



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**FERNANDO ELAIR VIEIRA SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SUBSTRATOS COM LODO DE  
ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Aegiphila sellowiana* Cham**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES  
JULHO – 2013

FERNANDO ELAIR VIEIRA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SUBSTRATOS COM LODO DE  
ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Aegiphila sellowiana* Cham**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sustanis Horn Kunz  
Co-Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

JULHO – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

S237c Santos, Fernando Elair Vieira, 1988-  
Caracterização física e química de substratos com lodo de esgoto na produção de mudas de *Aegiphila sellowiana* Cham / Fernando Elair Vieira Santos. – 2013.  
150 f. : il.

Orientadora: Sustanis Horn Kunz.

Coorientador: Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Lodo. 2. Plantas – Morfologia. 3. Resíduos orgânicos. 4. Propriedade do substrato. I. Kunz, Sustanis Horn. II. Caldeira, Marcos Vinicius Winckler. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630


---


**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SUBSTRATOS COM LODO DE  
ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Aegiphila sellowiana* Cham**

**Fernando Elair Vieira Santos**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

Aprovada em 30 de Julho de 2013.

  
Prof. Dr. Lauri Amândio Schorn  
FURB  
Membro Externo

  
Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel  
IFES-Campus de Alegre  
Membro Externo

  
Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva  
UFES  
Membro Interno

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sustanis Horn Kunz  
UFES  
Orientadora

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me dar força para enfrentar meus desafios.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que através da contribuição do povo brasileiro financiou os meus estudos.

À Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade de realização do curso

À professora, orientadora Sustanis Horn Kunz, pela amizade, paciência, dedicação, pelas críticas, sugestões e ensinamentos nesse momento decisivo.

Ao professor, co-orientador Marcos Vinícius Winckler Caldeira, pela atenção, amizade, sugestão, ajuda e por ensinamentos como “Ler, ler muito” que me fizeram crescer.

Ao meu amigo Carlos Henrique Souto Azevedo, pela parceria, cumplicidade e pelo apoio em todas as horas, demonstrando o valor que se tem um amigo.

Ao meu amigo Thiago e sua mãe Sônia pela amizade, parceria nos estudos e acolhida.

Ao Professor Felipe Vaz Andrade, por todo conhecimento em fertilidade que foi de fundamental importância para o trabalho.

Ao Alexandro e Luiz do laboratório de Recursos Hídricos do DCFM/CCA/UFES pela ajuda em minhas análises, ensinamento e pela amizade.

A meu amigo Huezer, pelos conselhos e experiência passada.

Aos amigos de república Wesley Campanharo, Antônio da Mata, Felipe, Victor e Thalles.

A todos os professores que despenderam tempo para o meu conhecimento.

Aos alunos Ludmila, Ítalo, Wiane, Felipe e Tamires pela força no experimento. Ao senhor Edson e Dona Maria pela força no viveiro.

A todos aqueles que direta ou indiretamente participaram e contribuíram com meus objetivos e não foram citados, o meu muito obrigado.

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me protegem”.

