira pela confiança e apoio na realização deste trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical – PPGAT da Universidade Federal do Amazonas pelas orientações disciplinares durante o curso.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pelo apoio logístico para a realização deste trabalho.

A Fazenda Aruanã, pela doação das plântulas de castanheira-do-Brasil.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

As minhas amigas em especial a Francy Mary Galúcio, Luziane Vitor de Souza, Simone Chacon, Deisiane e aos demais colegas pelo apoio e convivência no decorrer do curso.

Aos colegas de laboratório em especial ao Estevão e Taveira pela ajuda nas análises.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram na realização deste trabalho.

AGRADEÇO

RESUMO

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie arbórea nativa da região Amazônica, essa planta constituiu-se no principal produto extrativo da região. Além da potencialidade da espécie para produção de frutos, pode também ser utilizada em reflorestamento. No entanto, o reflorestamento com castanheira-do-Brasil é ainda pequeno, e a principal causa é a falta de um substrato adequado, que reduza o custo da produção de mudas dessa espécie. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do uso de doses de carvão vegetal como componente de substrato para produção de mudas de castanheira-do-Brasil em combinação com solos argiloso e arenoso. O experimento foi conduzido em viveiro do Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizado no km 29 da Rodovia AM 010. Os substratos testados foram terriço (camada de 0 a 20 cm de solo de floresta), solo argiloso e arenoso, da camada abaixo de 50 cm em combinação com doses de 0, 10, 30, 50 e 70% de carvão vegetal, todas as misturas receberam calagem e adubação básica, porém, para inferir sobre o efeito do carvão vegetal, a mistura com 30% de carvão vegetal foi analisada com e sem fertilização. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dez repetições, num esquema fatorial 5x2. As análises de crescimento avaliadas no período de 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias após o transplantio foram: altura diâmetro de colo e aos 240 dias foi realizada a coleta destrutiva para obtenção do peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA), peso da matéria seca do sistema radicular (PSR), relação parte aérea/ sistema radicular (RPAR). Para a caracterização física dos solos foram coletadas cinco amostras em estrutura indeformada e cinco amostras com estrutura deformada, resultante da mistura das doses carvão vegetal. As amostras coletadas foram utilizadas para determinar a densidade, porosidade total e retenção de água no solo e nos substratos. Para a caracterização química foram coletas amostras de solo puro e das combinações com carvão. Os substratos com 30 e 50% de carvão vegetal (arenoso e argiloso) respectivamente, apresentaram maior crescimento das mudas de castanheira-do-Brasil que o crescimento verificado nas mudas em solo de floresta (terriço). A adubação básica no substrato com 30% de carvão, nos dois tipos de solo, não alterou significativamente a produção da massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e a relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz em relação ao substrato sem adubação básica. O uso de carvão vegetal como componente de substratos diminuiu a densidade aparente, aumentou a macroporosidade em solo argiloso e reduziu a macroporosidade em solo arenoso, esta redução proporcionou o aumento da retenção de água.

Palavras chave: 1. Castanheira-do-Brasil 2. Carvão vegetal 3. Produção de mudas.

ABSTRACT

Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) is a tree species native to the Amazon region, this plant was used as a main product of the extractive region. Beyond the capability of the species for fruit production, can also be used in reforestation. However, the plantation with Brazil nut is still small, and the main cause is the lack of a suitable substrate, which reduces the cost of production of seedlings of this species. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of doses of charcoal as a component of substrate for production of Brazil nut seedlings in combination with clay and sandy soils. The experiment was conducted in the experimental nursery of the Embrapa Western Amazon, located at km 29 of Highway AM 010. The substrates used were humus layer (0 to 20 cm of forest soil), clay soil and sandy soil layer below 50 cm in combination with doses of 0, 10, 30, 50 and 70% of charcoal, all mixtures were limed and fertilized, however, to infer about the effect of charcoal, the mixture with 30% charcoal was analyzed with and without fertilization. A “delineamento experimental inteiramente casualizado” (DIC) (experimental delineation completely casualized) with ten repetitions, in a factorial scheme 5x2. Analysis of growth evaluated from 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 and 240 days after transplanting were height and stem diameter at 240 days were collecting destructive to obtain the dry weight of shoot (PMSPA), dry weight of root system (PSR), ratio shoot / root (SRR). For the physical characterization of soil samples were collected from five undisturbed and five samples deformed structure resulting from the mixture of charcoal doses. The samples collected were used to determine the density, porosity and water retention in soil and substrates. For the chemical were collected soil samples pure and combinations of charcoal. The substrates 30 and 50% charcoal (sandy and clay), respectively, showed higher growth of Brazil nut seedlings that the growth seen in seedlings in forest soil (humus). The fertilized substrate with 30% charcoal, in two soil types did not significantly alter the production of the dry mass of shoot, root dry mass and the relationship between dry weight of shoot and root dry mass in relation to the substrate not fertilized. The use of charcoal as a component of substrates decreased density, increased porosity in clay soil and reduced the porosity in sandy soil, this reduction has improved the water retention.

Keywords: 1. Brazil nut 2. Charcoal 3. Seedlings.

Lista de figuras

Figura 1 – Árvore de castanheira-do-Brasil, detalhe da casca e fruto	13
Figura 2 - Desenho esquemático estrutura do carvão vegetal.	23
Figura 3 – Visão geral das mudas de castanheira-do-Brasil em viveiro	27
Figura 4 - Mudas de castanheira-do-Brasil	44
Figura 5- Raízes de mudas de castanheira-do-Brasil	44
Figura 6 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e a densidade do substrato, para substrato argiloso e arenoso.....	56
Figura 7 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e a porosidade do substrato, para substrato argiloso e arenoso.....	56
Figura 8 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e pH para substrato argiloso e arenoso.	61
Figura 9 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de P para substrato argiloso e arenoso	63
Figura 10 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de K para substrato argiloso e arenoso	64
Figura 11 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Ca para substrato argiloso e arenoso	65
Figura 12 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Mg para substratos argiloso e arenoso	66
Figura 13 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Al^{3+} para substrato argiloso e arenoso.....	67
Figura 14 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal acidez potencial ($H+Al\text{ cmol dm}^{-3}$), em substrato argiloso e arenoso.....	67
Figura 15 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Soma de Bases (SB), em substrato argiloso e arenoso.....	68
Figura 16 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Saturação por base (V%), em substrato argiloso e arenoso.....	69
Figura 17 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Saturação por alumínio (m%), em substrato argiloso e arenoso.	69
Figura 18 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Fe para substrato argiloso e arenoso	71

Figura 19 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Zn para substrato argiloso e arenoso	72
Figura 20 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Mn para substrato argiloso e arenoso.	73
Figura 21 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Cobre para substrato argiloso e arenoso	74

Lista de tabela

Tabela 1 – Critérios para interpretação de pH em água (relação 1:2,5; TFSA: H ₂ O).....	22
Tabela 2 – Parâmetros médios de crescimento em altura (H) e diâmetro (D) das mudas de castanheira-do-Brasil.	45
Tabela 3 – Médias do peso de matéria seca e índice de sobrevivência em mudas de castanheira-do-Brasil.	46
Tabela 4 - Granulometria dos horizontes Bw (Latossolo), Bt (Argissolo) e A (Terriço).	47
Tabela 5 – Médias da densidade, percentagem de poros (total, macro e microporosidade) e retenção de água na capacidade de campo.	48
Tabela 6 - Características químicas do carvão vegetal e cinzas.	50
Tabela 7 – Teores de P obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.	51
Tabela 8 - Teores de Ca obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.	52
Tabela 9 - Teores de potássio (K) obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.	53
Tabela 10 - Teores de Magnésio (Mg) obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.	54
Tabela 11 - Médias da densidade, percentagem de porosidade (total, macroporosidade e microporosidade) em substratos (horizonte Bw - argiloso e Bt – arenoso).	55
Tabela 12 - Quantidade média de água retida (m ³ m ⁻³) em função da tensão e carvão vegetal.	58
Tabela 13 – Características químicas de amostras de um horizonte Bw de um Latossolo argiloso e Bt de um Argissolo arenoso, terriço (horizonte A).	59
Tabela 14 - Comparação de médias de pH em H ₂ O para carvão vegetal lavado e não lavado.	60
Tabela 15 - Comparação de médias de pH em H ₂ O para tratamento com 30% de carvão vegetal com e sem calagem e carvão vegetal lavado e não lavado.	61
Tabela 16 – Algumas características químicas em Argissolo e Latossolo nos horizontes (Bt e Bw) antes e após adição de carvão vegetal.	70

Sumário

1.0 INTRODUÇÃO	10
2.0 OBJETIVOS	12
2.1 Geral	12
2.2 Específicos	12
3.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 Caracterização da espécie estudada	13
3.1.1 Taxonomia	13
3.1.2 Distribuição geográfica	14
3.1.3 Silvicultura.....	14
3.2 Substrato para produção de mudas.....	15
3.3 Propriedades físicas do substrato	16
3.3.1 Granulometria	16
3.3.2 Porosidade total.....	17
3.3.3 Disponibilidade de água	19
3.3.4 Densidade do solo	20
3.4 Propriedades químicas do substrato	21
3.4.1 Potencial Hidrogênico (pH) e capacidade de troca de cátion (CTC) do substrato	21
3.5 Uso do carvão vegetal como componente de substrato.....	22
3.5.1 Cinzas de madeira	24
4.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 Coleta das amostras de solo	26
4.2 Preparo do substrato	26
4.4 Análises físicas dos componentes do substrato	28
4.4.1 Granulometria	28
4.4.2 Retenção de água no solo	28
4.4.2.1 Preparo das amostras	28
4.5 Análise química do solo, substrato	30
4.6 Preparo das amostras de carvão e cinzas	31

4.6.1 Caracterização química do carvão vegetal e cinza.....	31
4.6.2 Extração e determinação do fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais (análise do tecido vegetal)	34
4.6.3 Extração e determinação do fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais (análise de carbonato de cálcio)	36
4.6.4 Extração e determinação do fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais (análise de fertilizante orgânico).	37
4.7 Avaliação do crescimento das mudas.....	41
4.8 Análises estatísticas.....	42
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Efeito de diferentes doses de carvão vegetal como componente de substrato no crescimento de mudas de castanheira	43
5.1.1 Avaliação de crescimento em altura e diâmetro	43
5.1.2 Massa de material seco da raiz e da parte aérea.....	45
5.1.3 Efeito da calagem e fertilização fosfatada	46
5.2 Análise granulométrica dos solos (Bt - Argissolo e Bw - Latossolo) e terriço.	47
5.3 Características físicas dos solos nos horizontes (Bt - Argissolo e Bw - Latossolo) em condições naturais (indeformado), peneirado (deformado) e terriço.....	48
5.4 Características químicas do carvão vegetal e cinzas por diferentes métodos.....	49
5.4.1 Comparação entre métodos de extração	50
5.5 Efeito do substrato	54
5.5.1 Efeito do carvão vegetal nas características físicas dos substratos	54
5.5.2 Retenção de água.....	57
5.6 Características químicas de Argissolo e Latossolo nos horizontes (Bt e Bw), terriço.....	59
5.7 Características químicas do carvão lavado	59
5.7.1 Efeito do carvão vegetal e cinzas no pH dos substratos.....	60
5.7.2 Efeito da calagem no pH dos substratos (arenoso e argiloso) com 30% de carvão vegetal	61
5.7.3 Efeito do carvão vegetal na disponibilidade de macronutrientes.....	62
5.8 Micronutrientes no solo.....	70
5.9 Efeito do carvão vegetal na disponibilidade de micronutrientes	70
5.9.1 Ferro	71
5.9.2 Zinco.....	72
5.9.3 Manganês	73

5.9.4 Cobre	74
6 Conclusão	75
7.0 REFERÊNCIAS.....	76

1.0 INTRODUÇÃO

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* B. H. K) é uma espécie arbórea nativa da Amazônia, pertence à família Lecythidaceae, produtora de sementes oleaginosas e ricas em proteínas de boa qualidade. Após a decadência do ciclo econômico da borracha (*Hevea brasiliensis*), essa planta constituiu-se no principal produto extrativo da região. Além da potencialidade da espécie para produção de frutos, pode também ser utilizada em reflorestamento, com rotações estimadas entre 30 e 40 anos e perspectivas de produção de madeira acima de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Yared et al., 1988). A rusticidade, crescimento relativamente rápido e características adequadas da madeira tornam-na uma das espécies mais importantes para programa de reflorestamento na Amazônia (Yared, 1990).

No entanto, o reflorestamento com castanheira-do-Brasil é ainda pequeno, devido principalmente ao pouco conhecimento sobre a produção de mudas pelos produtores, o que tem ocasionado longo período no viveiro e baixa sobrevivência de mudas, elevando o custo de produção.

Um dos fatores que pode incentivar o reflorestamento é a produção de mudas de qualidade a baixo custo. Já foi economicamente constatado que vale apenas investir na produção de mudas vegetais de qualidade. Com isso, o cultivo em recipiente, antes aplicado apenas em espécies florestais e hortícolas (frutíferas, olerícolas e ornamentais), está cada vez mais sendo utilizada também na propagação de plantas de grandes lavouras, como fumo e café.

Seguindo uma tendência internacional, também no Brasil o tema “substrato para plantas” cresce em interesse e importância. O uso de substrato está relacionado ao cultivo fora do solo *in situ*, realizada muitas vezes em ambiente protegido e empregando, em geral, volumes limitados contidos em recipientes.

No estado do Amazonas os produtores de mudas, tanto de espécies frutíferas como florestais, utilizam, em geral, o horizonte orgânico (camada de 0-15 cm de profundidade) dos solos recobertos por mata de capoeira ou floresta primária (chamado localmente de terriço), para a preparação do substrato em viveiros.

Com a meta de atingir aproximadamente 20 milhões de hectares em área degradada, o Governo Federal lançou o programa “1 Bilhão de Árvores para a Amazônia”, considerado o maior programa de reflorestamento e recomposição florestal do planeta. Neste contexto, a

utilização do solo de floresta (terriço) traria consequências ambientais e econômicas a toda sociedade.

Entretanto, a necessidade de produzir mudas e, ao mesmo tempo o compromisso em proteger o ambiente, motivou a busca por um substrato que substituísse o componente solo de floresta (terriço) e que atendesse aos requisitos básicos de um bom substrato.

Uma tendência geral de compor substratos para produção de mudas tem sido a adição de fontes de matéria orgânica, a qual contribui não só para o fornecimento de nutrientes, mas também para as características físicas do meio de cultivo. Nas regiões orizícolas, a casca de arroz carbonizada é muito utilizada como componente de substrato para produção de mudas, dada a sua grande disponibilidade, aliada à necessidade de dar-lhe um destino econômico e ecologicamente viável (KÄMPF, 2000; SILVEIRA et al., 2002).

No estado do Amazonas não há disponibilidade deste produto e entre os materiais que podem ser utilizados como substrato está o carvão vegetal. O Brasil é responsável por 38,5% da produção mundial de carvão vegetal. No Processo de fabricação cerca de 15% do carvão produzido são transformados em finos, que não possuem valor no mercado (BENITES et al., 2009).

A grande disponibilidade deste material e as características físicas desejadas, alta porosidade, cerca de 70 a 80% do volume do carvão vegetal é formado por poros, baixa densidade, variando de 0,3 a 0,4 kg dm⁻³ (Silva et al., 2007) e estrutura química que confere ao carvão uma grande persistência no solo, levaram pesquisadores a testar o efeito positivo do carvão como componente de substrato para produção de mudas. Em estudo com aplicação de carvão vegetal, comparado a fertilização com fontes orgânicas e minerais em cultivos de banana (*Musa paradisiaca*) e guaraná (*Paulinia cupana*), Steiner et al. (2007) mostrou que aplicação de carvão aumentou os valores de pH, nitrogênio (N) total e os teores trocáveis de sódio (Na), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu), e também reduziu os teores de alumínio trocável no solo de bananal.

Souza et al. (2006), testando substratos alternativos na formação de mudas de caju (*Arrabidaea chica* H e B) observaram que carvão mais esterco de galinha promoveram maior crescimento das mudas que um substrato comercial. Não obstante, Madari et al., (2006), analisando o efeito do carvão vegetal no crescimento do arroz de terras altas (cultivar Primavera) observaram que as plantas em solo com carvão tiveram um crescimento inicial maior que as plantas em solo sem a adição de carvão. Medeiros Junior (2007) analisando o efeito do carvão vegetal na produtividade da berinjela (*Solanum melongena* L.)

em Iranduba – Am, observou que a adição de 5 ton ha⁻¹ de carvão aumentou em mais de 100% a produtividade em relação ao tratamento controle.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito do uso de doses de carvão vegetal como componente de substrato para produção de mudas de castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) em combinação com solos argilosos e arenosos.

2.2 Específicos

1. Determinar efeitos de doses de carvão vegetal como componente do substrato no estabelecimento, crescimento e produção de matéria seca (MS) de mudas de castanheira-do-Brasil;
2. Avaliar a influência dos tratamentos nas características químicas e físicas dos substratos;
3. Caracterizar o carvão vegetal e cinzas de madeira quanto as propriedades químicas e físicas;
4. Verificar o efeito da fertilização do substrato no estabelecimento, crescimento e produção de matéria seca (MS) de mudas de castanheira-do-Brasil.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização da espécie estudada

3.1.1 Taxonomia

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) pertence à família Lecythidaceae e foi descrita por Humbolt e Bonpland em 1808. É uma espécie arbórea de grande porte, podendo medir de 50 a 60 m de altura, com copa dominante, fuste reto e cilíndrico, apresentando casca fendilhada de coloração pardo acinzentada (Figura 1). Apresenta sistema radicular pivotante, profundo, com raízes secundárias muito abundantes e desenvolvidas, podendo explorar volume de solo em torno de 10.000 m³.

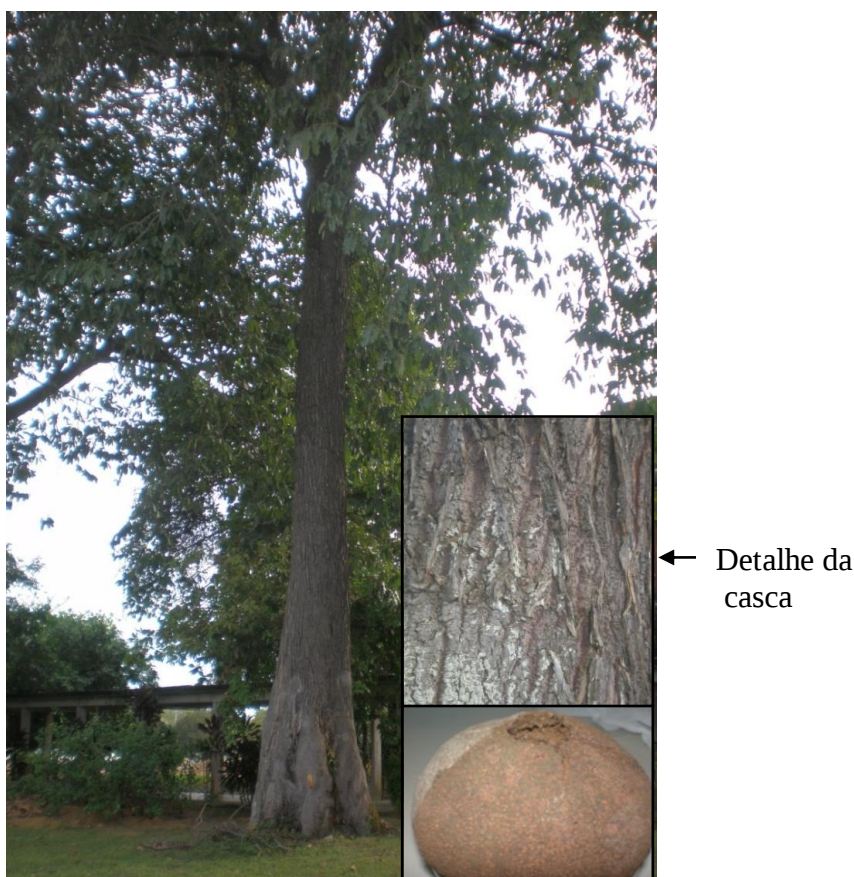


Figura 1 – Árvore de castanheira-do-Brasil, detalhe da casca e fruto

Suas folhas apresentam pecíolo de 5 a 6 cm de comprimento, forma de calha, lâmina coriácea de base aguda e margens onduladas entre 25 a 35 cm de comprimento e 8 a 12 cm de largura. A inflorescência é uma panícula de espigas de flores zigomórficas com 2 a 3 sépalas e 5 pétalas, ovário ínfero com 3 a 6 lóculos e 16 a 25 óvulos na base do septo. O fruto é um pixídio de forma esférica e subglobosa, com massa de 1 kg em média (CAVALCANTE, 1976; BRASIL, 1984).

Trata-se de uma espécie semidecídua, heliófila, característica da mata alta de terra firme, sendo planta “social”, ocorrendo em determinados locais com grande frequência (LORENZI, 2000). A castanheira-do-Brasil desenvolve-se bem em regiões de clima quente e úmido, sendo que as maiores concentrações da espécie ocorrem em regiões onde predominam os tipos climáticos tropicais chuvosos, com a ocorrência de períodos de estiagem definidos (MÜLLER et al., 1995).

3.1.2 Distribuição geográfica

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.), também denominada castanha-do-Pará, ocorre nos Estados brasileiros do Acre, Amazonas, Pará, Roraima, e Rondônia, bem como em boa parte do Maranhão, Tocantins e do Mato Grosso. Sua madeira é de ótima qualidade para construção civil e naval, bem como para esteios e obras externas (LOUREIRO et al., 1979).

3.1.3 Silvicultura

As características silviculturais da castanheira a qualificam como uma das mais promissoras espécies nativas para reflorestamento em áreas abertas da Amazônia, considerando-se seu crescimento, forma, derrama natural, produção volumétrica, ausência de problemas fitossanitários e ampla base genética para o estabelecimento das plantações. Yared et al., (1993) em medição efetuada em Manaus, AM, com 40 anos verificaram 23,9 m de altura total e 69,1 cm de diâmetro.

A castanheira-do-Brasil é também uma espécie de grande importância para o ecossistema amazônico, apresentando grande especificidade quanto aos agentes polinizadores, dispersores e quanto às exigências para regeneração natural. Deve ser considerada como espécie prioritária para preservação do germoplasma, devido à riqueza nutricional de suas sementes e o grande potencial para uso na composição de agroecossistema por pequenos produtores da região amazônica (CAMARGO, 1997).

Conforme Locatelli et al. (2005), em sistemas agroflorestais as plantas consorciadas apresentam fuste, copa e bifurcação com características comerciais boas, sendo um fator importante para espécies implantadas em consórcios.

3.2 Substrato para produção de mudas

Substrato é um preparo artificial de materiais, de origem orgânica e/ou mineral, misturados ou não, utilizados para o desenvolvimento de mudas em embalagens, enraizamento de estacas e germinação de sementes. É composto por uma parte sólida e outra porosa, que é preenchida por água e ar. O substrato promove o suporte das plantas e regula a disponibilidade de ar, água e nutrientes, por isso é importante adequar as características físicas e químicas na sua composição para alcançar as melhores condições para o crescimento das mudas (FERMINO, 1996).

O solo apresenta gênese, perfil e densidade peculiares com processos de sua formação, estando intimamente relacionado com a paisagem e as condições ambientais circundantes (Kämpf, 2000). É fato a ser considerado, também, que as plantas quando cultivadas no solo *in situ* têm a sua disposição volumes de solo de dimensões praticamente ilimitadas para explorar. No cultivo em recipientes, independente do substrato utilizado, observa-se uma limitação de espaço para expansão das raízes. A limitação do volume exige que o substrato seja capaz de manter um volume de água facilmente disponível às plantas sem, no entanto, comprometer a concentração de oxigênio no meio (BUNT, 1961).

A produção em recipientes requer controle preciso de água e nutrientes para ser bem sucedida. Assim, na hora de selecionar os componentes para compor um substrato, torna-se importante a escolha de materiais com adequadas características físicas para um dado recipiente e um determinado manejo e, para aquela espécie em questão.

Um substrato é a mistura de um ou mais componentes formulados e manipulados para atingir propriedades físicas e químicas desejadas. Não havendo um substrato ótimo para todas as plantas cultivadas em recipientes, as proporções das misturas são as mais diversas (FONTENO et al., 1981).

No entanto, o resultado da mistura não é a soma de seus componentes. Fonteno (1996) afirma que o mais importante na análise de um substrato não é saber do que ele é composto e sim que características este meio apresenta, embora seja necessário conhecer as propriedades dos componentes (MINER, 1994).

3.3 Propriedades físicas do substrato

3.3.1 Granulometria

O solo é constituído por material mineral, orgânico e por poros que, estão preenchidos com água e/ou ar. A proporção desses constituintes, bem como do espaço poroso varia muito dependendo do tipo e condições do solo (Anjos et al., 1994; Peña et al., 1996; De Maria et al., 1999). A composição granulométrica está relacionada apenas com a parte mineral do solo e é representada pela proporção relativa das frações granulométricas que compõem a terra fina (frações de diâmetro igual ou inferior a 2 mm). As frações granulométricas são classificadas de acordo com o diâmetro das partículas (Lemos e Santos, 1996), possibilitando a repartição das mesmas segundo determinados limites de intervalo de tamanho em classes: areia grossa, areia fina, silte e argila. Há inúmeras proposições para esses limites, contudo as mais difundidas na pedologia são: escala de Atterberg; do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e; no Brasil, a da Embrapa. Assim, conhecendo-se a proporção das frações de um determinado solo pode-se enquadrá-las em diferentes classes texturais: arenosa, argilosa, siltosa, entre outras.

O conhecimento das frações granulométricas do solo é de grande importância para os usuários de levantamentos pedológicos, pois muitas das suas propriedades estão a elas relacionadas, tais como infiltração de água, retenção de nutrientes, suscetibilidade à erosão, etc. Além disso, as frações granulométricas são muito estáveis não sofrendo variações importantes com o manejo (OLIVEIRA et al., 1992).

Durante a exploração agrícola um solo pode sofrer alterações nos atributos químicos (Tognon et al., 1997), nos físicos (Silveira, 2001) e nos biológicos (Albuquerque e Reinert, 2001), no entanto, a proporção dos teores de areia, de silte e de argila sofre pouca ou quase nenhuma alteração. Ressalta-se que em determinadas situações tal afirmação não se aplica, como é o caso de alguns Argissolos com elevado gradiente textural e com horizonte A pouco espesso. Nesse caso, a aração pode provocar alteração na composição granulométrica, em uma determinada camada do solo, pois mescla o horizonte A com o horizonte subsequente, o qual pode possuir teores mais elevados de argila.

3.3.2 Porosidade total

A porosidade total é definida como a diferença entre o volume total e o volume de sólidos de uma amostra. É uma característica que tende a sofrer modificações ao longo do cultivo pela acomodação das partículas. O valor de 85% ($0,85 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para a porosidade total (De Boodt e Verdonck, 1972) é uma referência para um bom desempenho de substratos usados em recipientes. Filho e Santos (2004) relatam que, em substratos utilizados no cultivo de plantas, a porosidade total favorável à produção não deve ultrapassar os 85%. Para Carrijo et al., (2002) um substrato usado no cultivo de hortaliças pode possuir uma porosidade total acima de 85% do volume.

Os valores referenciais para o percentual Fonteno (1989) define porosidade total como o volume do meio não ocupado pela fração sólida e que pode ser quantificado pela medida da quantidade de água retida na saturação (0 kPa).

O ambiente físico ao redor das raízes em recipientes (volume relativo de ar, água e sólidos), está baseado na relação entre o estado energético da água e conteúdo de água no meio. Esta relação é um reflexo da distribuição do tamanho de poros do meio (MILKS et al., 1989).

Handreck e Black (1999) afirmam que o espaço poroso total é importante, mais a forma e o tamanho dos poros são ainda mais importantes. Mais importante do que o volume de poros totais é a relação entre o volume de água e de ar presente no substrato. Esta relação é determinada pelo tamanho dos poros e pela forma como estes se interligam. Martinez (2002) e Handreck e Black (1999) classificam de microporos ou poros capilares aqueles de diâmetro inferior a $30 \mu\text{m}$ e que permanecem com água, e de macroporos aqueles de diâmetro superior a $30 \mu\text{m}$, ocupados por ar, na capacidade de recipiente.

Segundo Martinez (2002) e Burés (1997), a maioria dos materiais utilizados apresenta poros internos além daqueles externos, formados entre as partículas. Os poros internos podem estar fechados, sem contato com o meio externo como geralmente ocorre com os materiais sintéticos, isopor e, então, não interferirem na porosidade ou, estarem abertos, como nos materiais orgânicos, turfas, formando uma rede de canais com o meio externo.

Os poros internos, geralmente de tamanho reduzido, são capazes de reter água a tensões mais elevadas que a tensão na amostra saturada, determinada pela altura do recipiente. Assim um substrato com partículas grandes e com poros internos abertos

assegura, por um lado, água disponível a tensões muito baixas e altos níveis de aeração (BURÉS, 1997).

Segundo Miner (1994), para substratos com partículas de dimensões compreendidas entre 1 e 10 mm, tanto a porosidade quanto a quantidade de água retida variam pouco com o tamanho da partícula. Partículas com tamanho menor que 1 mm causam um brusco decréscimo da porosidade e aumento da retenção de água. Handreck e Black (1999) demonstram que o aumento da proporção de partículas com tamanho de 0,1 e 0,25 e menores, em substrato a base de casca de *Pinus*, diminui a drenagem da água, aumentando o volume de água retida pelo substrato e reduzindo a disponibilidade de ar.

No entanto, para Burés (1997), a observação não é válida como regra geral para todos os substratos porque outras características das partículas, como rugosidade e estrutura interna, definem o comportamento físico do substrato. Assim, as múltiplas combinações possíveis de partículas distintas e sua disposição explicam a complexidade da caracterização física, e o tamanho das partículas é só um fator a mais.

A porosidade também pode diminuir quando se aumenta a compactação de dado material. Quando se pressiona uma amostra de turfa ou se coloca um peso sobre ela, observa-se um aumento da densidade e uma diminuição da porosidade. Outros materiais apresentam elasticidade e voltam a sua forma original, quando cessada a força de compressão. Outros, ainda, apresentam deformações permanentes, como a vermiculita, ou se desagregam como a perlita (BURÉS, 1997).

A compactação pode levar a uma diminuição da porosidade total e da capacidade de recipiente, mas observa-se um impacto muito maior na proporção entre macro e microporos. À medida que as partículas ficam muito mais próximas uma das outras, aumenta a proporção de microporos, diminuindo o espaço de aeração e aumentando a retenção de água.

Segundo Stone et al., 2002, a compactação do solo é a compressão do solo não-saturado, provocando uma reorganização estrutural das partículas e de seus agregados, resultando em aumento da densidade do solo e redução na macroporosidade e, conseqüentemente, na porosidade total.

3.3.3 Disponibilidade de água

A disponibilidade de água de um substrato fornece informações sobre a habilidade para reter e liberar água e o volume de água disponível às plantas sob baixas tensões (BUNT, 1961). Weihmeyer e Hendrickson (1931) definiram a capacidade de campo como a quantidade de água retida pelo solo após drenagem do seu excesso, quando a velocidade do movimento descendente praticamente cessa, o que geralmente ocorre dois a três dias após chuva ou irrigação pesada em solos permeáveis de estrutura e textura uniformes.

Como o desenvolvimento das teorias do movimento da água do solo e com as técnicas experimentais mais precisas, o conceito de capacidade de campo, como originalmente definido, tem sido considerado arbitrário e não uma propriedade intrínseca do solo (Reichardt, 1985). Porém a despeito de todas as objeções, o conceito de capacidade de campo é considerado por muitos como um critério prático e útil para definir o limite superior de água que um solo pode reter para uso vegetal (HILLEL, 1971 b).

Cirino e Guerra (1994) em trabalho sobre a utilização das relações energia/umidade, na caracterização físico-hídrica dos solos estudados, concluíram que as tensões que reproduzem a umidade à capacidade de campo foram de 0,98 kPa para solos arenosos e de 6,17 kPa para solos argilosos. Aceita-se como valores ótimos entre 20 e 30% ($0,20$ a $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

Para os mesmos autores água tamponante é o volume de água liberado entre 50 e 100 cm de tensão (6,17 e 9,8 kPa). Estima-se que 4 a 10% ($0,04$ e $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) seja um valor de referência. O volume liberado acima desta tensão é considerado água dificilmente disponível, remanescente ou residual.

A curva de retenção de água para substratos é análoga ao nível de umidade normalmente mantido em cultivos em recipientes, sob estufa, situando entre 10 e 100 cm de tensão (0,98 e 9,8 kPa) (FONTENO et al., 1981).

3.3.4 Densidade do solo

A densidade do solo (“bulk density”), também chamada densidade aparente, expressa a relação entre massa e o volume de uma amostra de solo. De maneira geral, considera-se como referência para substrato valores de densidade seca entre 400 e 500 kg m⁻³ (BUNT, 1973).

O substrato que é indicado para recipientes de 15 cm de altura não necessariamente apresenta uma boa performance em recipientes menores que 5 cm (Milks et al., 1989). Assim, quanto menor o recipiente menor deve ser a densidade do substrato nele utilizado. Kämpf (2000) recomenda utilizar substratos com densidade de 100 a 300 kg m⁻³ para bandejas multicelulares, de 250 a 400 kg m⁻³ para vasos de até 15 cm de altura, de 300 a 500 kg m⁻³ para vasos de 20 a 30 cm, e de 500 a 800 kg m⁻³ para vasos maiores que 30 cm. Martinez (2002) sugere valores de densidade de substrato entre 500 e 750 kg m⁻³ para recipientes colocados ao ar livre e, menores de 150 kg m⁻³ para cultivos em estufa.

O valor da densidade é importante para interpretação de outras características, como porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água, além da interpretação da salinidade e da quantidade de nutrientes.

Milks et al. (1989b) acrescentam que a mudança nas variáveis que caracterizam o estado hídrico do substrato (porosidade total, espaço de aeração, água disponível e indisponível e capacidade de recipiente) é correlacionada com práticas culturais, pela mudança de determinadas variáveis de “intensidade” como a densidade de volume e distribuição do tamanho de partículas. Segundo Fonteno (1993) a modificação da densidade tem efeito leve sobre a porosidade total, moderado sobre a capacidade de recipiente e grande efeito sobre a água facilmente disponível.

A densidade de um substrato, dentro do recipiente, depende da pressão aplicada no momento do preenchimento, ou quando do plantio, do peso das partículas do substrato ao caírem umas sobre as outras, da umidade presente nas partículas ou efeito da irrigação. Segundo Kämpf et al. (1999) estes fatores podem resultar em diferentes densidades de empacotamento (“packing density”), definida por Burés et al. (1995) como uma modificação na relação massa do substrato/volume efetivamente observado no recipiente em um dado momento.

Assim, uma amostra de substrato pode ocupar maior ou menor volume segundo seu grau de compactação (Martinez, 2002). O resultado pode variar desde totalmente solto até um máximo de adensamento, de maneira que os valores de densidade da amostra e das

demais características se encontram em pontos diferentes entre estes dois extremos da densidade.

3.4 Propriedades químicas do substrato

A própria composição dos substratos pode interferir diretamente no teor de nutrientes do mesmo, pois as matérias primas utilizadas na formulação podem com o passar de um pequeno período de tempo, dispor nutrientes para a planta, quando estas vão se decompondo ou se transformando, e essa mudança pode ou não ser benéfica à muda que irá se formar. Segundo Fachinello et al., (1995), os substratos atualmente utilizados, apresentam uma série de vantagens, mais também, algumas desvantagens podendo o substrato ser adequado para algumas plantas e não para outras.

Penteado (1995) cita a utilização a utilização de substratos com baixa coesão e aderência, que prejudicam o transporte de mudas em torrão, por se desprendem mais facilmente das raízes expondo-as, e no caso inverso, a dificuldade de retirada do substrato aderido à raiz, provocar a perda de grande parte das radículas.

3.4.1 Potencial Hidrogênico (pH) e capacidade de troca de cátion (CTC) do substrato

O potencial hidrogênico (pH) é uma variável que indica a atividade do íon H^+ presente na composição da solução de um substrato. Segundo Quaggio et al. (2001), o pH corresponde ao hidrogênio dissociado existente em solução, em equilíbrio com a acidez da fase sólida do solo e outros substratos. A CTC é a quantidade de cargas eletrostáticas de superfície negativamente carregadas de um substrato por unidade de peso ou volume. Essas cargas são balanceadas por cátions (nutrientes de carga positiva) que ficam retidos em forma trocável nessas superfícies, em equilíbrio dinâmico com a solução (Handreck e Black, 1999; Fonteno, 1996; Rowel, 1994).

Os efeitos da reação do solo (pH) sobre as plantas podem ser diretos ou indiretos. Dentre os efeitos diretos, destacam-se a disponibilidade dos elementos essenciais à nutrição das plantas. Os efeitos indiretos do pH sobre as plantas estão relacionados com propriedades químicas que ocorrem em solos e que influenciam diretamente o crescimento das plantas.

O total de nutrientes se torna mais ou menos disponível de acordo com o pH do meio e do tipo de matéria prima utilizada na formulação de um substrato. Segundo Kämpf (2000), o pH e a CTC, são as características químicas mais importantes dos substratos.

Um dos grandes problemas encontrados nas plantas que utilizam recipientes é a lixiviação dos nutrientes pela água de irrigação, sendo assim, a fonte de nutrientes e a CTC do substrato, devem ser analisados em conjunto, pois uma depende da outra para uma melhor formulação. A Tabela 1 apresenta os critérios para interpretação de análise de pH do solo.

Tabela 1 – Critérios para interpretação de pH em água (relação 1:2,5; TFSA: H₂O)

Classificação química						
Acidez			Neutro		Alcalinidade	
Muito elevada < 4,5	Elevada 4,5-5,0	Média 5,1-6,0	Fraca 6,1-6,9	7,0	Fraca 7,1-7,8	Elevada >7,8

Fonte: Ribeiro et al., (Eds), 1999.

3.5 Uso do carvão vegetal como componente de substrato

O carvão vegetal é um material orgânico com elevado teor de carbono, concentrado por efeito do aquecimento. Dependendo da temperatura de carbonização, o carvão pode apresentar diferente composição (Trompowsky et al., 2005). Em contraponto ao elevado teor de carbono, o carvão vegetal apresenta baixo teor de nitrogênio, o que resulta em uma elevada relação C:N. O oxigênio é o segundo elemento mais abundante e o seu teor está inversamente relacionado à temperatura final de carbonização praticada. Existem ainda as cinzas, que são formadas por elementos minerais oriundos principalmente de cascas. Nas cinzas, predominam o potássio, o cálcio, o fósforo e o sódio. A composição das cinzas é fortemente relacionada à química dos solos onde se desenvolveu a madeira original.

O carvão apresenta uma estrutura porosa, uma vez que a água e os compostos voláteis contidos na madeira foram eliminados, deixando espaços vazios. Cerca de 70 a 80% do volume do carvão vegetal é formado por poros. Logo, o carvão apresenta baixa densidade, variando de 0,3 a 0,4 kg dm⁻³. Quimicamente o carvão é formado por uma estrutura policíclica aromática com alto grau de condensação (figura 2).

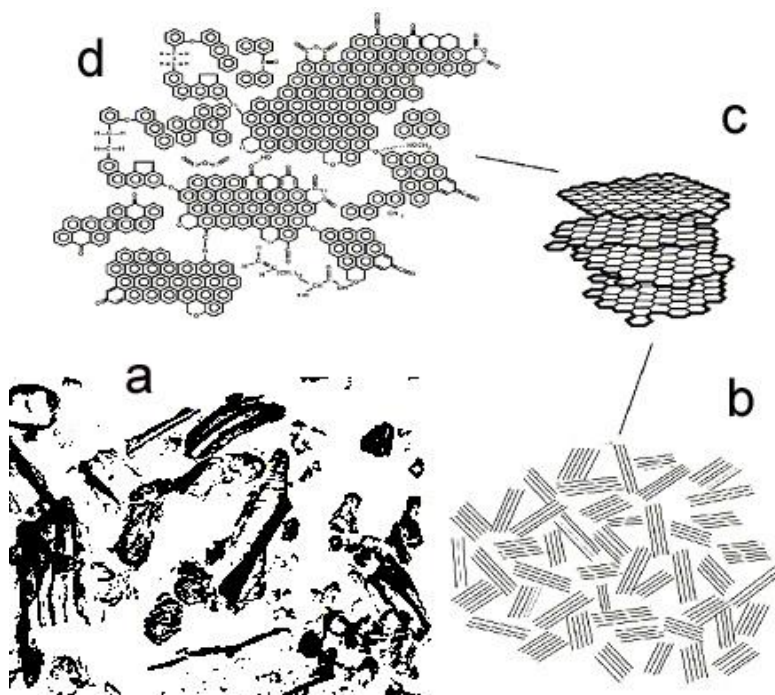


Figura 2 - Desenho esquemático mostrando: (a) microfotografia eletrônica de fragmentos de carvão encontrados em amostra de solos (Skjemstad , 1996); (b) estrutura lamelar do carvão; (c) aspecto quase grafítico das lamelas de carvão e (d) estrutura aromática policíclica condensada de carvão vegetal (BENITES et al., 2009).