Salmo 23:4

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| <b>RESUMO</b> .....  | viii |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | x    |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 1    |
| 1.1. OBJETIVO GERAL .....  | 2    |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 2    |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | 4    |
| 2.1. ESPÉCIE ESTUDADA .....  | 4    |
| 2.2. SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS .....   | 5    |
| 2.2.1 Lodo de esgoto .....   | 7    |
| 2.2.2 Fibra de coco .....  | 8    |
| 2.2.3 Casca de arroz .....   | 9    |
| 2.2.4 Vermiculita .....  | 10   |
| 2.2.5 Palha de café .....  | 11   |
| 2.2.6 Composto orgânico .....  | 11   |
| 2.2.7 Esterco bovino .....   | 12   |
| 2.2.8 Substrato comercial .....  | 14   |
| 2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SUBSTRATOS .....  | 14   |
| 2.3.1 Densidade .....  | 14   |
| 2.3.2 Porosidade .....   | 15   |
| 2.3.3 Disponibilidade de água .....  | 16   |
| 2.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS .....   | 17   |
| 2.4.1 pH .....   | 17   |
| 2.4.2 CTC .....  | 17   |
| 2.4.3 Condutividade elétrica e teor de sais solúveis .....   | 18   |
| 2.5. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE MUDAS FLORESTAIS   | 18   |
| <b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | 21   |
| <b>CAPÍTULO I CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE DIFERENTES SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS</b> ..... | 27   |
| <b>RESUMO</b> .....  | 28   |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | 29   |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 30   |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 32   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.1. DESCRIÇÃO DOS SUBSTRATOS.....   | 32        |
| 2.2. ANÁLISE FÍSICA DOS SUBSTRATOS .....   | 35        |
| 2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....   | 35        |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>4. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>CAPÍTULO II CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE DIFERENTES<br/>SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES<br/>FLORESTAIS .....</b> | <b>50</b> |
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>52</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>53</b> |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>55</b> |
| 2.1. DESCRIÇÃO DOS SUBSTRATOS.....   | 55        |
| 2.2. ANÁLISE QUÍMICA DOS SUBSTRATOS.....   | 55        |
| 2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....   | 56        |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>57</b> |
| 3.1. TEORES DISPONÍVEIS DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS<br>SUBSTRATOS.....   | 57        |
| 3.2. TEORES TOTAIS DE MACRONUTRIENTES NOS SUBSTRATOS ..  | 67        |
| <b>4. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>75</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>76</b> |
| <b>CAPÍTULO III QUALIDADE DE MUDAS DE <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham EM<br/>DIFERENTES SUBSTRATOS.....</b>                     | <b>80</b> |
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>81</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>82</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>83</b> |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>85</b> |
| 2.1. CARACTERÍSTICA DA ÁREA EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DO<br>EXPERIMENTO .....   | 85        |
| 2.2. DESCRIÇÃO DOS SUBSTRATOS.....   | 85        |
| 2.3. ADUBAÇÃO DE PLANTIO E IRRIGAÇÃO .....   | 86        |
| 2.4. SEMEADURA E RALEIO.....   | 87        |
| 2.5. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS MUDAS.....   | 88        |
| 2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....   | 89        |



|  |     |
|--|-----|
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 90  |
| <b>4. CONCLUSÕES</b> .....   | 107 |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | 108 |
| <b>CAPÍTULO IV CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM MUDAS DE <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham PRODUZIDAS À BASE DE LODO DE ESGOTO RESÍDUOS ORGÂNICOS E VERMICULITA</b> ..... | 113 |
| <b>RESUMO</b> .....  | 114 |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | 115 |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 116 |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 118 |
| 2.1. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO .....  | 118 |
| 2.2. ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO VEGETAL .....   | 118 |
| 2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....   | 118 |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 120 |
| 3.1. TEORES DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA .....   | 120 |
| 3.2. ACÚMULO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA .....  | 129 |
| <b>4. CONCLUSÕES</b> .....   | 133 |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | 134 |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | 138 |

## RESUMO

SANTOS, F. E. V. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SUBSTRATOS COM LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Aegiphila sellowiana* Cham.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sustanis Horn Kunz. Coorientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