A composição e a estrutura química do carvão conferem a ele uma grande persistência no solo. Em estudos de datação de fragmentos de carvão encontrados em solos, é comum a observação de amostras com milhares de anos (Gouveia et al., 1999).

A composição química do carvão vegetal varia de acordo com o material de origem. Na Amazônia, Lehmann et al. (2003 b) determinaram teores de 708 g C kg⁻¹; 10,9 g N kg⁻¹; 6,8 g P kg⁻¹; 0,32 g Mg kg⁻¹; 1,3 g Ca kg⁻¹ e 0,89 g K kg⁻¹. Dada sua característica de alta estabilidade e reatividade, o carvão vegetal apresenta um grande potencial de uso como condicionante de solos tropicais fortemente intemperizados, onde a fração argila apresenta baixa CTC (STEINER et al., 2004).

A adição de carvão vegetal ao solo aumenta o nível de matéria orgânica e da capacidade de retenção física e química de nutrientes, reduzindo perdas por lixiviação e aumentando a disponibilidade de nutrientes às plantas (GLASSER, 2002).

Testando substratos alternativos na formação de mudas, Souza et al. (2006), observaram que as mudas de crajiú (*Arrabidaea chica* H&B) tiveram um maior crescimento no substrato carvão com terriço e que o carvão mais esterco de galinha na proporção 1:1

(v/v) pode ser usado em substituição a substratos como Plantmax com resultados similares, e com a vantagem de reduzir custos.

Arruda et al. (2007), observaram que o substrato comercial Plantimax e o esterco de galinha + carvão, proporcionaram a maior porcentagem de enraizamento das estacas de guaraná (*Paullinia cupana* Duke).

Medeiros (2007), analisando o efeito da interação do carvão vegetal e a adubação potássica observou que apenas 5 ton ha⁻¹ de carvão sem adubação potássica foi capaz de aumentar consideravelmente a produtividade chegando a aproximadamente 100% de aumento quando comparada com o tratamento controle (0-0).

Resultados positivos com a utilização do carvão vegetal incorporado ao solo também foram encontrados por Lehmann et al., (2002) que observaram aumento de 17% na produção de biomassa de arroz, o que atribuíram ao efeito positivo na disponibilidade de P, K. Oguntude et al. (2004) também observaram significativo aumento de produtividade da cultura do milho. Da mesma forma, Topliantz et al. (2005), em trabalho desenvolvido com feijão de corda (*Vigna unguiculata sesquipedalis*) em solo de baixa fertilidade natural obteve significativo aumento de produtividade com a aplicação de carvão vegetal misturado com raspas de mandioca.

3.5.1 Cinzas de madeira

A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca obtidos quando da combustão completa do material vegetal (COTTA, 1996). Segundo Pérez (2004), um carvão vegetal com baixo teor de voláteis terá um maior teor de cinzas. Por outro lado, o teor de cinzas no carvão pode ser acrescentado quando parte do carbono fixo, parte do carbono que permanece relativamente intacta (Meira, 2002), é queimado pelo efeito das altas temperaturas e alto tempo de residência.

A composição química da cinza dependendo de sua origem pode apresentar elevados teores de K, P, Ca e Mg, que podem ser utilizados como suplemento nutricional dependendo da necessidade apresentada pelo solo e das exigências da cultura (SEVERINO 2006).

Experimento realizado por Oguntude et al., (2004) mostrou aumento do potássio disponível ao adicionar resíduos de carvão vegetal, devido às cinzas que estão aderidas e que inevitavelmente são adicionadas ao solo.

Oliveira (1996) analisando o cupinzeiro e a cinza de madeira verificou que as cinzas de plantas ou cupinzeiros do gênero *Nasutitermes* podem ser utilizados como adubos

alternativos para a produção de hortaliças nos solos pobres e ácidos de terra firme da Amazônia. E afirma que as cinzas, por serem mais ricas em nutrientes, podem proporcionar maiores produtividades e são produzidas diariamente em fogões de lenhas nas pequenas propriedades de caboclos no interior da Amazônia.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em viveiro do Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizado no km 29 da Rodovia AM 010, nas coordenadas 3°8' S e 59°52' W, Município de Manaus (AM).

4.1 Coleta das amostras de solo

Os substratos, argiloso - Latossolo Amarelo (Bw) e arenoso - Argissolo (Bt) foram coletados da camada subsuperficial (abaixo de 50 cm) num barranco no km 27, da Rodovia AM-010 e próximo dentro da Estação Experimental da Embrapa, respectivamente. O substrato solo de floresta (terriço) foi coletado numa área de capoeira situado também na Estação Experimental da Embrapa.

Dos locais selecionados foram coletadas amostras com estrutura natural (amostras indeformadas) e do solo destinado à formação dos substratos foi retirado uma quantidade adicional para análises químicas e físicas (amostras deformadas).

4.2 Preparo do substrato

Em um galpão do Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, os subsolos foram peneirados e misturados as doses de carvão vegetal correspondente a 0, 10, 30, 50 e 70 partes em volume de carvão por volume de solo (v/v). Estes foram misturados ao solo e uniformizados. Um recipiente graduado foi usado para medir os volumes acima indicado. Todos os tratamentos receberam uma adubação básica com fósforo ($0,2 \text{ kg m}^{-3}$ de substrato) na forma de superfosfato triplo (40 % P_2O_5) e calagem na dose de 1 kg m^{-3} de substrato, na forma de calcário dolomítico. A homogeneização dos componentes do substrato foi feita manualmente.

Para inferir sobre o efeito da calagem e adubação nas propriedades químicas do substrato, repetiu-se o tratamento com 30% de carvão vegetal (Latossolo e Argissolo) sem calagem e sem fósforo.

No experimento foram utilizadas mudas de castanheira-do-Brasil com 120 dias de germinadas, em “ponto de palito”, provenientes da Fazenda Aruanã, km-215 da rodovia AM-010 e transplantadas para sacos plásticos com 2 L de capacidade, preenchidos com substratos nos diferentes tratamentos. O experimento foi conduzido em viveiro e os recipientes ficaram sobre bancada dispostos aleatoriamente (Figura 3).



Figura 3 – Visão geral das mudas de castanheira-do-Brasil em viveiro

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) com dez repetições, combinados em esquema fatorial 5x2, totalizando 130 mudas, que estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição dos tratamentos utilizados para avaliação do crescimento de mudas de castanheira-do-Brasil (*Bertolletia excelsa*).

Tratamentos		Componentes do substrato		Identificação
	Material de solo	Carvão vegetal (%)	Adubação e calagem	
Latossolo Bw (argiloso)				
T0	Horizonte Bw	0	-	L
T1	Horizonte Bw	10	+	L + 10% +
T2	Horizonte Bw	30	+	L + 30% +
T3	Horizonte Bw	50	+	L + 50%+
T4	Horizonte Bw	70	+	L + 70% +
T5	Horizonte Bw	30	-	L + 30% -
Argissolo Bt (arenoso)				
T6	Horizonte Bt	10	+	A + 10% +
T7	Horizonte Bt	30	+	A + 30% +
T8	Horizonte Bt	50	+	A + 50% +
T9	Horizonte Bt	70	+	A + 70% +
T10	Horizonte Bt	30	-	A + 30% -
T11	Horizonte Bt	0	-	A
Terriço (arenoso)				
T12	Horizonte A	0	-	Ter

4.3 Análises físicas dos componentes do substrato

4.3.1 Granulometria

As análises granulométricas foram feitas para separação por tamanho das frações minerais do solo. O método utilizado foi o de dispersão em agitador de alta rotação com a utilização de dispersante químico (NaOH 1N) e peneiramento para separação das frações areia, sendo considerada a fração areia grossa a fração retida na peneira de malha de 1,00 mm e fração areia fina, a fração retida na peneira de malha 0,052 mm. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 1999) e a fração silte foi estimada por diferença. Foram feitas análise de argila em água (ADA) e calculado o grau de floculação (GF), os procedimento e cálculos para estes parâmetros são também apresentados em Embrapa (1997).

4.3.2 Retenção de água no solo

Coletaram-se cinco amostras indeformadas para caracterização hídrica dos horizontes Bw do Latossolo (argiloso) e Bt do Argissolo (arenoso). Para retirar as amostras utilizaram-se anéis volumétricos com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, conforme Blake e Hartge (1986). Para as amostras deformadas foram preenchidos também cinco cilindros com as amostras do solo peneirado e também com substrato preparado com as diferentes doses de carvão vegetal.

4.3.2.1 Preparo das amostras

No Laboratório de Análises de Solos e Plantas Embrapa Amazônia Ocidental foi retirado o excesso de solo das amostras coletadas em anéis volumétricos (amostras indeformadas), de maneira que o solo amostrado ocupasse apenas o volume interno do anel. Em seguida, foram preenchidos os cilindros com as amostras deformadas. Uma tela permeável foi colocada no fundo dos anéis para permitir o fluxo de água e ar e impedir a perda de solo. Os anéis foram colocados em bandeja com água para saturar, conforme a necessidade os cilindros (amostras deformadas) recebiam mais substrato até que o volume fosse completado, após a saturação, as amostras foram submetidas aos seguintes tensões $\psi = 0; 10; 32; 63$ e 100 cm de coluna d'água equivalentes a 0; 0,98; 3,10; 6,17; 9,80 kPa, através

de mesa de tensão conforme Klute (1986). Após entrarem em equilíbrio com a tensão, as amostras foram pesadas para a determinação da massa de solo úmido (m, g), em seguida resaturadas e colocadas no aparelho até atingirem o próximo ponto de equilíbrio. Após a aplicação da tensão de 100 cm de coluna d'água as amostras foram secas em estufa.

4.3.2.2 Densidade aparente do solo

Terminadas as séries de leitura da retenção de água no solo, as amostraram foram levadas à estufa onde foram secas a 105 °C por um período de 24 horas, para determinação do conteúdo de massa do solo seco (mss, g) e assim obter a densidade do solo (ρ_s) conforme Blake e Hartge (1986) dada pela seguinte expressão:

$$\rho_s \equiv \left(\frac{mss}{vt} \right) \text{ onde;}$$

ρ_s = densidade do solo (g cm⁻³);

mss = massa do solo seco (g);

vt = volume total (cm³).

4.3.2.3 Porosidade total

A porosidade total foi obtida com base no teor de umidade na tensão 0 cm, aplicadas nas amostras saturadas na mesa de tensão. Aceitando que à tensão 0 todos os poros estão cheios de água.

4.3.2.4 Microporosidade do solo

A microporosidade foi obtida pela retenção de água na tensão 60 cm de coluna d'água. Foi aceito que nesta tensão todos os macroporos foram drenados, sendo o restante da água contida nas amostras, retida nos meso e microporos.

4.3.2.5 Macroporosidade do solo

A macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total e microporosidade.

Macroporosidade (%) = Porosidade Total (%) – Microporosidade (%).

4.3.2.6 Capacidade de campo

O teor de umidade na capacidade de campo (cc) foi calculado pela relação entre o volume máximo de líquido imóvel retido no meio poroso e o volume total do solo. Esses valores variam de 8% (solos arenosos) e 30% (solos argilosos), que correspondem a tensões de 10 cm de coluna d'água (0,98 pF) para substrato arenoso e 60 cm de coluna d'água (6,17 pF) para substrato argiloso.

4.4 Análise química do solo, substrato

O solo foi coletado diretamente em saco plástico dos horizontes Bt – Argissolo e Bw – Latossolo.

Para o preparo dos substratos, o solo foi seco ao ar, em seguida passado em peneira com 5 mm de abertura.

Para os tratamentos foram medidos, com recipiente graduado, um volume de 22 litros, sendo 19,8 L de solo e 2,2 L de carvão (para 10% de carvão); 15,4 L de solo e 6,6 L de carvão (para 30% de carvão); 11 L de solo e 11 L de carvão (para 50% de carvão) e 6,6 L de solo e 15,4 L de carvão (70% de carvão).

As amostras de solo e substratos foram embaladas, identificadas e enviadas em triplicata para análise química, No Laboratório de Análises de Solos e Plantas Embrapa Amazônia Ocidental

As análises químicas foram: pH determinado em água e em solução KCl 1 mol L⁻¹ numa relação solo:solução 1:2,5; fósforo disponível (P), sódio trocável (Na), potássio disponível (K), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu) determinados através do extrator Mehlich-1; cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg) extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹; acidez potencial (H + Al) extraídos com solução acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; matéria orgânica (M.O.) e carbono (C) foram determinados pelo método de Walkley-Black , metodologia para análise de solo (EMBRAPA 1999).

4.5 Preparo das amostras de carvão e cinzas

O carvão vegetal utilizado é de madeira amazônica, resultado de apreensão feita pelo IPAAM e doado à Embrapa Amazônia Ocidental. Comumente na região amazônica o carvão vegetal é feito no tradicional forno rabo quente que atinge temperaturas de cerca de 400 °C e com a mistura de diversas madeiras (SWAMI, 2009).

As amostras de carvão vegetal utilizadas para preparar os substratos, foram selecionadas aleatoriamente de um galpão no campo experimental da Embrapa. De onde foram levadas para trituração, que foi feito com rolo compactador, depois de triturado foram padronizados por peneiramento com 5 mm de abertura de malha, sendo utilizada somente a fração > 5 mm.

Para ter informação mais precisa se as cinzas estavam ou não influenciando nos resultados das análises químicas dos substratos, amostras de carvão foram lavadas por aproximadamente por duas horas em água corrente, para posterior análise.

Para obtenção das cinzas foram separadas amostras aleatórias de carvão vegetal que foi queimado sobre piso cimentado, ao ar livre, após a queima, as amostras de cinzas foram coletadas manualmente, usando uma pá de plástico e pincel. O material foi passado em peneira 2,0 mm e coletado em bandeja de alumínio, em seguida passado em peneira 0,5 mm, para eliminação dos resíduos de carvão.

Os materiais foram embalados em saco plástico, devidamente etiquetados, e enviados, em triplicata, para análise química.

4.5.1 Caracterização química do carvão vegetal e cinza

Foram retiradas amostras do carvão vegetal e cinzas com três repetições, para serem analisados como solo, tecido vegetal, carbonato de cálcio e fertilizante orgânico, totalizando 12 amostras de cada material. Nessa caracterização foram determinados: fósforo disponível e potássio trocável extraídos por Mehlich 1; cálcio e magnésio trocáveis extraídos por KCl 1mol L⁻¹ (metodologia utilizada para análise de solo); fósforo, cálcio, potássio e magnésio total extraído por Digestão Nitroperclórica (metodologia utilizada para análise de tecido vegetal) e Ca e Mg extraídos pelo método quelatométrico de EDTA (metodologia utilizada para análise do calcário). As análises para as três metodologias citadas foram feitas No Laboratório de Análises de Solos e Plantas Embrapa Amazônia Ocidental.

4.5.1.1 Extração e determinação do fósforo disponível (Metodologia para análise de solo)

Solução de Mehlich 1

Para a extração do P foram adicionados 43 mL de ácido clorídrico P.A. ($d=1,19$) e 6,9 mL de ácido sulfúrico P.A. ($d=1,84$) em 5 litros de água destilada, contidos em balão aferido de 10 litros. a solução foi agitada. Em seguida o volume foi completado com água destilada.

A determinação foi feita pipetando-se, sem filtrar, 25 mL do extrato, que foi passado para recipiente plástico de aproximadamente 30 mL. Em seguida foi pipetado, exatamente, 5 mL desse extrato e colocado em erlenmeyer de 125 mL. À solução extratora foram adicionados 10 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída. Em seguida, juntou-se uma medida calibrada (± 30 mg) de ácido ascórbico em pó, agitou-se por aproximadamente dois minutos no agitador horizontal circular. Deixou-se desenvolver a cor durante uma hora, para então, efetuar a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho, comprimento de onda de 660 nm.

Cálculo

O cálculo do P foi feito por meio da reta padrão de acordo com a expressão:

$$mg \text{ de P/dm}^3 \text{ na TFSA} = \text{leitura} \times 10Fp$$

4.5.1.2 Extração e determinação do potássio trocável

A extração do potássio trocável foi feita pela solução de Mehlich 1 (Embrapa 1997), a determinação foi feita pelo método direto do fotômetro de chama.

Solução de Mehlich 1

A extração foi feita adicionando-se 43 mL de ácido clorídrico P.A. ($d=1,19$) e 6,9 mL de ácido sulfúrico P.A. ($d=1,84$) em 5 litros de água destilada, contidos em balão aferido de 10 L. a solução foi agitada. Em seguida completou-se o volume com água destilada.

Para a determinação do K foi utilizado parte do extrato (20 mL) para determinação do fósforo. Antes de proceder à leitura da amostra, foi selecionado o filtro próprio para potássio. Aferiu-se o fotômetro com água destilada para o ponto zero e com a solução

padrão de 0,2 mmol de $K^+ L^{-1}$ para o valor correspondente ao centro da escala. O extrato foi levado ao fotômetro de chama onde se efetuou a leitura na escala do aparelho. O resultado foi anotado.

O cálculo do teor de potássio trocável na amostra é dado pela expressão:

$$mg \text{ de } K^+ / dm^3 \text{ na TFSA} = \text{leitura} \times F \times 390$$

4.5.1.3 Extração e determinação do cálcio e magnésio trocáveis

A extração do cálcio e magnésio trocáveis foram feitas pela solução de KCl 1 mol L^{-1} (Embrapa 1998), a determinação foi feita pelo método complexométrico com o emprego do EDTA.

Solução KCl 1mol L^{-1}

Para a extração colocou-se 10 cm^3 da amostra em erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 100 mL de solução de KCl 1M. A solução foi agitada durante 5 minutos em agitador horizontal circular, com capacidade para 55 amostras. Deixou-se decantar durante uma noite, depois de desfazer os montículos que se formaram no fundo dos erlenmeyers.

Para a determinação foi pipetado, sem filtrar, 25 mL do extrato e colocado em erlenmeyer de 125 mL, foi adicionado 4 mL do coquetel de cianeto de potássio, trietanolamina e solução-tampão. Juntou-se ± 30 mg de ácido ascórbico (com medida calibrada para este fim) e três gotas do indicador negro de eriocromo-T. O indicador foi colocado imediatamente antes do início da titulação. Titulou-se com sal dissódico de EDTA 0,0125M. Esperou-se a viragem do róseo para o azul puro, em seguida foi verificado o volume de EDTA gastos na titulação. O resultado foi anotado.

Os cálculos foram feitos por meio da fórmula:

$$cmolc \text{ de } Ca^{2+} + Mg^{2+} / dm^3 \text{ de amostra} = ml \text{ de EDTA } 0,0125M \text{ gastos na titulação.}$$

4.5.2 Extração e determinação do fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais (método do tecido vegetal)

4.5.2.1 Extração e determinação do fósforo total

O fósforo total foi extraído por solução Nitroperclórica (Embrapa, 1997), a determinação foi feita por espectrofotometria com amarelo de vanadato.

Solução Nitroperclórica

Para a extração do P, Ca, K e Mg foram transferidos 0,5 g de material para tubo digestor, em seguida foram adicionados 4,0 mL de ácido nítrico, deixando em repouso por aproximadamente 12 horas (digestão prévia). A mistura foi aquecida gradativamente até 120 °C, permanecendo nesta temperatura até que cessasse totalmente o desprendimento de NO² (vapor castanho). Nesta etapa, a matéria orgânica encontra-se parcialmente digerida e o volume do ácido nítrico reduzido à metade do volume inicial. Adicionou-se 2,0 mL de ácido perclórico, e a temperatura foi aumentada gradativamente para 180°C, evitando neste processo o aquecimento elevado para não haver perdas, principalmente, de fósforo e enxofre. A mistura foi colocada em pequenos funis, tampando o tubo digestor, a fim de não só evitar possíveis perdas de HClO₄, como também a secagem do extrato, a temperatura foi mantida até se obter fumos brancos de HClO₄ e o extrato se apresentar incolor. Deixou-se esfriar em seguida o volume foi completado para 25 mL com água destilada.

Na determinação pipetou-se 5,0 mL do extrato da solubilização nítrico-perclórica, em seguida o volume foi completado com água destilada para 20 mL, foi adicionado 4 mL da mistura dos reagentes (H₂SO₄, (NH₄)₆.MoO₂₄ e (NH₄)₂VO₃), a leitura foi efetuada, após cinco minutos, no espectrômetro a 420 nm, construindo a curva analítica e estimando a concentração de P no extrato solubilizado.

O cálculo do P foi feito por meio da fórmula:

$$P \text{ g kg}^{-1} = \text{leitura em mg L}^{-1} \times 0,2.$$

4.5.2.2 Extração e determinação do potássio total

O potássio total foi extraído por solução Nitroperclórica (Embrapa, 1997) citado no item 4.6.2.1, a determinação foi feita por espectrofotometria de chama de emissão.

Para a determinação o extrato obtido na solubilização nítrico-perclórica foi diluído na proporção 1:9, ou seja, foi usado uma parte de extrato para nove partes de água destilada. O fotômetro foi calibrado com os padrões 0 e 50 mg L⁻¹ K, respectivamente, para as leituras 0 e 100, em seguida procedeu-se as leituras dos demais padrões, quando o aparelho estabilizou, procedeu-se a leitura da curva analítica obtendo a respectiva equação e a leitura das amostras.

O cálculo do K foi feito por meio da fórmula:

$$K \text{ g kg}^{-1} = \text{leitura em mg L}^{-1} \times 0,5.$$

4.5.2.3 Extração e determinação do cálcio e magnésio total

Cálcio e magnésio totais foram extraídos por solução Nitroperclórica (Embrapa, 1997) citado no item 4.6.2.1, a determinação foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

Pipetou-se 1,0 mL da solução do extrato obtido através da digestão nítrico-perclórica, para copo de polipropileno, adicionou-se água destilada até completar o volume de 20 mL (alíquota A), retirou-se 1,0 mL da alíquota A para tubo de ensaio e adicionou-se 4,0 mL da solução de lantânio a 1,14g L⁻¹, em seguida foi determinado Ca e Mg no espectrômetro de absorção atômica.

Os cálculos foram feitos por meio das fórmulas:

$$Ca \text{ g kg}^{-1} = \text{leitura mg L}^{-1} \times 5$$

$$Mg \text{ g kg}^{-1} = \text{leitura mg L}^{-1} \times 5$$

4.5.3 Extração e determinação do fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais (análise de carbonato de cálcio)

4.5.3.1 Extração e determinação do fósforo e potássio totais

A mesma utilizada para análise de tecido vegetal.

4.5.3.2 Extração e determinação do cálcio

O cálcio foi extraído pelo método quelatométrico de EDTA (Embrapa, 1999).

Método quelatométrico de EDTA

Transferiu-se 0,5 g da amostra para copo de 250 mL, a amostra foi umedecida com água destilada e nela foi adicionada lentamente 20 mL da solução de HCl (1+1), 2 mL da solução de HNO₃ (1+1) e coberto com vidro de relógio. A mistura foi fervida suavemente durante 10 minutos, e depois de fria foi transferida para balão de 250 mL, o volume foi completado com água destilada e colocada para decantar.

Para determinação foi transferido 10 mL do extrato para erlenmeyer de 250 mL, onde foi adicionado 100 mL de água destilada, 5 mL da solução KOH-KCN e 15 ± 1 mg do indicador calceína, agitando após a adição de cada reagente. A titulação do cálcio foi feita imediatamente com a solução de EDTA 0,010 M, agitando continuamente até a mudança permanente da cor do indicador: a calceína muda de verde fluorescente para rosa, foi anotado o volume (V₁) da solução de EDTA consumido. Em seguida foi desenvolvida uma prova em branco e anotado o volume consumido (V₂).

Cálculo

O cálculo de CaO foi feito por meio da fórmula:

$$\% \text{ CaO} = 280,4 \times (V_1 - V_2) \cdot M$$

onde:

V₁ = volume (mL) da solução de EDTA gasto na titulação.

V₂ = volume (mL) da solução de EDTA gasto na titulação da prova em branco.

M = molaridade da solução de EDTA.

4.5.3.3 Extração e determinação do magnésio

O magnésio foi extraído pelo método quelatométrico de EDTA (Embrapa, 1997).

Para extração:

Utiliza o mesmo extrato preparado para extração do cálcio

Para determinação:

Transferiu-se 10 mL do extrato para erlenmeyer de 250ml, adicionou-se 100 mL de água destilada, 5ml da solução tampão de pH 10 e 10 gotas da solução de eriocromo preto T, agitando após a adição de cada reagente. O cálcio mais magnésio foram titulados imediatamente com a solução de EDTA 0,010 M até a viragem do indicador, da cor vermelha vinho para azul puro e estável. Foi anotado o volume (V3) da solução de EDTA consumido. Em seguida foi desenvolvido uma prova em branco e anotado o volume (V4) consumido.

Cálculo

O cálculo de MgO foi feito por meio da fórmula:

$$\%MgO = 201,6[(V3-V4) - (V1-V2)]$$

onde:

V1 = volume (mL) da solução de EDTA gasto na titulação do cálcio.

V2 = volume (mL) da solução de EDTA gasto na titulação da prova em branco do cálcio.

V3 = volume (mL) da solução de EDTA gasto na titulação do cálcio mais magnésio.

V4 = volume (mL) da solução da prova em branco do cálcio mais magnésio.

4.5.4 Extração e determinação do fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais (método do fertilizante orgânico).

Laboratório de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo.

Solução Nitroperclórica

Fósforo (P2O5), potássio (K2O), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) totais, extraídos pelo método do ataque dos ácidos Nitroperclórica (IN 26, 2007), a determinação foi feita pelo método gravimétrico de Quimociac .

4.5.4.1 Extração e determinação do fósforo total

Para a extração do fósforo pesou-se 1,0 g da amostra, com aproximação de 0,1 mg (G), o material foi transferido para bquer de 250 mL, em seguida foi adicionado 25 mL de ácido nítrico concentrado e fervido durante 45 minutos, para oxidar a matéria orgânica. Depois de frio foi adicionado 20 mL de ácido perclórico, a mistura foi fervida até cessar o desprendimento de vapores castanhos (NO₂) e a solução clarear. Adicionou-se 50 mL de água destilada e procedeu-se fervura por 5 minutos. Deixou-se esfriar e transferiu-se para balão volumétrico de 250 mL, o volume foi completado com água destilada e feita a homogeneização, em seguida foi filtrado em papel de porosidade média, seco. Desprezaram-se os primeiros 20 a 30 mL do material filtrado, separando-se um volume de filtrado límpido, suficiente para a determinação.

Para a determinação foi transferido para balão volumétrico de 50 mL, um volume (A) do extrato que continha de 1,0 a 2,0 mg de P₂O₅ (25/Gg _ A _ 625/Gg, sendo G = peso em gramas e g = garantia em %). O extrato foi adicionado a todos os balões 20 mL de água destilada e 15 mL da solução vanadomolibdica, o volume foi completado com água destilada e agitado. Aguardou-se 10 minutos para ler a absorbância das soluções no espectrofotômetro a 400 nm, empregando como prova em branco a solução que contém 20 ppm de P₂O₅ (o aparelho foi zerado com essa solução).

Cálculo

Calculou-se a concentração em ppm de P₂O₅ na solução de leitura por meio da curva de calibração.

O calculo da porcentagem de P₂O₅ total na amostra foi dada pela expressão:

$$\% P_2O_5 = \frac{1,25C}{AG}, \text{ onde :}$$

C = concentração em ppm de P₂O₅ na solução de leitura.

A = volume da alíquota tomada do extrato, em mL

G = massa inicial da amostra, em grama.

4.5.4.2 Extração e determinação do potássio total

Para a extração do K pesou-se 8 gramas da amostra, com aproximação de 0,1 mg, e transferido para bquer de 100 mL, adicionou-se 50 mL de água e logo após fervido por 10

minutos. Depois de fria, a mistura foi transferida para balão volumétrico e homogeneizado, em seguida passado em papel filtro de porosidade média.

Para a determinação pipetou-se 5 mL do extrato acima e transferiu-se para balão volumétrico de 250 mL, o volume foi completado com água destilada e homogeneizado, em seguida foi feito o ajuste do fotômetro de chama em "80" (valor de escala), com a solução padrão de 16 ppm de K_2O , usando água destilada para zerar o aparelho. A medida o valor da emissão do potássio foi feita na solução diluída da amostra e a leitura foi registrada em L.

Cálculo

O cálculo da percentagem de K_2O , foi dada pela expressão:

$$\% K_2O = LVb/1000G$$

Onde:

Vb = Volume do balão utilizado na primeira avolumação (balão 1).

L = leitura da solução diluída da amostra em valor de escala.

G = massa inicial da amostra, em grama.

4.5.4.3 Extração e determinação do cálcio total

Para a extração do cálcio pesou-se uma massa de 0,5 g da amostra, com aproximação de 0,1 mg (G), para béquer de 150 mL. Adicionou-se 10 mL de HCl concentrado, que foi coberto com vidro de relógio, ferveu-se e evaporou-se em chapa aquecedora até próximo à secura, sem deixar queimar o resíduo. Tomando-se uma massa acima de 1g (produtos com baixos teores), o volume foi aumentado proporcionalmente ao volume de HCl concentrado, o resíduo foi dissolvido com 20 mL de solução HCl (1+5), fervido ligeiramente e filtrado em papel de filtro de porosidade média, recebendo o filtrado em um balão volumétrico de 100 mL. Em seguida o béquer e o filtrado foram lavados com 5 porções de 10 mL de água destilada e o volume completado com água destilada, foi desenvolvida uma prova em branco.

Na determinação foi tomada uma alíquota (A) do extrato contendo, no máximo, 0,5 mg de Ca ($A \leq 5/Gg$ sendo G = massa inicial da amostra, em grama e g = garantia em %), e transferida para balão volumétrico de 25 mL, juntou-se 5 mL da solução de óxido de lantânio e completou-se o volume com água destilada. Em seguida o aparelho foi colocado nas condições exigidas para a determinação do cálcio (lâmpada de Ca, comprimento de onda de 422,7 nm ou linhas secundárias e chama adequada, conforme manual do equipamento). O

aparelho foi calibrado com o branco e os padrões, em seguida o queimador foi lavado com água destilada verificando a leitura do zero com o branco a cada seis leituras. A leitura das soluções das amostras foi feita lavando o queimador após cada leitura.

Cálculos

O cálculo da percentagem de cálcio foi feita por meio da concentração encontrada pela expressão:

$$\%Ca = \frac{0,25CD}{AG}, \text{ onde :}$$

C = concentração em ppm de cálcio na solução final

D = fator de diluição do extrato (se não diluir D = 1; diluindo 10:100, D =10)

G = massa inicial da amostra, em grama

A = volume da alíquota tomada para a solução de leitura, em mL.

4.5.4.4 Extração e determinação do magnésio total

Para a extração do magnésio pesou-se uma massa de 0,5 g da amostra, com aproximação de 0,1 mg (G), para béquer de 150 mL. Adicionou-se 10 mL de HCl concentrado, que foi coberto com vidro de relógio, ferveu-se e evaporou-se em chapa aquecedora até próximo à secura, sem deixar queimar o resíduo. Tomando-se uma massa acima de 1g (produtos com baixos teores), o volume foi aumentado proporcionalmente ao volume de HCl concentrado, o resíduo foi dissolvido com 20 mL de solução HCl (1+5), fervido ligeiramente e filtrado em papel de filtro de porosidade média, recebendo o filtrado em um balão volumétrico de 100 mL. Em seguida o béquer e o filtrado foram lavados com 5 porções de 10 mL de água destilada e o volume completado com água destilada, foi desenvolvida uma prova em branco.

Para a determinação foi tomada uma alíquota (A) do extrato contendo, no máximo, 60 microgramas de Mg ($A \leq 0,6 / Gg$ sendo G = massa inicial da amostra, em grama e g = garantia em %), adicionou-se 5 mL da solução de óxido de lantânio e o volume foi completado com água destilada. Em seguida o aparelho foi colocado nas condições exigidas para a determinação do magnésio (lâmpada de Mg, comprimento de onda de 285,2 nm ou linhas secundárias e chama adequada, conforme manual do equipamento). O aparelho foi calibrado com o branco e os padrões, em seguida o queimador foi lavado com água destilada verificando a leitura do zero com o branco a cada seis leituras. A leitura das soluções das amostras foram feitas lavando o queimador após cada leitura.

Cálculos

O cálculo da percentagem de magnésio foi feita por meio da concentração encontrada pela expressão:

$$\%Mg = \frac{0,25CD}{AG}, \text{ onde :}$$

C = concentração em ppm (m/v) de magnésio na solução da leitura

D = fator de diluição do extrato (se não diluir D = 1; diluindo 5:100, D =20)

G = massa inicial da amostra, em grama

A = alíquota utilizada na diluição do extrato em mL

4.6 Avaliação do crescimento das mudas

A sobrevivência foi avaliada segundo Carvalho et al. (2000) considerando mortalidade o nº total de plantas no início do experimento – nº total de plantas sobreviventes x 100/ nº total de plantas (início do experimento).

As características de crescimento avaliadas foram: altura da parte aérea, diâmetro do colo (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR), Posteriormente calculada a relação parte aérea/raiz (PA/R).

A altura da parte aérea foi medida mensalmente, a partir do primeiro mês e se estendeu até o nono mês, quando as plantas estão prontas para ir ao plantio definitivo, no campo. As medidas foram feitas com auxílio de uma régua graduada, considerando como altura, a distância entre o caule junto ao substrato (colete) até o ápice do mesmo (cm). O diâmetro do colo foi obtido utilizando um paquímetro, medindo-se rente à superfície do substrato, na altura da base da planta, medido a partir do quinto mês, as medidas foram tomadas em milímetro (mm).

Feito a tomada de dados de altura e diâmetro, as plantas foram cortadas ao nível do solo sendo retiradas as raízes por meio de lavagem do conteúdo dos sacos plásticos e posteriormente, separadas as partes: folhas, caule e raiz. O material foi lavado com água desmineralizada e acondicionado em sacos de papel, etiquetado e identificado, depois colocados em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 75°C, até atingir peso constante.

4.7 Análises estatísticas

Parâmetros da planta:

Os resultados de crescimento em altura, diâmetro e produção de matéria seca da parte aérea e raiz foram submetidos à análise de variância havendo significância, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5%, considerando significativas as diferenças com $p < 0,05$ (Pimentel Gomes, 1990).

Parâmetros físicos do solo:

A densidade aparente dos substratos, porosidade total, macro e microporosidade, foram submetidos à análise de variância havendo significância as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5%, posteriormente submetidas à análise de regressão. A partir dos dados ajustados pelas respectivas equações de regressão, foram estimadas as doses de carvão vegetal que proporcionaram as melhores respostas das variáveis estudadas.

Parâmetros químicos do solo:

O pH, teores de macro e micronutrientes, soma de bases, acidez potencial, saturação por alumínio e saturação por bases foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5%, posteriormente submetidas à análise de regressão. A partir dos dados ajustados pelas respectivas equações de regressão, foram estimadas as doses de carvão vegetal que proporcionaram as melhores respostas das variáveis estudadas.

Para a escolha das equações de regressão foram testados os modelos linear, quadrático e cúbico pelo Teste F, escolhendo-se aquele com significância maior que 95% ($< 0,05$) e, no caso de todos serem significativos, optou-se pelo modelo de maior índice de determinação (R^2). Utilizou-se para esta análise o Programa R (R Development Core team, 2008).

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito de diferentes doses de carvão vegetal como componente de substrato no crescimento de mudas de castanheira

5.1.1 Avaliação de crescimento em altura e diâmetro

Na avaliação de crescimento em altura (Tabela 2), realizado aos 60 dias, as mudas não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos e a testemunha (terriço). Nessa fase, devido à espessura muito fina dos caules das plântulas, não foi medido o diâmetro de colo, que só passou a ser medido aos 120 dias. Na segunda medição, aos 90 dias, observou-se que os tratamentos, substrato argiloso + 50% de carvão vegetal, substrato argiloso + 30% de carvão sem calagem e sem adubação e o tratamento substrato arenoso + 30% de carvão sem calagem e adubação, apresentaram mudas maiores que os demais. Aos 120 dias, essa tendência continuou tanto para o crescimento em altura como em diâmetro. Na última medição, aos 240 dias, o tratamento substrato argiloso + 50% de carvão (T3), mostrou maior crescimento em altura e diâmetro, porém não diferenciou estatisticamente dos tratamentos substrato arenoso + 30% de carvão, sem adubação básica (T10) e substrato argiloso + 30% de carvão, sem adubação básica (T5). O maior crescimento em altura e diâmetro das mudas nos tratamentos T10 e T5 evidenciaram que os substratos apresentaram nutrientes suficientes para suprir o crescimento das mudas, não havendo necessidade de fertilização.

Os três tratamentos que se destacaram em altura e diâmetro (T3, T10 e T5) não mostraram diferença estatística em relação à testemunha (terriço). Provavelmente isso aconteceu, devido ao crescimento inicial lento das castanheiras.

Em estudo feito com arroz de terra alta, Madari et al., (2006) observaram que as plantas tiveram um crescimento inicial maior em solo com carvão que as plantas em solo sem a adição de carvão.



Figura 4 - Mudras de castanheira-do-Brasil, aos 240 dias, em substrato solo de floresta (terriço) à esquerda e substrato argiloso com 30% de carvão vegetal (direita).



Figura 5- Raízes de mudras de castanheira-do-Brasil, aos 240 dias, em substrato solo de floresta (terriço) à esquerda e substrato argiloso com 30% de carvão vegetal (direita).

Durante todo o período de avaliação, as mudras do tratamento em substrato arenoso sem carvão vegetal e sem adubação básica (T11) e substrato arenoso com 10% de carvão e com adubação básica (T6), mostraram-se inferiores aos demais tratamentos, apresentando a relação H/D fora da faixa considerada ideal (CARNEIRO, 1995).

Tabela 2 – Parâmetros médios de crescimento em altura (H) e diâmetro (D) das mudas de castanheira-do-Brasil.

Tratamentos	H	H	H	D	H	D
	60 Dias cm	90 Dias cm	120 Dias cm	mm	240 Dias cm	mm
T3 (Latossolo + 50% de carvão)	12,4	18,8	21,7	5,7	26,2a	7,1a
T10(Argissolo + 30% de carvão) - *	10,5	15,5	18,5	4,8	24,5a	7,4a
T5 (Latossolo + 30% de carvão) - *	13,4	18,0	21,2	5,3	24,1a	7,1a
T8 (Argissolo + 70% de carvão)	10,7	13,23	17,5	4,6	22,6ab	6,0ab
T12 (Terriço)	8,9	11,2	14,1	3,7	21,0ab	4,8ab
T9 (Argissolo + 50% de carvão)	9,8	12,7	16,7	4,3	20,7ab	5,6ab
T4 (Latossolo + 70% de carvão)	11,0	14,2	16,5	4,4	19,4ab	5,3ab
T2 (Latossolo + 30% de carvão) + *	10,4	12,9	15,9	4,4	19,2ab	4,9ab
T0 (Latossolo + 0% de carvão)	9,9	13,4	14,7	4,0	17,7ab	4,9ab
T1 (Latossolo + 10% de carvão)	9,4	12,9	14,4	3,3	16,7ab	3,9ab
T7 (Argissolo + 30% de carvão) + *	8,4	11,2	13,3	3,9	16,4ab	4,7ab
T6 (Argissolo + 10% de carvão)	7,8	8,1	9,12	2,2	11,4bc	2,6bc
T11(Argissolo + 70% de carvão)	4,8	4,9	4,9	0,5	5,7c	0,6c

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

* (+ com calagem e com adubação, - sem calagem e sem adubação)

5.1.2 Massa de material seco da raiz e da parte aérea

Pela Tabela 3 percebe-se que os tratamentos substrato argiloso + 50% de carvão (T3), substrato arenoso + 30% de carvão, sem adubação básica (T10) e substrato argiloso + 30% de carvão, sem adubação básica (T5) produziram mudas com maior peso de matéria seca da parte aérea. Para matéria seca de raiz, o tratamento com substrato argiloso e 50% de carvão (T3) foi superior aos demais. Esses resultados concordam com os obtidos por Camargo (1997), que observou maior massa de material seco da raiz em mudas de castanheira-do-Brasil usando substratos com palha de arroz carbonizada, e com os encontrado por Arruda (2001) na produção de mudas de nó-de-cachorro.