A produção de mudas florestais com qualidade está associada entre outros fatores, às características e formulações de cada substrato. Partindo desse princípio, o presente estudo teve por objetivo testar a eficiência do uso de diversos resíduos e vermiculita, associados ao lodo de esgoto como componente e fonte de nutrientes aos substratos para a produção de mudas de *Aegiphila sellowiana*, e relacionar as características físicas e químicas dos substratos formulados com a qualidade das mudas produzidas. Os substratos foram formulados com diferentes proporções de lodo de esgoto (80, 60, 40 e 20% ) associado à fibra de coco, vermiculita, palha de café *in natura*, composto orgânico (esterco bovino + palha de café *in natura*), casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* além de um substrato com 100% de lodo de esgoto e uma testemunha com 100% de substrato comercial. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado com 26 tratamentos e cinco repetições de quatro plantas. Foram realizadas análises físicas e químicas dos substratos formulados e dos componentes puros. Após 45 dias da implantação do experimento, foi realizado o raleio das plântulas, permanecendo apenas um indivíduo por tubete. Após 120 da implantação do experimento, foram coletados os dados referentes as variáveis de crescimento, a partir das quais foram obtidos os índices de qualidade. A utilização de diferentes proporções de resíduos contribuiu para a melhoria de algumas propriedades físicas do substrato. O aumento das proporções de lodo de esgoto promoveram diminuição da macroporosidade (Macrop), aumento da densidade global (Dg), água facilmente disponível (AFD), água disponível (AD) e microporosidade (Microp) dos substratos formulados. Em relação as análises químicas, o substrato comercial proporcionou as maiores médias para os teores disponíveis de fósforo, cálcio e magnésio além de condutividade elétrica e teor totais de sais solúveis dos substratos. O lodo de esgoto proporcionou

aumento da fertilidade dos substratos com aumento de teores dos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, e do teor total de sais solúveis. De acordo com as características apresentadas, foram considerados mais adequados quimicamente para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais os substratos formulados com o composto orgânico. As mudas produzidas com maiores proporções de lodo de esgoto resultaram em maiores médias para altura e diâmetro do coleto. Os tratamentos formulados com composto orgânico, especialmente as proporções de 60 e 80%, proporcionaram maiores médias para as características morfométricas avaliadas sendo os mais indicados para a produção de mudas de *Aegiphila sellowiana*. O substrato comercial proporcionou as menores médias para as características morfométricas avaliadas. Os maiores acúmulos de nutrientes da parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana* foram obtidos no tratamento com 40% de lodo de esgoto associado com 60% de composto orgânico. Os nutrientes acumularam na seguinte ordem decrescente de: macronutrientes N>Ca>K>P>Mg>S.

**Palavras chave:** resíduos orgânicos, bio sólido, nutrição de mudas, crescimento inicial de plântulas.

## ABSTRACT

SANTOS, F. E. V. **PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SUBSTRATE WITH SEWAGE SLUDGE IN SEEDLING PRODUCTION OF *Aegiphila sellowiana* Cham.** 2013. Dissertation (Master in Forest Science) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Adviser: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Sustanis Horn Kunz. Co-adviser: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

The seedling production quality is associated among other factors, the characteristics and formulations of each substrate. Starting from this idea, the recent study had by appointment testing the efficiency of various wastes and vermiculite as a component and nutrients source for the substrates to the production of *Aegiphila sellowiana* plants looking for decrease the environmental impact caused by the excess of these ones and connect the physical and chemical points from the substrates formulated with the quality of the produced plants. The substrates were formulated with different ratios of sewage sludge (80, 60, 40 and 20%) associated with coconut fiber, vermiculite, straw coffee fresh, organic compost (manure + straw in nature coffee), bark carbonized rice husk and rice fresh addition of a substrate with 100% sewage sludge and a control with 100% commercial substrate. The experiment was conducted in a completely randomized design with 26 treatments and five replications of four plants. Analyses of physical and chemical substrates formulated and pure components. Within 45 days after the implantation of the experiment was carried out thinning the seedlings, leaving only one individual per pot. Within 120 days after thinning the plants, was studied the variables of growing and indexes of quality. The use of different proportions of waste contributed to the some improvement of physical properties of the substrate. The increase in the proportion of sewage sludge led to a decrease of the macroporosity (Macrop), increased global density (Dg), easily available water (AFD), available water (AD) and microporosity (Microp) substrates formulated. Regarding the chemical analysis the commercial substrate has allowed the biggest averages for the available contents of the substrates. The sewer iodine has allowed the increasing of fertility from the substrates with increasing of contents from nutrients mostly nitrogen and phosphorus and also the total content of soluble salts. The sewage sludge has allowed the increasing of fertility from the substrates with increasing of contents from nutrients mostly