Quando se compara os tratamentos com a testemunha (terriço), percebe-se que o terriço produziu menor quantidade de matéria seca, tanto da parte aérea quanto de raiz, porém a relação raiz/parte aérea foi maior.

Carneiro (1995) recomenda que as raízes devam ser densas e a parte radicular e aérea têm que estar em correta proporção. A adequada relação, segundo este autor, foi considerada de 0,20 a 0,33, bem inferior aos resultados obtidos neste trabalho. Entretanto, Mexal e Dougherty (1981), demonstraram a importância da razão entre peso seco de raízes e da parte aérea em mudas florestais, obtendo que a sobrevivência e o crescimento das mudas foram

maiores à medida que os valores desta razão aumentaram até 0,6. Portanto, de acordo com esses autores, todos os tratamentos (com exceção do substrato arenoso sem adição de carvão, que apresentou valor igual a 0,11) deste estudo apresentaram valores adequados para esse parâmetro, mostrando equilíbrio no desenvolvimento da raiz em relação à parte aérea de mudas de castanheira-do-Brasil.

Tabela 3 – Médias do peso de matéria seca e índice de sobrevivência em mudas de castanheira-do-Brasil.

TRATAMENTO	MS PA	MS Raiz	RELAÇÃO Raiz/PA	Sobrevivência %
	-----g-----			
T3 (Subs. argiloso + 50% de carvão)	5,86a	12,98a	0,47ab	90
T10(Subs. arenoso + 30% de carvão) -	5,61a	11,15ab	0,54ab	100
T5 (Subs. argiloso + 30% de carvão)	5,53a	12,14ab	0,47ab	100
T8 (Subs. arenoso + 50% de carvão)	4,73ab	7,75abc	0,57ab	90
T12 (Terriço)	4,62ab	4,85abc	0,81a	80
T9 (Subs. arenoso + 70% de carvão)	4,34ab	8,81abc	0,44ab	80
T7 (Subs. arenoso + 30% de carvão) +	4,31ab	7,60abc	0,45ab	70
T1 (Subs. argiloso + 10% de carvão)	3,88abc	8,48abc	0,43ab	70
T4 (Subs. argiloso + 70% de carvão)	3,86abc	8,28abc	0,40ab	90
T2 (Subs. argiloso + 30% de carvão) +	3,28abc	8,11abc	0,34 b	70
T0 (Subs. argiloso + 0% de carvão)	3,04abc	7,4 abc	0,35 b	70
T6 (Subs. arenoso + 10% de carvão)	1,75 bc	3,88 bc	0,36 b	50
T11(Subs. arenoso + 0% de carvão)	0,51 c	0,48 c	0,20 b	10

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

5.1.3 Efeito da calagem e fertilização fosfatada

Analisando-se o efeito da adição de calcário e fósforo, verificou-se que essa prática não alterou significativamente o crescimento em altura, o acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e a relação massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (MSPA/MSR), nos dois tipos de solo componentes dos substratos estudados. Também não foi verificada diferença estatística em relação aos valores de pH. Esses resultados comprovam a qualidade do carvão vegetal como componente de substrato, dispensando a fertilização e correção de acidez.

Tabela 4 – Análise de acúmulo de massa em mudas de castanheira-do-Brasil em substratos com e sem fertilização.

Tratamento	MSPA	MSR	MSPA/MSR
T5 (Subs. argiloso + 30% de carvão) + fertilização	5,53a	12,14a	0,47a
T2 (Subs. argiloso + 30% de carvão) - fertilização	3,28a	8,11a	0,34a
T10 (Subs. arenoso + 30% de carvão) + fertilização	5,61a	11,15a	0,54a
T7 (Subs. arenoso + 30% de carvão) - fertilização	4,31a	7,60a	0,45a

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

5.2 Análise granulométrica dos solos (Bt - Argissolo e Bw - Latossolo) e terriço.

A análise granulométrica (Tabela 4) mostrou 70,5% de argila, 15,6% de silte e 13,9% de areia para o substrato do horizonte Bw (Latossolo), 24,6% de argila, 11,2% de silte e 64,2% de areia para o horizonte Bt (Argissolo) e 56,9% de argila, 32,0% de silte e 11,1% de areia para o horizonte A (terriço). Pela classificação textural triangular estes solos são respectivamente de textura muito argilosa, franco argiloso arenosa e argilosa (LEMOS E SANTOS, 1996).

Tabela 4 - Granulometria dos horizontes Bw (Latossolo), Bt (Argissolo) e A (Terriço).

Solo	Argila <0,002 (mm)	Silte 0,05 – 0,002 (mm) -----g kg ⁻¹ -----	Areia fina	Areia grossa
Horizonte Bw	705	Latossolo	49	90
		156		
Horizonte Bt	246	Argissolo	510	132
		112		
Horizonte A	569	Terriço	85	26
		320		

5.3 Características físicas dos solos nos horizontes (Bt - Argissolo e Bw - Latossolo) em condições naturais (indeformado), peneirado (deformado) e terriço.

Pela Tabela 5 percebe-se que as estruturas indeformadas, nos dois tipos de solo estudado, apresentaram maior densidade que a deformada, não se verificou diferenças estatísticas na porosidade total entre as amostras indeformadas e deformadas. Entretanto, houve aumento na macroporosidade e redução da microporosidade, nos dois tipos de solo, porém, o solo arenoso manteve a quantidade de água retida na capacidade de campo (tensão 10 cm), o solo argiloso apresentou diferença na capacidade de retenção de água (tensão 60 cm), com maior retenção na estrutura indeformada.

Tabela 5 – Médias da densidade, percentagem de poros (total, macro e microporosidade) e retenção de água na capacidade de campo.

Material	Densidade (g cm ⁻³)	PT	Macroporosidade -----%-----	Microporosidade	Θ _{cc} (tensão 10 cm) m ³ m ⁻³
Horizonte Bt (Argissolo)					
Estrutura indeformada	1,37a	47,6a	7,98 b	39,59a	0,44a
Estrutura deformada	1,22b	48,7a	20,50a	28,20 b	0,43a
Horizonte Bw (Latossolo)					
Estrutura indeformada	1,05a	60,4a	7,09 b	53,31a	0,53a
Estrutura deformada	0,80 b	63,5a	26,55a	36,98b	0,37b
Terriço	0,59	76,3	34,07	42,25	0,42

Letras iguais em coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey (<0,05)

5.4 Características químicas do carvão vegetal e cinzas por diferentes métodos.

A caracterização química do carvão vegetal mostra baixos teores dos elementos em todas as metodologias analisadas (Tabela 6). Isto indica de forma clara que o carvão vegetal não deve ser considerado um fertilizante e sim um condicionador do solo. Com relação aos micronutrientes as metodologias apresentaram grande variação, observando-se maior teor para o cobre pelo extrator nitroperclórico. Isto era de certa forma esperada dado que os diferentes métodos testados utilizam extratores com diferentes capacidades de extração. O método do solo utiliza como extrator Mehlich 1 que tem como princípio determinar o teor disponível e trocável dos elementos e não extrai os teores totais. Os métodos do tecido vegetal, calcário e fertilizante orgânico utilizam extratores visando à determinação dos teores totais.

A caracterização química da cinza apresentou baixos teores de nutrientes para a metodologia do solo. Quanto aos macronutrientes primários, analisados pelo método do fertilizante orgânico, o P e K na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e óxido de potássio (K_2O), apresentaram teores maiores que o valor mínimo estipulado pela norma para especificações dos fertilizantes orgânicos simples (Brasil, 2004). Quanto aos macronutrientes secundários Ca e Mg, apresentaram teores de 8 e 2%, respectivamente. A norma para especificações dos fertilizantes orgânicos simples (Brasil, 2004) marca valores mínimos de 1% para os dois nutrientes. Estes dados mostram o elevado potencial das cinzas como fonte de nutrientes (P, K, Ca e Mg) para os cultivos e mudas.

Com relação aos micronutrientes os métodos apresentaram grande variação, observando-se maior teor para o cobre na metodologia utilizada para análise de tecido vegetal.

Tabela 6 - Características químicas do carvão vegetal e cinzas.

Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
-----g.kg ⁻¹ -----									
-----mg kg ⁻¹ -----									
Metodologia para análise de solo									
Carvão	9,35	0,048	1,25	0,73	0,55	10,13	10,3	100,4	36,4
Cinzas	10,64	0,019	49,23	4,1	3,39	7,5	30	5,0	0,57
Metodologia para análise de tecido vegetal									
Carvão	-	0,24	2,6	3,2	0,7	481,5	172,4	35,5	10,8
Cinzas	-	7,57	71,3	95,6	21,24	861	2833	1011,8	484,8
Metodologia para análise de carbonato de cálcio									
Carvão	-	0,09	1,96	1,10	0,11	2,04	135,2	11,23	4,38
Cinzas	-	7,77	77,47	100,5	22,20	731,74	4477,3	1060,3	467,5
Metodologia para análise de fertilizante orgânico									
Carvão	7,15	0,61	1,24	3,7	0,73	-	-	-	-
Cinzas	12	6,85	54,5	80,2	20,2	-	-	-	-

pH em H₂O para análise de solo e pH em CaCl₂ 0,01M para análise de fertilizante orgânico.

Metodologia utilizada para análise de solo, tecido vegetal e carbonato de cálcio (EMBRAPA 1999) e fertilizante orgânico (IN26, 2007).

5.4.1 Comparação entre métodos de extração

O extrator ácido molibdovanadofosfórico, utilizado no método do fertilizante orgânico extraiu os maiores teores de P do carvão (Tabela 7). Os extratores nitroperclórico e Mehlich 1, utilizado na metodologia para análise de tecido vegetal e solo, respectivamente, extraíram teores menores de P. Em termos comparativos a extração de P do carvão vegetal pelos diferentes extratores, seguiu a ordem, ácido molibdovanadofosfórico > nitroperclórico > Mehlich 1.

Nas cinzas, os maiores teores de fósforo foram obtidos pelo extrator nitroperclórico, na metodologia utilizada para análise de tecido vegetal. O extrator Mehlich 1 foi o que extraiu menos P. Esses resultados eram esperados, considerando que Mehlich 1 extrai apenas a forma mais disponível (lábil) do fósforo, enquanto o método de extração nitroperclórico extrai também a forma mais estáveis de P (não-lábil).

A menor extração de P do carvão vegetal e cinza foi obtida pelo Mehlich 1 (0,047 g kg⁻¹, 0,019 g kg⁻¹) respectivamente, valores equivalentes aos encontrados por Bortolon (2005) em análise de solo do Rio Grande do Sul, no qual foram extraídos teores de 0,035 g kg⁻¹ de P e Meneses et al., (2006) em solos de São Paulo, que encontraram teores de 0,048 g kg⁻¹. Esses teores baixos no carvão e nas cinzas não eram esperados, considerando que os

materiais utilizados neste experimento, são ricos em Ca^{++} e possui pH alcalino, os quais apresentam maiores teores de P-Ca, que é uma forma preferencialmente extraída pelo Mehlich 1.

Os teores de P total obtidos pelo extrator nitroperclórico, no carvão vegetal, para a metodologia usada para análise de tecido vegetal (Tabela 7), corroboram com o valor $0,10 \text{ g kg}^{-1}$ encontrado por Medeiros Junior (2007). Na cinza houve uma maior extração de P total em relação ao carvão com teores de $7,66 \text{ g kg}^{-1}$, valor este bem abaixo de $33,7 \text{ g kg}^{-1}$, encontrado por Severino et al. (2006). A diferença nos teores de P total encontrados nas cinzas pode ser explicada pela madeira da qual foi originada, pois dependendo da espécie pode conter maior ou menor quantidade de nutrientes.

Tabela 7 – Teores de P obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.

Extrator	Metodologia	Material Elemento	Carvão vegetal			
			Mínimo	Máximo	Média (g kg^{-1})	Desvpad
Ácido molibdovanadofosfórico	Fertilizante	P total	0,61	0,61	0.61 a	0,00
Nitroperclórico	Tecido vegetal	P total	0, 2	0,31	0.24 b	0,06
Mehlich 1	Solo	P disponível	0,04	0,052	0.048 c	0,0066
Cinza						
Nitroperclórico	Tecido vegetal	P total	7,52	7,75	7.66 a	0,12
Ácido molibdovanadofosfórico	Fertilizante	P total	6,2	7,73	6.84 a	0,79
Mehlich 1	Solo	P disponível	0,016	0,022	0.019 b	0,003

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Ca obtidos pelos métodos de extração nitroperclórico, ácido molibdovanadofosfórico e quelatométrico do EDTA, metodologias utilizadas para análise de tecido vegetal, fertilizante orgânico e calcário, respectivamente, não apresentaram diferença estatística e extraíram os menores teores de cálcio total, com valores variando entre $1,1$ a $1,5 \text{ g kg}^{-1}$, valor abaixo das $6,2 \text{ g kg}^{-1}$ encontrado por Medeiros Junior, (2007) em amostras de carvão vegetal da Amazônia, estas diferenças pode ser devida a diferentes tecnologias, material vegetal utilizado e também a uma maior ou menor contaminação por cinzas. A maior extração de Ca foi obtida pelo extrator KCl 1 mol L^{-1} , no método do solo. Em termos comparativos a extração de Ca pelos diferentes extratores, seguiu a sequência: solo > tecido vegetal > fertilizante orgânico > calcário (Tabela 8).

Os teores de Ca obtidos pelos métodos de extração quelatométrico do EDTA e nitroperclórico não apresentaram diferença estatística entre si, extraindo os maiores teores de Ca. No entanto, o extrator nitroperclórico foi mais preciso por ter apresentado menor desvio entre as repetições. A metodologia utilizada para análise de solo foi o que menos extraiu e determinou Ca nas amostras de cinzas.

Pela Tabela 8, percebe-se que o extrator KCl 1 mol L⁻¹ extraiu três vezes mais Ca do carvão vegetal do que das cinzas, isso pode ter acontecido devido a presença de silicatos nas cinzas, que pode ter dificultado a extração do Ca pela solução salina utilizada como extrator (KCl 1 mol L⁻¹).

Os teores de Ca obtidos pelo método de extração nitroperclórico no carvão vegetal, para a metodologia usada para análise de tecido vegetal (Tabela 8), ficou bem abaixo do valor 6,2 g kg⁻¹ encontrado por Medeiros Junior (2007). Na cinza houve uma maior extração de Ca em relação ao carvão com teores de 93,97 g kg⁻¹, valor este bem abaixo de 264,0 g kg⁻¹, encontrado por Severino et al. (2006).

Tabela 8- Teores de Ca obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.

		Material	CARVÃO VEGETAL			
Extrator	Metodologia		(g kg ⁻¹)			
		Elemento	Mínimo	Máximo	Média	Desv
KCl 1 mol L ⁻¹	Solo	Ca trocável	3,50	4,00	3,70a	0,26
Nitroperclórico	Tecido vegetal	Ca total	1,51	1,51	1,51 b	0,00
Ácido molibdovanadofosfórico	Fertilizante orgânico	Ca total	1,14	1,66	1,36 b	0,27
Quelatométrico do EDTA	Calcário	Ca total	1,06	1,13	1,10 b	0,03
CINZA						
Quelatométrico do EDTA	Calcário	Ca total	98,48	102,2	100,5a	1,89
Nitroperclórico	Tecido vegetal	Ca total	93,97	96,20	95,6a	1,46
Ácido molibdovanadofosfórico	Fertilizante orgânico	Ca total	75,5	87,3	80,2 b	6,24
KCl 1 mol L ⁻¹	Solo	Ca trocável	0,56	0,87	0,7 c	0,31

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores teores de K foram obtidos pelo método de extração nitroperclórico. Os extratores tetrafenilborato de sódio e Mehlich 1 não apresentaram diferença estatística entre si e extraíram os menores teores de K. Em termos comparativos a extração de K do carvão vegetal pelos diferentes extratores, seguiu a ordem, nitroperclórico > tetrafenilborato de sódio > Mehlich 1 Segundo Ernani et al. (2007) a concentração de K na solução do solo é de difícil determinação, dada a complexidade de extração da solução. Os teores de K fornecidos

nos resultados de análises de solo para fins da avaliação da fertilidade incluem o K da solução, em adição ao K trocável e, em algumas situações, a uma pequena fração do K de algumas outras formas. Isto pode explicar o baixo teor de K extraído pela solução Mehlich1.

Nas cinzas o extrator nitroperclórico extraiu os maiores teores K. Os extratores Tetrafenilborato de sódio e Mehlich1 não apresentaram diferença estatística entre si e extraíram menos K.

Os teores de K obtidos pelo extrator nitroperclórico no carvão vegetal, para a metodologia do tecido vegetal (Tabela 9), corroboram ao valor 2,59 g kg⁻¹ encontrado por Medeiros Junior (2007). A cinza apresentou maior teor de K em relação ao carvão com teores de 71,3 g kg⁻¹, valor este bem acima de 48,5 g kg⁻¹, encontrado por Severino et al. (2006).

Tabela 9 - Teores de potássio (K) obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.

Extrator	Metodologia	Material	CARVÃO VEGETAL			
			(g kg ⁻¹)			
		Elemento	Mínimo	Máximo	Média	Desv
Nitroperclórico	Tecido vegetal	K total	2,33	2,80	2,5a	0,24
Tetrafenilborato de sódio	Fertilizante orgânico	K total	1,10	1,68	1,4 b	0,29
Mehlich 1	Solo	K trocável	1,25	1,25	1,2 b	0,00
CINZA						
Nitroperclórico	Tecido vegetal	K total	68,78	73,90	71,3a	2,56
Tetrafenilborato de sódio	Fertilizante orgânico	K total	50,30	60,26	54,5 b	1,72
Mehlich 1	Solo	K trocável	48,06	51,03	49,2 b	1,58

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao Mg, com exceção do extrator quelatométrico do EDTA, que apresentou a menor capacidade de extração de Mg, não se verificou diferença estatística entre os extratores nitroperclórico, tetrafenilborato de sódio e Mehlich 1.

Nas cinzas os extratores quelatométrico do EDTA, nitroperclórico e tetrafenilborato de sódio não apresentaram diferença estatística entre si, sendo os que mais extraíram Mg das cinzas. O método do solo que utiliza o extrator Mehlich 1 extraiu menos Mg.

O teor de Mg extraído pelo extrator nitroperclórico no carvão vegetal, para o método do tecido vegetal (Tabela 10), está abaixo do valor 1,3 g kg⁻¹ encontrado por Medeiros Junior, (2007). A cinza apresentou maior teor de Mg que o carvão com teores de 21,4 g kg⁻¹, valor este aproximado de 27, 0 g kg⁻¹, encontrado por Severino et al. (2006).

Tabela 10 - Teores de Magnésio (Mg) obtidos em amostras de carvão vegetal e cinzas.

Extrator	Metodologia	Material				
		CARVÃO VEGETAL				
		Elemento	Mínimo	Máximo	(g kg ⁻¹) Média	Desv
Mehlich 1	Solo	Mg trocável	0,70	0,80	0,7a	0,058
Nitroperclórico	Tecido vegetal	Mg total	0,57	1,00	0,7a	0,23
Tetrafenilborato de sódio	Fertilizante orgânico	Mg total	0,63	0,74	0,7a	0,59
Quelatométrico do EDTA	Calcário	Mg total	0,10	0,10	0,1 b	0,00
CINZA						
Quelatométrico do EDTA	Calcário	Mg total	21,70	22,8	22,2a	0,56
Nitroperclórico	Tecido vegetal	Mg total	20,8	22,3	21,4a	0,79
Tetrafenilborato de sódio	Fertilizante orgânico	Mg total	18,7	22,3	20,2 a	1,86
Mehlich 1	Solo	Mg trocável	2,92	5,35	4,1 b	1,21

Letras iguais, em coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

5.5 Efeito do substrato

5.5.1 Efeito do carvão vegetal nas características físicas dos substratos

Pela Tabela 11 nota-se que no substrato do horizonte Bw (argiloso) a aplicação de carvão vegetal na dosagem de 10% não mostrou diferença significativa, entretanto para os tratamentos 30, 50 e 70% de carvão vegetal houve redução de até 61,3% na densidade do solo, o menor valor de densidade (0,49 g cm⁻³) foi obtido com 70% de carvão vegetal. Segundo De Boodt et al. (1974), os valores de referência da densidade para um bom substrato é de 0,45 a 0,55 g cm⁻³.

Para o solo do horizonte Bt (arenoso), todos os tratamentos (10, 30, 50 e 70% de carvão vegetal), reduziram significativamente a densidade do solo, reduzindo-a em até 50,8%. Sendo a menor densidade (0,62 g cm⁻³) com 70% de carvão vegetal. O menor valor de densidade para o substrato arenoso está acima dos valores de referência da densidade para substrato (De BOODT et al., 1974). Substratos com menor densidade podem ser importantes pela redução no peso das mudas no transporte, reduzindo custo.

Quanto à porosidade, à medida que se elevou a quantidade de carvão vegetal ao substrato, observou-se aumento da porosidade total de 48,70 a 64, 75 e 63,53 a 69,66% substrato arenoso e argiloso, respectivamente. Entretanto, os maiores valores de porosidade

de 64,75 e 69,66% substrato arenoso e argiloso, respectivamente, estão abaixo dos valores considerados adequados para substrato de 75 a 85% (De BOODT et al. 1974).

Quanto à macroporosidade houve aumento nos dois tipos de solo com o acréscimo nas doses de carvão. Esta característica de materiais orgânicos também foi observado por Moraes Neto et al., (2001), trabalhando com substratos à base de húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada, e Stringueta et al., (1997), em trabalho com composto de lixo urbano e casca de arroz carbonizada. Da mesma forma, na microporosidade, ao passo que, aumentando-se a quantidade de carvão na mistura ocorreu um aumento na microporosidade no substrato arenoso, no argiloso à medida que se acrescentou carvão à mistura (50 e 70%) a microporosidade foi reduzida. Provavelmente isto aconteceu devido à estrutura porosa com 69,9% de porosidade do carvão vegetal.

Tabela 11 - Médias da densidade, percentagem de porosidade (total, macroporosidade e microporosidade) em substratos (horizonte Bw - argiloso e Bt – arenoso).

Material	Densidade (g cm ⁻³)	Porosidade total	Macroporosidade -----%-----	Microporosidade
Argissolo (Horizonte Bt)				
Testemunha	1,22a	48,70b	20,51b	28,19b
10% C.V	1,10b	50,91b	21,40b	29,51b
30% C.V	0,99c	55,03b	21,83b	33,20a
50% C.V	0,78d	61,45a	24,74ab	36,71a
70% C.V	0,62e	64,74a	27,91a	36,83a
Latossolo (Horizonte Bw)				
Testemunha	0,80a	63,53c	26,55b	36,98ab
10% C.V	0,81a	66,98b	26,19b	40,79a
30% C.V	0,70b	67,11b	26,07b	41,04a
50% C.V	0,54c	67,29ab	33,38a	34,12b
70% C.V	0,49d	69,66a	34,51a	35,15b

Letras iguais em coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey (<0,05)

As regressões obtidas para as variáveis densidade e porosidade dos substratos, ajustaram-se a uma equação linear negativa para a densidade e positiva para a porosidade ($P < 0,05$), demonstrando que as doses não foram suficientes para determinar a máxima resposta, conforme Figuras 6 e 7, respectivamente.

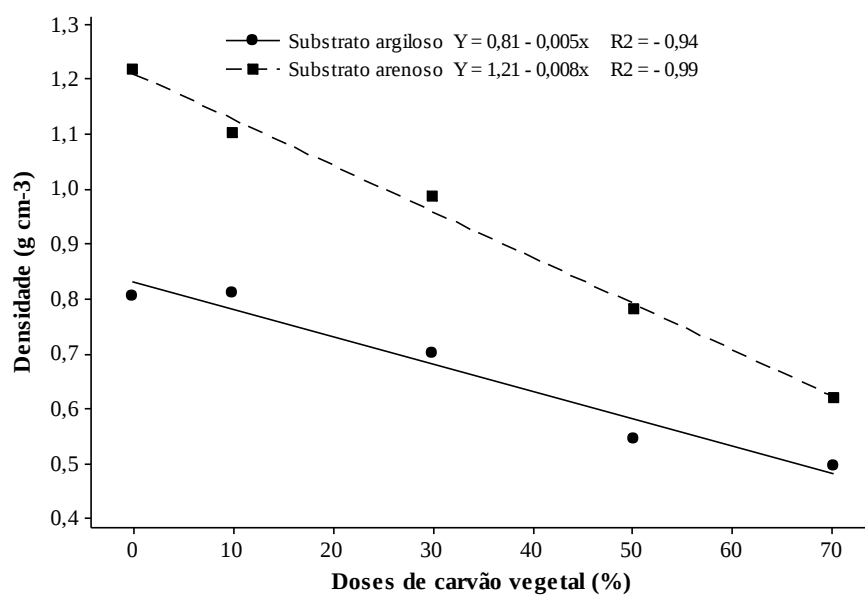


Figura 6 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e a densidade do substrato, para substrato argiloso e arenoso.

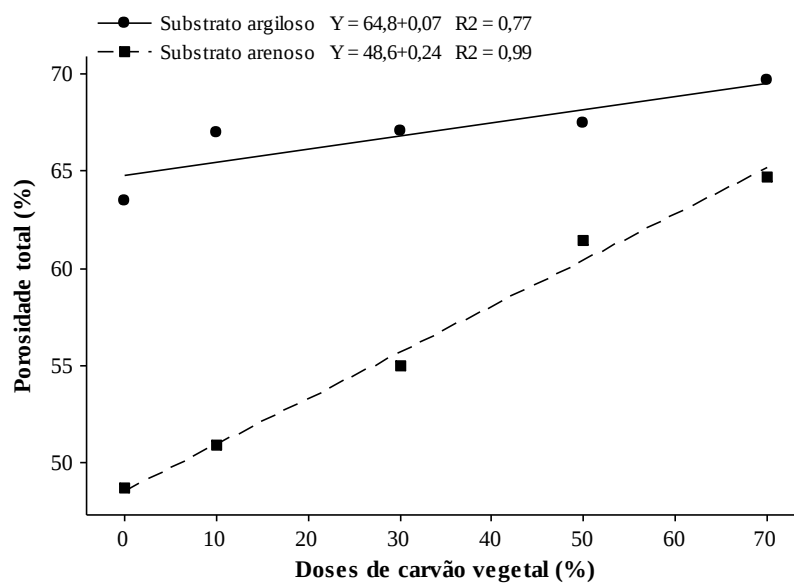


Figura 7 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e a porosidade do substrato, para substrato argiloso e arenoso.

5.5.2 Retenção de água

Pela Tabela 12 (substrato arenoso) percebe-se que para a tensão 0 cm a retenção de água nos tratamentos 10, 30, 50 e 70% foi de 0,51; 0,55; 0,61 e 0,65 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, representando 3,9; 10,9; 19,7 e 24,6 %, respectivamente, a mais de água que o substrato testemunha (0,49 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 10 cm a retenção de água nos tratamentos 10, 30, 50 e 70% foi de 0,46; 0,50; 0,55 e 0,57 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, representando 6,5; 14,0; 21,0 e 24,5 %, respectivamente, a mais de água que o substrato testemunha (0,43 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 32 cm a retenção de água nos tratamentos 10 e 30%, foi de 0,34; 0,37, representando 2,4 e 10,8%, respectivamente, a mais de água que o substrato testemunha, nos tratamentos 50 e 70% a retenção de água foi de 0,40 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para os dois tratamentos, representando 17,5 %, mais de água retida que o substrato testemunha (0,33 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 63 cm os tratamentos 10, 30% foi de 0,29; 0,36 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, representando 3,4 e 22,2% mais que a quantidade de água retida pela testemunha; os substratos com 50, 70% de carvão retiveram a mesma quantidade de água (0,33 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), representando 24,3% a mais que a quantidade de água retida pela testemunha (0,28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 100 cm o tratamento com 10% reteve a mesma quantidade de água que a testemunha (0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Nos tratamentos com 30, 50 e 70% de carvão a retenção de água foi (0,21, 0,22 e 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), representando 9,5; 13,6 e 24,0%, respectivamente, a mais que a quantidade de água retida pela testemunha (0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Esse fato mostra que o carvão vegetal reduziu a macroporosidade em consequência obteve maior retenção de água. Esses resultados corroboram aos encontrados por Souza et al., (2006) quando utilizaram areia e carvão vegetal 1:1 (v/v) e Glaser et al., (2002) que observaram aumento na retenção de água com a redução da macroporosidade em solos arenosos.

Pela Tabela 12 (substrato argiloso) percebe-se que para a tensão 0 cm os substratos com 10, 30 e 50% de carvão retiveram a mesma quantidade de água (0,67 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), 4,5% a mais que a quantidade de água retida pela testemunha. No tratamento com 70% de carvão a retenção de água foi (0,70 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), 8,6% a mais que o substrato testemunha (0,64 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 10 cm a retenção de água nos tratamentos 10, 30, 50 e 70% foi de 0,56; 0,54; 0,58 e 0,60 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, representando 8,9; 12,1; 5,5 e 15 %, respectivamente, a mais de água que o substrato testemunha (0,51 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 32 cm a retenção de água nos tratamentos 10 e 30%, foi de 0,45; 0,47; 50 e 70%; 0,35 e 0,36 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, representando 15,6 e 19,1%, respectivamente, a mais de água que o substrato testemunha, nos tratamentos 50 e 70% a retenção de água foi de 0,35 e 0,36 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, representando 7,9 e 5,3 %, menos água retida, respectivamente, que o substrato testemunha. Isto mostra que para a tensão de 32 cm a água foi mais facilmente retirada dos substratos com 50 e 70% de carvão que no substrato testemunha (0,38 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Para a tensão de 63 cm os tratamentos 10 e 30% de carvão retiveram a mesma quantidade de água (0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), 9,8% a mais que a quantidade de água retida pela testemunha. Nos tratamento com 50 e 70% de carvão a retenção de água foi (0,34 e 0,35 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), representando 8,1 e 5,4% a menos que o substrato testemunha (0,37 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Isto mostra que as doses de 50 e 70% de carvão reduziram a microporosidade, facilitando a saída da água na tensão de 32 cm.

Para a tensão de 100 cm o tratamento com 10% reteve a mesma quantidade de água que a testemunha (0,30 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Nos tratamentos com 30, 50 e 70% de carvão a retenção de água foi (0,26; 0,22 e 0,23 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), representando 13,3; 26,7 e 23,3% menos que o substrato testemunha (0,30 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Isto mostra que as doses de 30, 50 e 70% de carvão reduziram a microporosidade, facilitando a saída da água na tensão de 100 cm. Esses resultados corroboram com os observados por Guerrini et al. (2002) em que o aumento nas doses de casca de arroz carbonizada promoveram redução na proporção de microporos do substrato, reduzindo sua capacidade de retenção de água e diferem dos encontrados por Madari et al., (2006) que não observaram efeito do carvão vegetal na retenção de água em Latossolo.

Tabela 12 - Quantidade média de água retida ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função da tensão e carvão vegetal.

Tensão (cm)	Doses de carvão vegetal (%)				
	0	10	30	50	70
Substrato arenoso					
0	0,49e	0,51d	0,55c	0,61b	0,65a
10	0,43d	0,46c	0,50b	0,55a	0,57a
32	0,33c	0,34c	0,37b	0,40a	0,40a
63	0,28b	0,29b	0,36a	0,37a	0,37a
100	0,19c	0,19c	0,21bc	0,22ab	0,25a
Substrato argiloso					
0	0,64c	0,67b	0,67ab	0,67ab	0,70a
10	0,51b	0,56b	0,58ab	0,54ab	0,60a
32	0,38bc	0,45ab	0,47a	0,35c	0,36bc
63	0,37bc	0,43ab	0,49a	0,34c	0,36bc
100	0,30a	0,30a	0,26b	0,22c	0,23c

Letras iguais em linha, não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey (<0,05)

5.6 Características químicas de Argissolo e Latossolo nos horizontes (Bt e Bw), terriço.

Pela Tabela 13 percebe-se que o pH dos solos estudado, em condições de campo e após manuseio, segundo os critérios de Ribeiro et al., (1999), apresentam acidez elevada, baixos teores de P, K, Ca e Mg, acidez potencial (H+Al) baixa, soma de bases (SB) muito baixa, saturação muito alta por alumínio (m%) e saturação muito baixa por bases (V%). Segundo Souza et al., (2007), em termos de efeitos negativos ao crescimento das plantas, o efeito primário da toxidez por alumínio faz sentir no sistema radicular.

Quanto aos micronutrientes (Tabela 13), percebe-se que o solo arenoso apresenta alto teor de Fe, e teores muito baixos de Zn, Mn e Cu. O solo argiloso apresentou teores muito baixos para todos os micronutrientes analisados.

O terriço (Tabela 13) apresentou acidez elevada, bom teor de Ca, alto teor de P, teor médio de Mg, e saturação por alumínio (m%), acidez potencial (H+Al) muito alta, soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) muito baixa.

Quanto aos micronutrientes (Tabela 13), percebe-se alto teor de Fe, Zn e Mn e teor adequado de Cu.

Tabela 13 – Características químicas de amostras de um horizonte Bw de um Latossolo argiloso e Bt de um Argissolo arenoso, terriço (horizonte A).

Identificação	pH H ₂ O	P	K -----mg/dm ³ -----	Ca	Mg	H+Al Cmolc	SB	V -----%-----	m	Fe	Zn	Mn	Cu
Argissolo													
Bt campo	4,84	1	3,67	0,06	0,02	3,63	0,09	2,60	88,94	224	0,18	0,30	0,12
Bt manuseio	4,76	0	2,33	0,07	0,02	0,91	0,09	9,28	84,38	218,67	0,11	0,38	0,09
Latossolo													
Bw campo	5,46	0,1	4,33	0,07	0,03	1,15	0,11	6,71	62,49	1,67	0,17	0,07	0,20
Bw manuseio	5,02	0,13	32,67	0,2	0,08	1,09	0,39	26,50	9,90	2,67	0,39	0,18	0,15
Terriço	3,95	45	104,5	2,5	0,5	14,10	3,32	19,5	37,59	145,5	7,4	18,42	1,07

H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

Metodologia para análise de solo (Embrapa, 1999).

5.7 Características químicas do carvão lavado

A Tabela 14 mostra que mesmo após a lavagem o carvão vegetal continuou com elevados valores de pH. Porém, percebe-se que o pH da amostra de carvão lavado é diferente estatisticamente do não lavado e isto pode indicar que o tempo de exposição de

resíduos do carvão vegetal as intempéries pode reduzir a quantidade de cinzas, deixando o carvão vegetal com níveis adequados de pH.

Tabela 14 - Comparação de médias de pH em H₂O para carvão vegetal lavado e não lavado.

Descrição	Carvão não lavado	Carvão lavado
pH	9,35a	8,12 b

5.7.1 Efeito do carvão vegetal e cinzas no pH dos substratos

Pela Tabela 15 percebe-se que o carvão vegetal e cinzas afetaram os valores de pH dos substratos, nos dois tipos de solo. O valor de pH para a maior dose aplicada de carvão, elevou de 4,76 para 8,42 e de 5,02 para 8,55 (substrato arenoso e argiloso) respectivamente. A elevação do pH em níveis de alcalinidade, pode-se induzir, entre outros efeitos, a deficiência de micronutrientes, como o Cu, Mn e Zn.

A regressão entre as quantidades de carvão e o pH dos substratos teve comportamento de natureza linear (Figura 8) indicando relação diretamente proporcional entre doses de carvão e pH. As elevações de pH podem ser atribuídas a liberação de carbonatos de cálcio, magnésio e potássio pela reação da cinza no solo (Prado et al., 2002) e por apresentarem em sua composição química nutrientes e bases capazes de neutralizar a acidez do solo (Tabela 15). Esses resultados diferem dos encontrados por Medeiros Junior (2007) que não observou efeito do carvão vegetal no pH no solo. Segundo os critérios Ribeiro et al. (1999) todos os substratos contendo carvão vegetal estão acima dos valores ideais de pH (5,5 e 6,0).

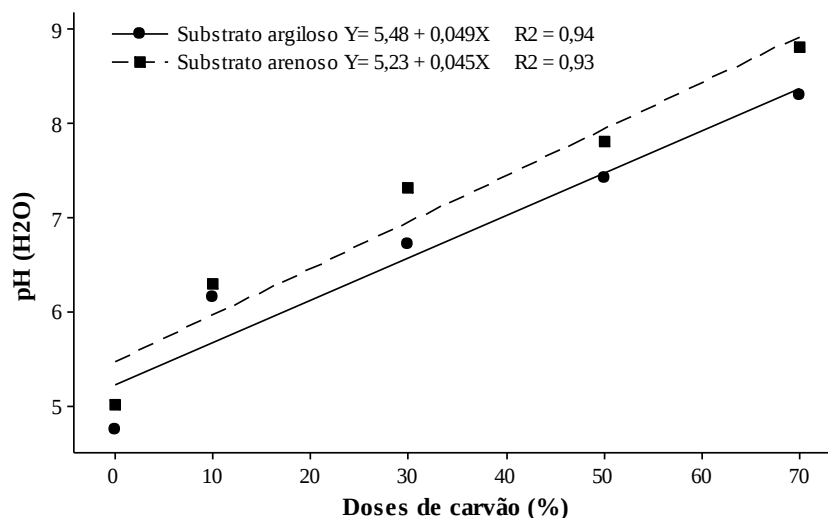


Figura 8 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e pH para substrato argiloso e arenoso.

5.7.2 Efeito da calagem no pH dos substratos (arenoso e argiloso) com 30% de carvão vegetal

Pela Tabela 15 percebe-se que o pH no tratamento 30% de carvão vegetal com calagem foi significativamente maior que o tratamento 30% de carvão vegetal sem calagem ($p < 0,05$), para os diferentes substratos. Podendo-se inferir que apesar do efeito neutralizador que o carvão vegetal apresentou, a prática da calagem, contribuiu, ainda mais, para a elevação do pH nos substratos, chegando a alcalinidade. E isto é interessante porque mostra que apenas a adição do carvão vegetal seria suficiente para elevar o pH dos substratos a níveis adequados de pH.

Tabela 15 - Comparação de médias de pH em H₂O para tratamento com 30% de carvão vegetal com e sem calagem e carvão vegetal lavado e não lavado.

Descrição	Subs. argiloso		Subst. arenoso	
	Com cal.	Sem cal.	Com cal.	Sem cal.
pH	7,33a	6,97b	6,72 a	6,61b

5.7.3 Efeito do carvão vegetal na disponibilidade de macronutrientes

5.7.3.1 Fósforo disponível

A redução da acidez em um substrato pode promover o aumento da disponibilidade de P. Neste experimento o aumento nas doses de carvão foi diretamente proporcional ao aumento de pH. Segundo Souza et al. (2007) a disponibilidade de P aumenta e depois diminui com aumento de pH, devido à redução de acidez e aumento de OH^- na solução do solo.

Pela Figura 9 percebe-se que o comportamento do P em substrato argiloso seguiu uma tendência polinomial cúbica. Existe um valor inicial, que evolui até um máximo, na dose 10% de carvão, voltando a diminuir, até a dose 30%, quando ocorre um aumento com a dose 50% de onde o teor inicia outro seguimento de ascensão com doses crescentes de carvão vegetal. Esse aumento provavelmente aconteceu devido ao acréscimo de carvão vegetal que aumentou a disponibilidade do P. Segundo Laboski e Lamb, 2003; Azevedo et al., 2004) a adição de resíduos orgânicos no solo diminui a adsorção e disponibiliza o P para as plantas. Esses resultados estão de acordo com Lehmann et al. (2002) que observaram aumento nos teores de P com a adição de carvão em Latossolo amarelo distrófico. Segundo os critérios de Raij et al. (1996) o substrato argiloso com 70% de carvão apresentou teor muito alto de P, os demais substratos apresentaram teores baixo de P.

No substrato arenoso o P seguiu tendência linear correlacionada positivamente as doses de carvão (Figura 9), indicando que houve aumento nos teores de P, mesmo com o aumento proporcional do pH. O substrato arenoso com 70% de carvão apresentou teor alto e os demais substratos apresentaram baixos teores de P.