nitrogen and phosphorus and also the total content of soluble salts. According to the presented particularities, were considered more adequate chemically for the plants development from forest species the formulated substrates with the organic compost. The seedlings with higher proportions of sewage sludge resulted in higher means for height and stem diameter. The formulated treatments with organic compost especially with 60 and 80 % proportions, has allowed bigger averages for the morphometric characteristics assessed being the most suitable for the production of seedlings *Aegiphila sellowiana*. The commercial substrate provided the lowest averages for the morphometric characteristics evaluated. The highest accumulation of the aerial part of the seedlings *Aegiphila sellowiana* were obtained in the treatment with 40% sewage sludge associated with 60% of organic compost. Nutrients accumulated in the following descending order: macronutrients N> Ca> K> P> Mg> S.

**Keywords:** organic residues, biosolids, nutrition seedlings, seedlings initial growth

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem aumentado a utilização de recursos naturais e conseqüentemente a produção dos mesmos para atender a demanda de alimento e materiais, o que compromete a qualidade de vida e a sobrevivência das futuras gerações. Isto porque a maior parte das técnicas empregadas na agricultura, bem como na extração de minérios, restringem a capacidade do solo de gerar condições de recuperação das atividades empregadas causando alterações nas suas propriedades e nos seus atributos de sustentação da vida, o que resulta em degradação.

Ambientes degradados são aqueles que sofreram um impacto ambiental que resultou em efeitos considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais (TAVARES, 2008) .

No que se refere a ecossistemas florestais, para sua recuperação, se faz necessário que se tenham mudas de espécies florestais, preferencialmente, as de origem do próprio ecossistema degradado. A Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, artigo 3, inciso II, que trata sobre os critérios básicos de recuperação de áreas degradadas regulamentado pelo Decreto 97.632/1989 preconiza, principalmente, a recuperação de tais áreas por meio do plantio de espécies florestais que estejam associadas ao ecossistema de origem, de modo que as funções ambientais dos ecossistemas possam ser restabelecidas (BRASIL, 1981).

Todavia, existem limitações na produção de mudas de espécies nativas, decorrentes da falta de conhecimento teórico e prático, por isso é difícil encontrar viveiros que contenham diversidade e quantidade de mudas necessárias para a recuperação de determinadas áreas. Nesse sentido, pesquisas voltadas para a produção de mudas de espécies florestais estão sendo realizadas na tentativa de minimizar tal problema. No entanto, para o estabelecimento de mudas de qualidade é crucial que se tenha um substrato que atenda as necessidades das plantas que serão produzidas.

A utilização de resíduos orgânicos urbanos na composição de substratos é uma alternativa que pode ser viável na produção de mudas, como é o caso

do esgoto urbano, cujo material é composto basicamente de matéria orgânica e água.

Este material, quando processado, resulta em um resíduo denominado lodo de esgoto, que ao ser destinado à produção de mudas de espécies nativas estará reduzindo os danos ao meio ambiente. No entanto, o destino final do lodo de esgoto é um processo que resulta em maiores gastos para as empresas de coleta e tratamento de efluentes, e por isso o descarte geralmente é realizado por meio de deposição em aterros sanitários e incineração.

Dentre as alternativas para a destinação final desse resíduo, tem destaque a sua utilização em cultivos florestais, já que de acordo com a Resolução Nº 375, de 26 de Agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2006) o lodo de esgoto não pode ser utilizado em meio agrícola, no qual o produto resultante terá partes comestíveis. A sua utilização como substrato na produção florestal ou agricultura tem como benefício a incorporação de macro e micronutrientes, além da matéria orgânica que melhora o condicionamento físico do solo e pode reduzir a utilização de fertilizantes.