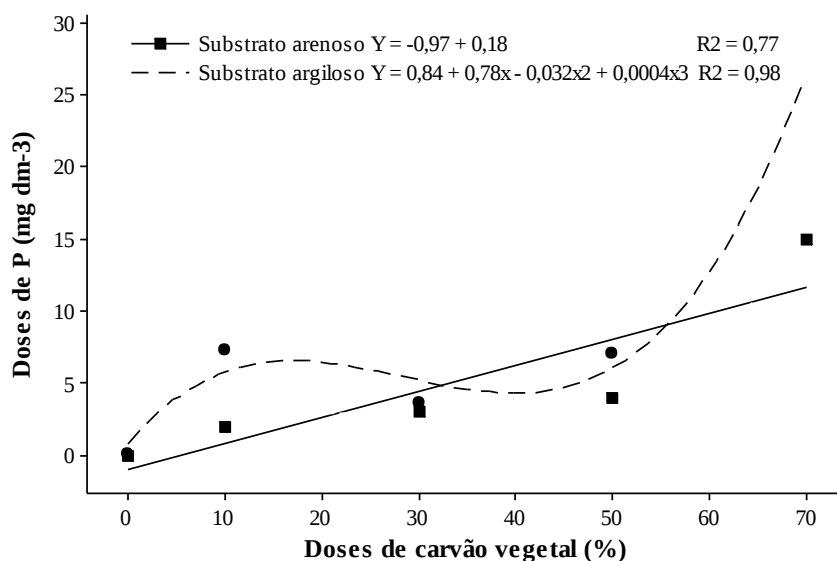


Figura 9 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de P para substrato argiloso e arenoso

5.7.3.2 Potássio trocável

Pela Figura 10 nota-se que a adição de carvão vegetal aumentou os teores de K nos substratos dos dois tipos de solo estudado, esse aumento se deve ao alto teor de K encontrado no carvão e nas cinzas, o aumento seguiu uma tendência linear positiva em relação às doses de carvão. Esses resultados concordam com os encontrados por Glaser et al. (2002), Onguntude et al. (2004) e Steiner et al. (2004) que verificaram aumento dos teores de K trocável no solo. Estes autores comentam que as cinzas contidas no carvão vegetal podem ser a responsável por esse aumento, considerando que estas são uma boa fonte de potássio. Os valores de K encontrados nas cinzas da combustão do carvão utilizado neste estudo (Tabela 17) corroboram esta hipótese. Segundo os critérios de Raij et al. (1996), todos os substratos apresentaram teores muito alto de K^+ .

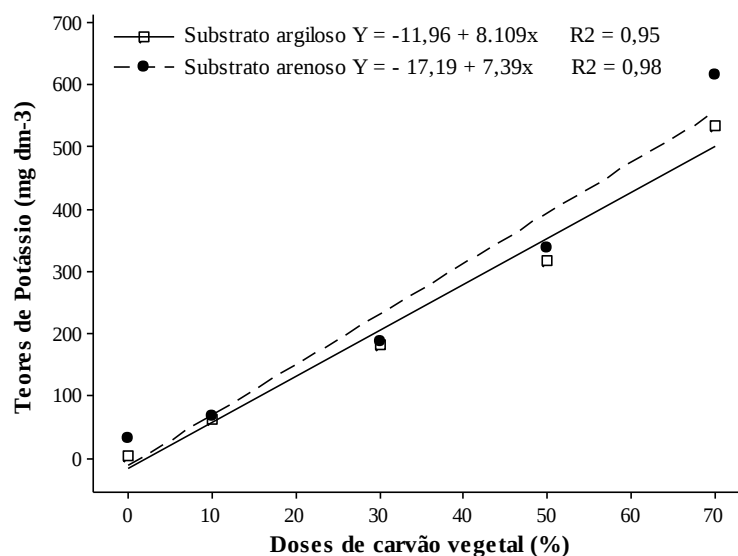


Figura 10 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de K para substrato argiloso e arenoso

5.7.3.3 Cálcio

Pela Figura 11 percebe-se que a adição de carvão vegetal aumentou os teores de Ca nos substratos dos dois tipos de solo estudado, esse aumento se deve ao alto teor de Ca encontrado no carvão e nas cinzas, o aumento seguiu uma tendência linear positiva em relação às doses de carvão. Esses resultados estão de acordo com Lehmann et al. (2002) que observaram aumento nos teores de Ca com a adição de carvão em Latossolo amarelo distrófico e diferem dos encontrados por Medeiros Junior (2007) que não observou efeito do carvão vegetal nos teores de Ca no solo. Segundo Raij et al. (1996), os substratos com 50 e 70% de carvão vegetal apresentaram teores adequados de Ca^{2+} .

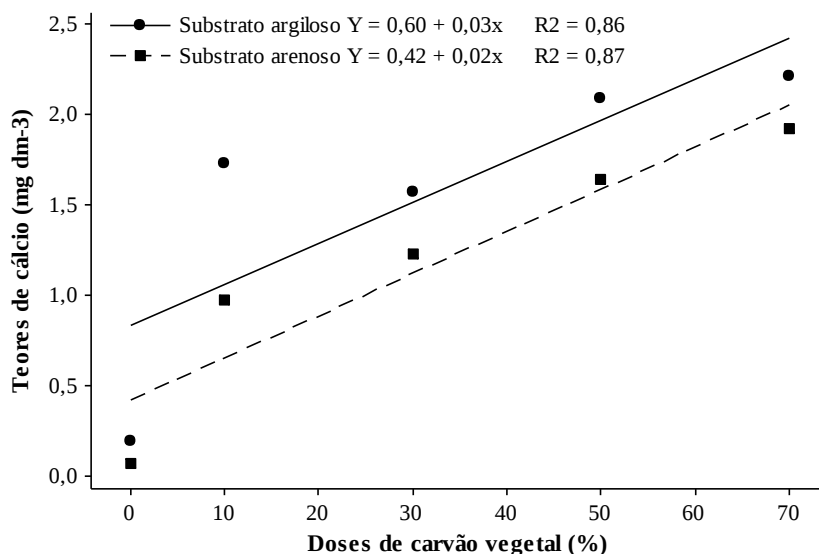


Figura 11 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Ca para substrato argiloso e arenoso

5.7.3.4 Magnésio

Pela Figura 12 percebe-se que o comportamento do Mg seguiu uma tendência polinomial cúbica, onde a dose de 10% de carvão vegetal aumentou em 78,9% o teor de Mg no substrato argiloso e 95,9% o teor de Mg no substrato arenoso. Esse aumento se deve ao alto teor desse nutriente no carvão e nas cinzas (Tabela 17). Apesar do aumento nos teores de Mg, segundo Raij et al. (1996), todos os substratos apresentaram baixos teores de Mg²⁺ menor que 0,6 mg dm⁻³.

Esses resultados diferem dos encontrados por Medeiros Junior (2007) que observou resposta quadrática negativa no teor de Mg em relação ao uso de fino de carvão. Por outro lado, estão de certa forma de acordo com Lehmann et al. (2002) e Topoliantz et al. (2005) que observaram aumento nos teores de Mg com a adição de carvão em Latossolo.

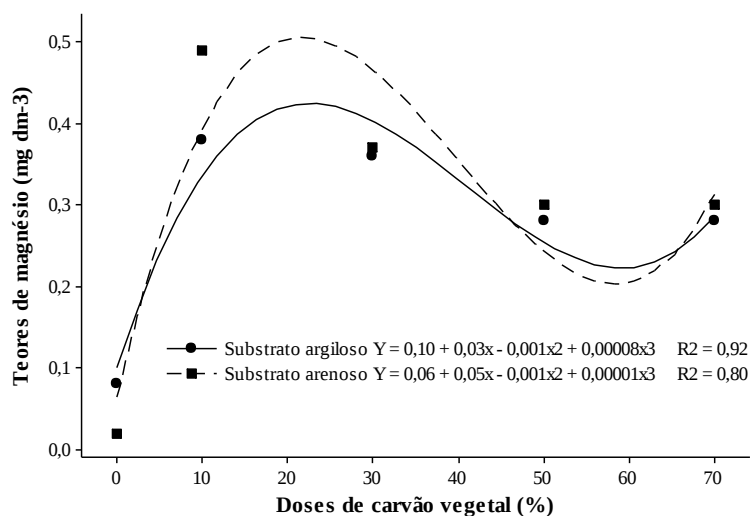


Figura 12 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Mg para substratos argiloso e arenoso

5.7.3.5 Acidez trocável (Al^{3+})

A partir dos resultados das características químicas do solo antes da incorporação do carvão pode-se observar que trata-se de um solo ácido (Tabela 12). Pela figura 13 observa-se que houve o aumento de pH através da adição do carvão causou redução da acidez trocável (Al^{3+}) com maior efeito no substrato arenoso. Isto provavelmente aconteceu pelo aumento da atividade hidrogeniônica que fez aumentar a atividade do alumínio em solução, reduzindo a acidez trocável.

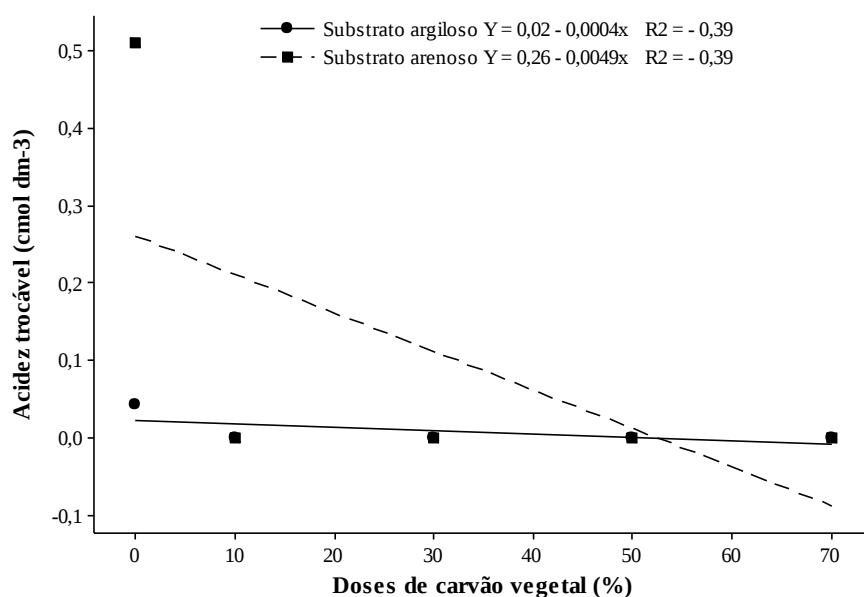


Figura 13 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Al^{3+} para substrato argiloso e arenoso

5.7.3.6 Acidez potencial (H+Al)

Pela Figura 14 percebe-se que houve redução da acidez potencial desde a primeira dose de carvão vegetal adicionada aos substratos. Isto provavelmente aconteceu porque os carbonatos (Ca e Mg) presentes nas cinzas, reagiram com o hidrogênio do solo liberando água e gás carbônico e isto insolubilizou o alumínio. Resultado semelhante foi obtido por Campanharo et al. (2008) quando utilizaram cinzas de madeira como corretivo de solo.

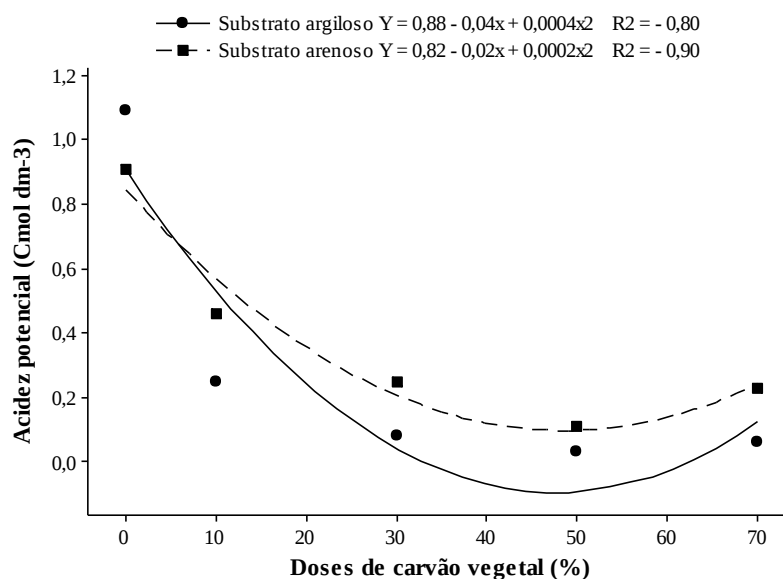


Figura 14 – Análise de regressão entre doses de carvão vegetal acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$ cmol dm⁻³), em substrato argiloso e arenoso.

5.7.3.7 Soma de bases (SB)

Pela Figura 15 percebe-se que a adição de carvão vegetal ao solo elevou os teores de bases trocáveis nos substratos para os dois tipos de solo estudados. Isto provavelmente aconteceu porque a concentração de íons H^+ diminuiu em função do aumento de pH fazendo aumentar os teores de Ca, Mg e K nos substratos.

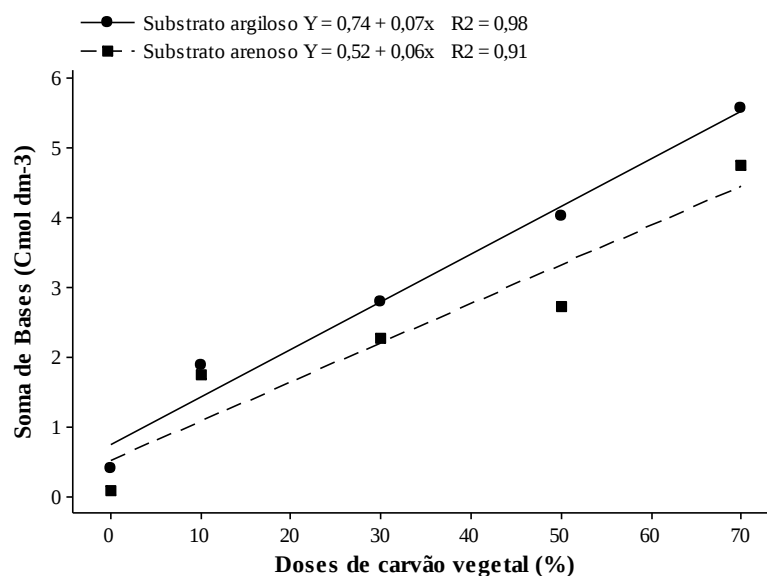


Figura 15 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Soma de Bases (SB), em substrato argiloso e arenoso.

5.7.3.8 Saturação por bases (V)

Pela Figura 16 percebe-se que o aumento nos teores de bases trocáveis nos substratos aumentou a saturação por base de 26,5% no substrato argiloso sem adição de carvão vegetal para 98,89% no mesmo substrato com adição de 70% de carvão vegetal. No substrato arenoso o efeito foi ainda maior, passando de 9,29% no substrato argiloso sem adição de carvão vegetal para 95,39% no mesmo substrato com adição de 70% de carvão vegetal.

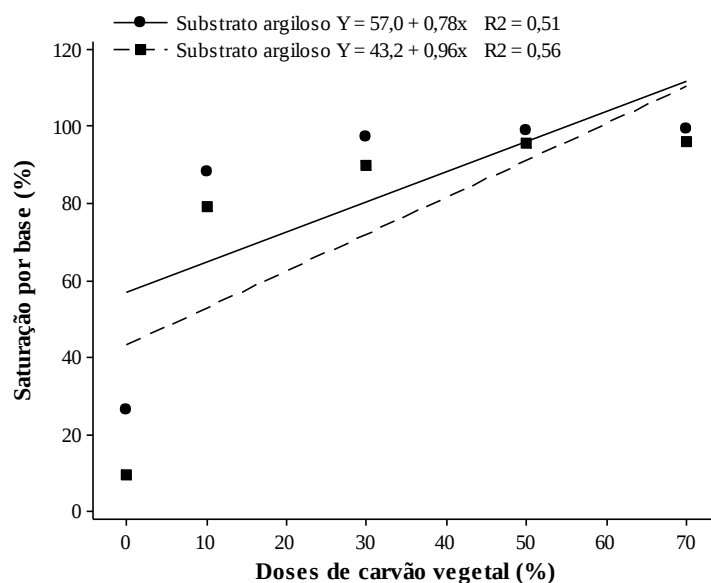


Figura 16 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Saturação por base (V%), em substrato argiloso e arenoso.

5.7.3.9 Saturação por alumínio (m)

Pela Figura 17 percebe-se que o aumento do pH e nos teores de bases trocáveis nos substratos reduziu a saturação por alumínio e esse efeito foi mais visível no substrato arenoso que passou de 84,3% no substrato arenoso sem adição de carvão vegetal para 0% no mesmo substrato com adição em todas as doses de carvão vegetal aplicadas.

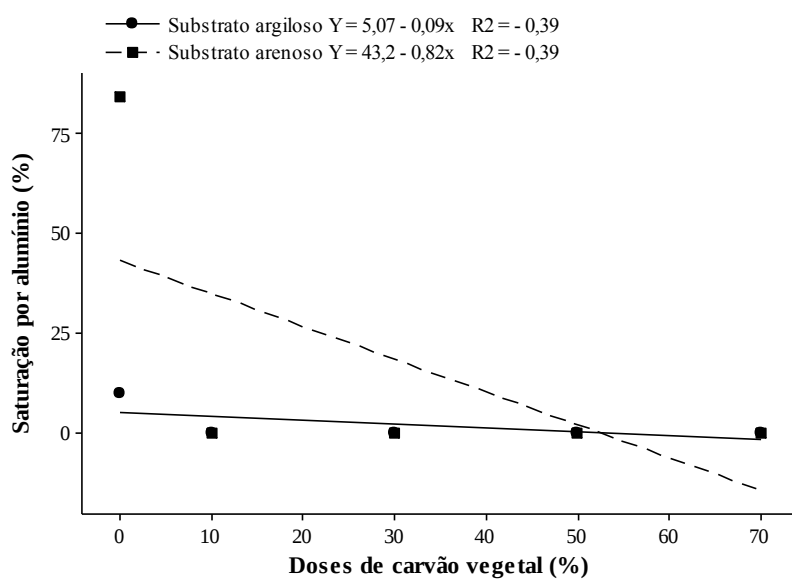


Figura 17 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e Saturação por alumínio (m%), em substrato argiloso e arenoso.

5.8 Micronutrientes no solo

Os solos diferem bastante quanto à quantidade de micronutrientes que eles contêm. Cada solo possui propriedades que interferem diferentemente no comportamento de cada elemento.

5.9 Efeito do carvão vegetal na disponibilidade de micronutrientes

Na tabela 16 estão os valores dos micronutrientes encontrados nos solos em condições naturais e após adição do cavão vegetal.

Tabela 16 – Algumas características químicas em Argissolo e Latossolo nos horizontes (Bt e Bw) antes e após adição de carvão vegetal.

Identificação	pH	p	K	Ca	Mg	H+Al	SB	V	m	Fe	Zn	Mn	Cu
	H ₂ O		-----mg dm ⁻³ -----			cmolc dm ⁻³		-----%----- -			-----mg/dm ³ -----		
Bw manuseio	5,02	0,13	32,67	0,2	0,08	1,09	0,39	26,50	9,90	2,67	0,39	0,18	0,15
Bw 10% C.V	6,30	7,33	66	1,17	0,38	0,25	1,87	88,30	0	24,33	26,69	9,89	5,73
Bw 30% C.V +	7,33	3,67	190	1,56	0,36	0,08	2,79	97,32	0	35,00	12,31	5,43	2,46
Bw 30% C.V -	6,97	4	186,3	1,04	0,19	0,04	2,06	98,12	0	32,67	1,37	2,16	0,27
Bw 50% C.V	7,82	7	336,7	2,09	0,28	0,03	4,01	99,32	0	51,33	5,08	6,35	0,64
Bw 70% C.V	8,82	26,3	614,0	2,21	0,28	0,06	5,56	98,98	0	137,5	23,34	14,78	2,78
Bt manuseio	4,76	0	2,33	0,07	0,02	0,91	0,09	9,28	84,3	218,6	0,11	0,38	0,09
Bt 10% C.V	6,16	2	61,33	0,97	0,49	0,46	1,73	79,12	0	258	15,67	3,87	2,29
Bt 30% C.V +	6,72	3	160,00	1,23	0,37	0,25	2,27	89,99	0	307	3,44	3,13	0,72
Bt 30% C.V -	6,60	8	316,67	0,99	0,15	0,53	2,71	83,88	0	341,5	1,07	7,19	2,73
Bt 50% C.V	7,41	4	181,33	1,64	0,30	0,12	2,72	96,21	0	335,0	27,34	6,31	2,72
Bt 70% C.V	8,30	15	530,00	1,92	0,26	0,23	4,79	95,39	0	178,5	18,33	12,21	2,85

H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

5.9.1 Ferro

Segundo Abreu et al. (2007) o aumento do pH diminui a presença de micronutriente no solo. Neste trabalho, a adição de carvão ao substrato argiloso proporcionou resposta linear positiva nos teores de Fe (Figura 18), o que não era esperado pelo fato do carvão vegetal ter contribuído para o aumento do pH. Isto pode ter acontecido devido ao método utilizado para extração de micronutrientes que pode não ser o ideal, em se tratando de carvão vegetal. O maior teor de Fe foi encontrado no substrato arenoso com 30% de carvão vegetal sem adubação básica, com valor igual a $351,4 \text{ mg dm}^{-3}$, considerado muito alto segundo Ribeiro et al. (1999).