Associar uma pesquisa de investigação quanto ao potencial do lodo de esgoto como componente de substratos, é avaliar a possibilidade de aplicar um material, que atualmente é fonte de poluição, na produção de mudas para a recuperação de áreas degradadas, conferindo ao mesmo, um destino sustentável.

### 1.1.OBJETIVO GERAL

Testar a eficiência do uso de diferentes substratos, produzidos a partir do lodo de esgoto como componente e fonte de nutrientes para a produção de mudas de *Aegiphila sellowiana* Cham.

### 1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Determinar as características físicas e químicas dos substratos formulados com diferentes proporções de lodo de esgoto;

- b) Avaliar os efeitos dos substratos formulados sobre as características morfológicas das mudas de *Aegiphila sellowiana*.
- c) Analisar a influência dos substratos formulados na nutrição de mudas de *Aegiphila sellowiana* em função das características químicas e físicas dos substratos formados com diferentes proporções de lodo de esgoto.
- d) Determinar as concentrações e as quantidades acumuladas de nutrientes na parte aérea das mudas de *A. sellowiana* em função dos diferentes substratos formulados a partir de lodo de esgoto.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ESPÉCIE ESTUDADA

A falta de material bibliográfico referente à produção de mudas *versus* as diferentes formulações de substratos utilizando materiais orgânicos para a produção de mudas da espécie *A. sellowiana* foi um pré-requisito para a escolha da mesma, visto que é uma espécie com potencial para reflorestamento e de suma importância na recomposição dos ecossistemas onde ocorre.

A *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) é uma espécie arbórea, com altura entre 4-7 m, popularmente conhecida como tamanqueira ou pau-de-tamanco. É uma planta decídua, heliófita, pioneira, que cresce muito bem em diferentes tipos de solo, sendo característica de formações secundárias de florestas ombrófilas e semidecíduais. As suas folhas são simples e opostas, floresce durante os meses de dezembro a janeiro e a maturação dos frutos ocorre de fevereiro a abril. As flores são melíferas de cor branca. O fruto é do tipo drupa obovóide, com coloração amarelada e uma única semente (LORENZI, 2002; PIZO, 2004).

A espécie em questão, apresenta importância ecológica e pode ser utilizada em projetos de recomposição de áreas degradadas, algumas das quais são ribeirinhas e estão sujeitas ao alagamento periódico do solo (MEDRI et al., 2012). Em estudo com o objetivo de verificar o efeito do alagamento em indivíduos jovens de *Aegiphila sellowiana*, Medri et al. (2011) constataram que plantas de *A. sellowiana* apresentaram modificações morfoanatômicas que conferem tolerância as mesmas ao alagamento.

Com o objetivo de verificar a distribuição das espécies arbóreo-arbustivas ao longo do gradiente de umidade do solo no ambiente de nascentes pontuais, Pinto et al. (2005) observaram que a *A. sellowiana* foi uma das espécies de maior densidade mostrando ter importância para o gradiente de solos drenados. Lima, Santana e Nappo (2009) verificaram o crescimento, desenvolvimento e capacidade de sobrevivência de indivíduos das espécies implantadas na área de preservação permanente e observaram que no desenvolvimento das 48 espécies estudadas em campo a *Aegiphila sellowiana*

foi uma das espécies com maior incremento em altura durante os 13 meses, ultrapassando, em média, 100 cm.

Goulart (2012) estudou a anatomia do lenho e caule de *A. sellowiana* no cerrado, e verificou que a presença de fibras septadas no lenho de caule e raiz pode estar relacionada à função de armazenamento de água e de substâncias de reserva nessas plantas, o que garantiria o suprimento de nutrientes necessários nos períodos desfavoráveis, já que essa espécie tem ocorrência em áreas de cerrado onde o solo, segundo Goulart e Marcati (2008) apresenta alterações químicas quanto ao valor de pH e disponibilidade de nutriente e impedimentos físicos e há variação sazonal das distribuições das chuvas.

## 2.2. SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS

O nível de eficiência dos substratos para germinação de sementes e iniciação radicular está associado à disponibilidade de nutrientes, boa capacidade de aeração, drenagem, retenção e quantidade de água disponível pelos mesmos (GONÇALVES; POGGIANI, 1996). O substrato tem o papel fundamental de fornecer às mudas condições químicas, físicas e biológicas para um crescimento saudável, oferecendo assim condições de transformar seu potencial genético em produtividade (KÄMPF, 2000).

As propriedades químicas dos substratos referem-se principalmente ao valor de pH, à capacidade de troca de cátions (CTC) e à salinidade (KÄMPF, 2000). As propriedades físicas de um substrato podem ser consideradas mais importantes que as químicas, já que a sua composição não pode ser facilmente alterada, por estar diretamente relacionada com as propriedades dos componentes dos substratos ao passo que as propriedades químicas podem ser alteradas com a adição de fertilizantes (CABRERA, 1999).

As propriedades biológicas de um substrato relacionam-se com a diversidade e atividade da microbiota que influenciam diretamente várias características de um determinado material, como a agregação de suas partículas vinculada a aeração, a disponibilidade de nutrientes, e o armazenamento de água (TRISTÃO, ANDRADE e SILVEIRA, 2006).

De acordo com Gonçalves e Poggiani (1996) os substratos adequados para a produção de mudas via sementes e estacas podem ser obtidos a partir da mistura de 70 a 80% de um componente orgânico, com 20 a 30% de um componente usado para elevar a macroporosidade. É sempre preferível usar componentes de um substrato em forma de mistura, pois quando usados isoladamente podem apresentar características indesejáveis à planta como pH muito ácido, elevada salinidade, baixa disponibilidade de água e nutrientes (WENDLING; GATTO, 2002).

Na escolha do material que irá compor o substrato devem-se considerar aspectos econômicos referentes ao custo, à disponibilidade e facilidade de operação do material. No que se refere às características físicas, o substrato ideal deve ser composto por 50% de material sólido, 25% por água e 25% por ar. De ordem química, devem ser considerados aspectos referentes à fertilidade, condutividade elétrica e pH. Gonçalves e Poggiani (1996) indicaram valores adequados para algumas características físicas e químicas de substratos para o crescimento de mudas de espécies florestais (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de valores para interpretação de propriedades físicas e químicas de substratos usados para produção de mudas florestais

| Propriedades  | Nível    |             |        |             |
|---|----------|-------------|--------|-------------|
|   | Baixo    | Médio       | Alto   | Adequado    |
| <b>Físicas</b>  |          |             |        |             |
| Densidade global (g cm <sup>-3</sup> )                        | < 0,25   | 0,25 - 0,50 | > 0,50 | 0,45 - 0,55 |
| Porosidade total (%)  | < 55     | 55 - 75     | > 75   | 75 - 85     |
| Macroporosidade (%)   | < 20     | 20 - 40     | > 40   | 35 - 45     |
| Microporosidade (%)   | < 25     | 25 - 50     | > 50   | 45 - 55     |
| Capacidade máx. de retenção de água (mL 50 cm <sup>-3</sup> ) | < 15     | 15 - 25     | > 25   | 20 - 30     |
| <b>Químicas</b>   |          |             |        |             |
| Relação C total/N total                                       | 8 a 12/1 | 12 a 18/1   | > 18/1 | 8 a 12/1    |
| pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01 M                                | < 5,0    | 5,0 - 6,0   | > 6,0  | 5,5 - 6,5   |
| P resina (mg dm <sup>-3</sup> )                               | < 200    | 200 - 400   | > 400  | 400 - 800   |
| K trocável (mmolc dm <sup>-3</sup> )                          | < 15     | 15 - 30     | > 30   | 30 - 100    |
| Ca trocável (mmolcdm <sup>-3</sup> )                          | < 100    | 100 - 150   | > 150  | 100 - 200   |
| Mg total (mmolc dm <sup>-3</sup> )                            | < 50     | 50 - 100    | > 100  | 50 - 100    |
| CTC efetiva (mmolcdm <sup>-3</sup> )                          | < 100    | 100 - 200   | > 200  | > 200       |

Fonte: Gonçalves e Poggiani (1996).