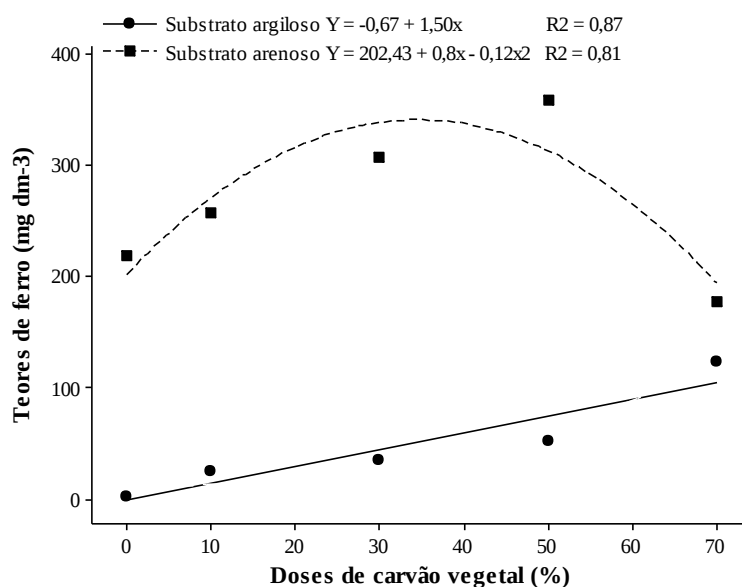


Figura 18 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Fe para substrato argiloso e arenoso

5.9.2 Zinco

Pela Figura 19 percebe-se que os dois tipos de solo mostraram comportamento semelhante em relação ao Zn seguindo uma tendência polinomial cúbica, apresentando aumento e em seguida declínio nos teores de Zn, voltando a aumento nas doses mais altas de carvão vegetal. Esta redução na disponibilidade do Zn provavelmente aconteceu porque, segundo Lopes et al., (2000) o aumento de pH do solo, o que aconteceu com a adição de carvão, faz com que o Zn seja mais adsorvido pelos óxidos e hidróxidos de Fe e de Al, no entanto o Al^{+} chegou a quase zero com o aumento das doses de carvão, o que pode ter causado novo aumento na disponibilidade do Zn. O maior teor de Zn foi encontrado no substrato arenoso com 50% de carvão vegetal com valor igual $27,34 \text{ mg dm}^{-3}$, valor este muito alto segundo Ribeiro et al. (1999).

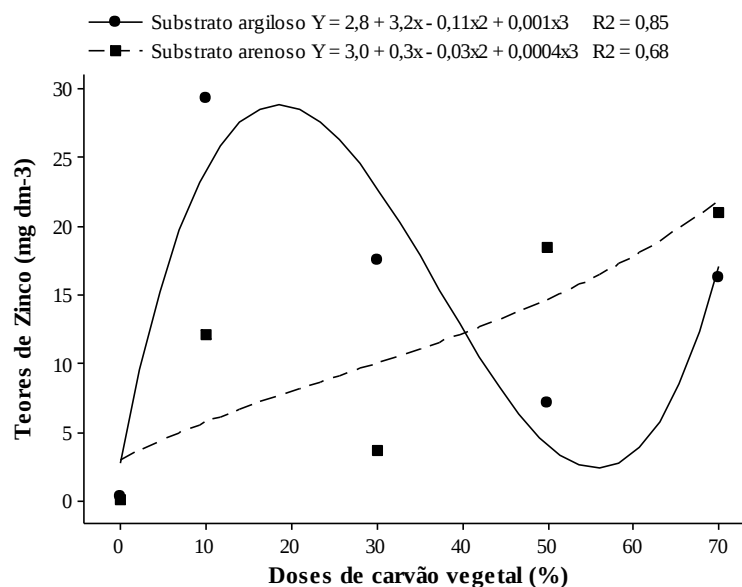


Figura 19 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Zn para substrato argiloso e arenoso

5.9.3 Manganês

Pela Figura 20 percebe-se que o tipo de solo influenciou na disponibilidade desse micronutriente, no substrato argiloso o comportamento do Mn seguiu uma tendência polinomial cúbica, apresentando aumento e em seguida declínio nos teores de Mn que volta a aumentar com o aumento nas doses de carvão. No substrato arenoso, a adição de carvão vegetal proporcionou resposta linear positiva nos teores de Mn. Esta resposta não era esperada considerando que o aumento nas doses de carvão aumentaram o pH do substrato e o Mn, assim como os outros micronutrientes, diminuem em função do aumento do pH. Isto pode ter acontecido devido ao método utilizado para extração de micronutrientes que pode não ser o ideal, em se tratando de carvão vegetal. O maior teor de Mn foi encontrado no substrato argiloso com 70% de carvão vegetal com valor igual $14,8 \text{ mg dm}^{-3}$, valor este muito alto segundo Ribeiro et al. (1999). Em estudo feito por Lehmann et al. (2002) também foi observado aumento nos teores de Mn com a adição de carvão em Latossolo.

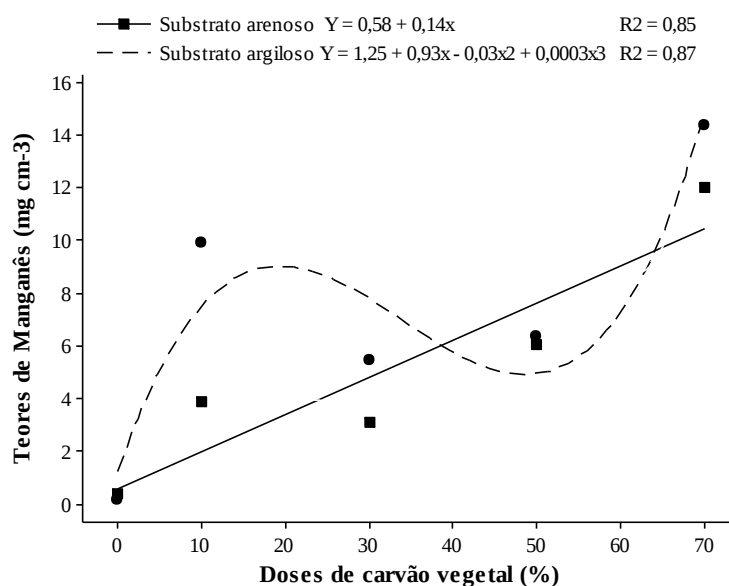


Figura 20 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Mn para substrato argiloso e arenoso.

5.9.4 Cobre

Pela Figura 21 percebe-se que os dois tipos de solo mostraram comportamento semelhante em relação ao Cu seguindo uma tendência polinomial cúbica, apresentando aumento e em seguida declínio nos teores de Cu, voltando a aumento nas doses mais altas de carvão vegetal. Isto pode ter acontecido devido ao método utilizado para extração de micronutrientes que pode não ser o ideal, em se tratando de carvão vegetal. O maior teor de Zn foi encontrado no substrato argiloso com 10% de carvão vegetal com valor igual 5,73 mg dm⁻³, valor este muito alto segundo Ribeiro et al. (1999).

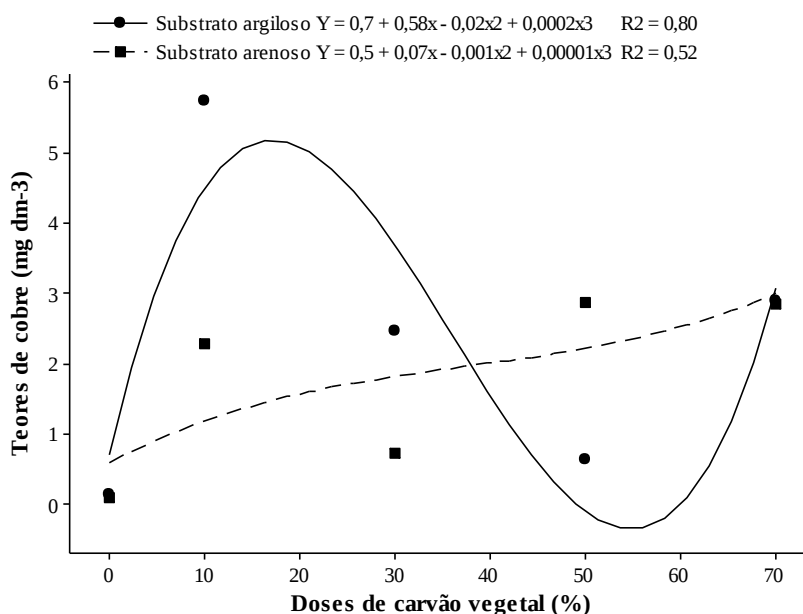


Figura 21 - Análise de regressão entre doses de carvão vegetal e teores de Cobre para substrato argiloso e arenoso

6 Conclusão

1. O uso de carvão vegetal como componente de substratos diminuiu a densidade aparente, quando em combinação com solo argiloso e arenoso, sendo esta redução mais efetiva com solo arenoso;
2. O uso de carvão vegetal em solo argiloso aumentou a macroporosidade
3. O uso de carvão vegetal em solo arenoso reduziu a macroporosidade, aumentando a retenção de água;
4. A adição de carvão vegetal e as cinzas associadas aumentaram o pH dos substratos;
5. O aumento das doses de carvão vegetal aumentou os teores de P trocável em ambos os substratos;
6. O aumento das doses de carvão vegetal teve efeito distinto nos teores de Cu no substrato argiloso e arenoso;
7. Os substratos com 30 e 50% de carvão vegetal (arenoso e argiloso) respectivamente, apresentaram maior crescimento das mudas de castanheira-do-Brasil que o crescimento verificado nas mudas em solo de floresta (terriço);
8. A adubação básica no substrato com 30% de carvão, nos dois tipos de solo, não alterou significativamente a produção da massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e a relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz em relação ao substrato sem adubação básica.
9. O substrato argiloso com 30% de carvão vegetal pode ser recomendado como substrato para a produção de mudas de castanheira-do-Brasil, por ter apresentado melhor crescimento das mudas.

7.0 REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: SBCS, Viçosa. Fertilidade do solo, (Eds. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. 2007. 1017p.

ARRUDA, J. B. de. Aspecto da germinação e cultivo do nó-de-cachorro (*Heteropteris aphrodisiaca* O. MACH.). 2001. 142f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2001.

ARRUDA, M.R.; PEREIRA, J.C.R.; MOREIRA, A. **Enraizamento de estacas herbáceas de guaranazeiro em diferentes substratos**. Cienc. Agrotec., Lavras, v.31, n.1, p. 236-2241, jan-fev., 2007.

BATAGLIA, O.C.; ABREU, C.A. **Análise química de substratos para crescimento de plantas: um novo desafio para cientistas de solo**. Viçosa: SBCS, 2001. v. 26, p. 8-9 (Boletim informativo).

BENITES, V.M, SCHAEFER, C.E.R.G., MENDONÇA, E.S. e MARTIN NETO, L. **Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro**. Rev. Bras. Ci. Solo, 25:661-674, 2001

BRASIL. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Diagnóstico do setor florestal do estado de Mato Grosso**. Brasília: IBDF, 1984. 354 p.

BUNT, A.C. Some physical properties of pot-plant composts and their effect on plant growth - 1. Bulky physical conditioners. **Plant and Soil**, Hague, v. 2, n. 4, p. 322-332, Apr. 1961.

BUNT, A.C. Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. **Plant and Soil**, The Hague, n.38, p.1954-1965, 1973.

BURÉS, S.; FERRENBURG, A.M.; POKORNY, F.A.; LANDAU, D.P. Computer simulation to understand physical properties of substrates. **Acta Horticulturae**, v.401, p.35-39, 1995.

CAMARGO, I.P.de. **Estudos sobre a propagação da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.)**. 1997. 127f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

CARRIJO, O.A.; REIS, N.V.B.; MAKISHIMA, N.; MOITA, A.W. Avaliação de substratos e de casa de vegetação para o cultivo de tomateiro na região de Brasília. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, suplemento CD-ROM, 2001. Trabalho apresentado no 41º Congresso Brasileiro de Olericultura, 2001, Brasília, DF.

CIRINO, C. G.; Guerra, H. O. C. Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.29, p.1973-1978, 1994.

COTTA, A. M. G. Qualidade do carvão vegetal para a siderurgia. Monografia. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 35p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: SBCS, Viçosa. Fertilidade do solo, (Eds. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.) 2007. 1017p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997. 247p.

FACHINELLO, J.C. et al. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2.ed. Pelotas: UFPel, 1995. 179p.

FERMINO, M.H. **Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas**. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FERMINO, M.H.; TRENTIN, A.L.; KÄMPF, A.N. **Caracterização física e química de materiais alternativos para composição de substratos para plantas: 1.Resíduos industriais e agrícolas**. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Genesis, p.241-248, 2000.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 2003. 89f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FONTENO, W. C., CASSEL, D.K. e LARSON, R.A. Physical properties of three container media and their effect on Poinsettia growth. J. Am. Soc. Hort. Sci. 106 (6): 736- 741. 1981.

FONTENO, W.C. Growing media: types and physical/chemical properties. In: REED, D.W. (ed.) **A Growers Guide to Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops**. Batavia: Ball, 1996. p.93-122.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; et al. **Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region**. Organic Geochemistry, Oxford, v. 31, n. 7/8, p. 669-678, 2000.

HANDRECK, K.; BLACK, N. **Growing media for ornamental plants and turf**. Sydney: University of New South Wales Press, 1999. 448 p.

HILLEL, D. “Field capacity” In: Soil and water physical principles and processes. New York: Academic Press, 1971b. p. 162-165.

KÄMPF, A.N.; HAMMER, P.A.; KIRK, T. Effect of the packing density on the mechanical impedance of root media. **Acta Horticulturae**, n.481, p.689-691, 1999.

KÄMPF, A.N., FERMINO, M.H. **Substratos para plantas. A base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Genesis . 2000. 312p.

KÄMPF, A.N. **Análise física de substratos para plantas**. Viçosa: SBCS. 2001. v. 26, p. 5-7 (Boletim Informativo).

KITAMURA, P.C. ; MÜLLER, C.H.M. **Castanhais nativos de Marabá-PA: Fatores de depredação e bases para sua conservação**. Belém: EMBRAPA-CPATU, n.30, 1984. 32 p.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, The Hague, v. 249, n. 2, p. 343-357, Feb. 2003.

LEHMANN, J., RONDON, M., 2006. **Bio-char soil management in highly weathered soils in the humid tropics**. In: Uphoff, N. (Ed.), Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 517–530.

LOCATELLI, M.; SOUZA, V.F. **Castanheira-do-brasil, características agronômicas produção de mudas e propagação vegetativa**. Porto Velho: EMBRAPA-UEPAE/RO, n.17, 2005. 11p.

LOPES, A. S.; ABREU, C. A. Micronutrientes na agricultura brasileira: Evolução, histórica e futura. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; SCHAEFER, C. E. G. R., Eds. Tópicos em ciências do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2000. V.1. p.265-298.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da; ALENCAR, J. da C. **Essências florestais madeiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1979. V. 1. 245p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Ed. Plantarum, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**, 4. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2000. v.1.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Comunicado técnico. 2006.

MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3. *Anais...*Campinas: Instituto Agrônomo. p. 53-75. (Documentos IAC, 70). 2002.

MEDEIROS JUNIOR, J.C. Uso do fino do carvão vegetal e da adubação potássica na produção de berinjela (*Solanum melongena* L.) em Latossolo Amarelo antropico da Amazônia central. 2007. 63P. Dissertação (mestrado em Biologia tropical e recursos naturais) – INPA/UFAM.

MILKS, R. R.; FONTENO, W. C.; LARSON, R. A. Hidrology of horticultural substrates: II. predicting physical properties of substrate in containers. **Journal American Society Horticulture Science**, Alexandria, v. 144, n. 1, p. 52-56, 1989.

MÜLLER, C.H. **Castanha-do-Brasil; estudos agronômicos**. Belém: EMBRAPA- CPATU, 1981. 25p. (Documentos, 1).

MÜLLER, C. H. Quebra de dormência e enxertia em castanha-do-brasil. Belém: EMBRAPA-CPATU, **Documento**, n.16, 1982. 40p.

MÜLLER, C. H.; Calzavara, B.B.G. **Castanha-do-brasil, conhecimentos atuais**. In: SIMPÓSIO DO TROPICO ÚMIDO, 1, 1986. ANAIS... Belém: EMBRAPA-CPATU, v. 4, p. 223-229, 1986.

MÜLLER, C.H.; FIGUEIREDO, F.J.C.; KATO, A.K.; et al. **A cultura da castanha-do-Brasil**. Brasília: EMBRAPA, CPATU, 1995. 65p. (Coleção Plantar, 23).

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M.; COUTO, L.; et al. Propagação vegetativa de eucalipto por estaquia. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 18. n. 185, p. 23-27, 1996.

OGUNTUDE, P.; FOSU, M.; AJAYI, Ayoele.; et al. 20004. **Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and textures of soil**. Biol. Fertil. Soils, 39 :295-299.

OLIVEIRA, L.A.; MOREIRA, F.W.; CRAVO, M.S. 1996. **Utilização de cupinzeiros e cinzas de madeira como adubos alternativos para hortaliças em um latossolo amarelo da Amazônia**. XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas p. 570-1.

PENTEADO, S. R. Sistema de produção de mudas frutíferas e recipientes, embalagens e acondicionamento de mudas. In: MINAMI, K. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995. cap.10, p.65-74.

PÉREZ, J. M. M.; CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E. O. Características dos finos de carvão vegetal obtido pelo processo de pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado em diferentes condições de operação. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br>>. Acesso em: 26 Fev. 2010.

PRADO, R.M.; CORRÊA, M.C.de M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, \p.1493-1500, 2002.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. Ed. Campinas: Fundação Cagill, 1985. 466p.

REINERT, D.J.; REINERT, J.M. propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria. Apostila. p.18. 2006.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. 359p.**Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5a aproximação**. Viçosa: SFSEMG, 1999.

ROWEL, D.L. **Soil science: methods & applications**. Essex: Longman, 1994. 350 p.

SEVERINO, L. S., LIMA, R. L. S., BELTRÃO, N. E. M. Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas. Campina Grande, Embrapa Algodão, 2006. (Comunicado Técnico, 278).

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: SB-CS, Viçosa. Fertilidade do solo, (Eds. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.) 2007. 1017p.

SOUZA, G. K. A1,2; TEIXEIRA, W.G2; REIS R. A1,2; Growth of crajiru (*Arrabidaea chica* Verlot.) on different growing media. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**. 2006.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; ZECH, W. 2004. **Slash and char: an alternative to slash and burn practiced in the Amazon Basin**. In: Glaser, B.; Woods, W. (Eds). Amazon dark earths: Exploration in space and time. Springer – Verlag, Berlim, PP. 183 – 193.

SWAMI, S. N; STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G. **Study of farmer charcoal production in the Brazilian Amazon and implications for ‘slash-and-char’ with carbon sequestration as an alternative to slash-and-burn**.

TROMPOWSKY, P. M.; BENITES, V. de M.; MADARI, B. E.; PIMENTA, A. S.; HOCKADAY, W. C.; HATCHER, P. G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 36, n. 11, p. 1480-1489, 2005.

TOPLIANTS, S.; PONGE, J.F.; BALLOF, S. 2005. **Manioc peel and charcoal: a potential amendment for sustainable soil fertility in the tropics**. Biological Fertility Soil. V 41: 15-21.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soil. **Soil Science**, Baltimore, v.32, p.181-193, 193.

YARED, J.A.G. **Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia**, In: Congresso Florestal Brasileiro; 6 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1990 V. 1 p. 119-122.

YARED, J.A.G.; KANASHIRO, M.; VIANA, L. M.; et al. **Comportamento silvicultural de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B.), em diversos locais na Amazônia**, In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993. Curitiba **Anais...**Curitiba: SBS-SBEF, 1993. v.2, p.416-418.