Dentre os componentes utilizados nos substratos para a produção de mudas de espécies florestais, apresentam destaque a vermiculita (KRATZ e

WENDLING, 2013), o composto orgânico (CALDEIRA et al., 2008), o esterco bovino (TRAZZI et al., 2012), moinha de carvão vegetal, terra de subsolo (PIO et al., 2005), serragem, bagaço de cana, acículas de *Pinus*, húmus de minhoca e o composto de resíduos sólidos orgânicos urbanos (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; NÓBREGA et al., 2007), casca de arroz *in natura* (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; VALLONE et al., 2004), palha de café, (MARTINS FILHO et al., 2007, RONDON NETO e RAMOS, 2010), fibra de coco, (NUNES, 2000; CARRIJO, LIZ e MAKISHIMA, 2002) e cama de frango (LIMA et al., 2006, GASSI et al., 2009).

### **2.2.1 Lodo de esgoto**

O tratamento das águas residuais gera um resíduo, o lodo, que vêm sendo aperfeiçoado para se obter um lodo de esgoto com características biológicas, físicas e químicas desejáveis para sua utilização em áreas agrícolas (MORAES NETO, ABREU JR e MURAOKA, 2007)

A composição de substratos por meio do uso do lodo de esgoto representa uma alternativa para a sua destinação final, refletindo em economia de fertilizantes e benefícios ambientais (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003). Por ser excelente fornecedor de matéria orgânica, o lodo de esgoto pode melhorar as propriedades físicas do solo contribuindo para a redução do uso de fertilizantes minerais e, possivelmente, para a redução dos custos para produção de espécies florestais (TSUTIYA, 2001).

Em estudo realizado com o intuito de avaliar os atributos físicos e químicos de substratos composto por lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada para a produção de mudas de espécies florestais Guerrini Trigueiro (2004) observaram que à medida que se aumentou a porcentagem de lodo de esgoto e a conseqüente diminuição da casca de arroz carbonizada ocorreu aumento na densidade aparente dos substratos e aumento da retenção de água pelo aumento da microporosidade. A quantidade de nutrientes no substrato aumentou com a elevação da porcentagem de lodo de esgoto, exceto para K e Mn. Os autores concluíram que as melhores proporções para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais foram os substratos com 30 a 60% de lodo de esgoto no seu volume total.

Em estudo comparativo entre proporções de esterco bovino e lodo de esgoto, completados com vermiculita de granulometria superfina para a produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) Camargo et al. (2010) observaram a ocorrência de decréscimos na altura de plantas quando foram usadas doses de lodo de esgoto de 20, 30 e 40%. Segundo os autores, o aumento da proporção de lodo de esgoto reduziu a granulometria dos substratos afetando a capacidade de infiltração de água e a menor circulação de oxigênio, prejudicando o máximo crescimento das plantas.

Avaliando a influência de proporções de lodo de esgoto com Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho-Amarelo em mudas de *Schinus terebinthifolius*, Radd Nóbrega et al. (2007) verificaram que as mudas que receberam substratos contendo lodo de esgoto possuíam melhor desenvolvimento vegetativo, em relação às que foram cultivadas somente com as amostras dos solos, devido à maior disponibilidade de nutrientes acrescida com lodo de esgoto.

Avaliando o lodo de esgoto como substrato para as mudas de *Ateleia glazioveana* Baill Caldeira et al. (2012) verificaram que esse componente de substrato influenciou nas características morfológicas das mudas, tais como altura, diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea e que a sua utilização para produção de mudas de *A. glazioveana*, pode ser considerado satisfatória quando utilizado na proporção de 80% da composição do substrato.

### **2.2.2 Fibra de coco**

O uso da fibra de coco é uma alternativa para a produção de substratos, sendo de fácil obtenção e baixo custo, nas regiões produtoras, por ser um resíduo da exploração comercial da água de coco. A sua composição química é dependente de variações como época do ano, fonte e quantidade de chuvas (KÄMPF, 2000).

A fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) possui excelentes qualidades físicas e químicas quando utilizada como substrato, tais como alta retenção de umidade, resistência à degradação, uniformidade, além de ser livre de patógenos e de ervas daninhas. A alta relação C/N da fibra de coco pode provocar deficiência de N às mudas por sua imobilização, uma vez que os

microrganismos decompositores utilizam o N como forma de energia para realizar a decomposição de resíduos, principalmente quando esta relação é superior a 30/1 (ARENAS et al., 2002).

Devido às suas propriedades de retenção de água, aeração do meio de cultivo e estimulador do enraizamento, a fibra de coco é um excelente material orgânico para formulações de substratos (NUNES, 2000). Ferrari (2003) afirmou que o uso da fibra de coco pode reduzir substancialmente a necessidade de irrigações ao longo do dia, principalmente no inverno, quando a taxa de transpiração é menor.

Usando diferentes combinações de lodo de esgoto e solo, lodo com fibra de coco e solo puro como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam, foram estudados por Faustino et al. (2005) que constataram que o melhor resultado foi a combinação de lodo com fibra de coco. Já Lacerda et al. (2006) descreveram que os substratos contendo pó de coco proporcionaram melhores resultados com relação às características morfológicas, em comparação com os demais substratos na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.

### **2.2.3 Casca de arroz**

É caracterizada por sua alta dureza, fibrosidade, natureza abrasiva e resistência à degradação constituindo, portanto, um subproduto agrícola de baixo valor nutritivo, sem utilidade como adubo orgânico (DELLA;KÜHN; HOTZA, 2001).

A casca de arroz carbonizada é o resultado da carbonização e não da queima da casca de arroz, tendo sido utilizada como substrato devido à sua estabilidade física e química, sendo assim, mais resistente à decomposição (WENDLING e GATTO, 2002). A casca de arroz é um dos componentes estruturais mais utilizados na produção de mudas de espécies florestais (VALERI; CORRADINI, 2000).

Segundo Couto, Wagner Júnior e Quezada (2003) a baixa densidade da casca de arroz carbonizada é uma característica importante quando se deseja aumentar a porosidade total do substrato, de modo a permitir maior drenagem

da água de irrigação ou, ainda, proporcionar uma melhor aeração do sistema radicular da muda.

Kratz, Wendling e Pires (2013) avaliaram a viabilidade técnica da utilização de diferentes granulometrias de casca de arroz carbonizada, pura ou em mistura com fibra de coco, substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita como componentes de substratos para produção de mudas de *Eucalyptu sbenthamii* x *E. dunnii* via miniestaquia. Os autores concluíram que a casca de arroz carbonizada pode ser utilizada pura (granulometria de 0,5 a 1 mm e em sua forma íntegra) ou em composição com vermiculita (50%) como substrato para produção de mudas do híbrido em questão via miniestaquia.

#### **2.2.4 Vermiculita**

A vermiculita é um mineral com a estrutura da mica que é expandida em fornos de alta temperatura. É utilizada devido à sua alta retenção de água, baixa densidade, alta CTC, e pH em torno de 8,0 (MELO; BORTOLOZZO; VARGAS, 2006). É um mineral praticamente inerte, de estrutura variável, muito leve, constituído de lâminas ou camadas justapostas, com grande aeração, alta capacidade de troca catiônica e retenção de água. Pode ser usada pura ou em misturas para promover maior aeração e porosidade a outros substratos menos porosos. Tem por desvantagens alto custo, necessidade de adubações frequentes, principalmente, de micronutrientes, e por não permitir a formação de um sistema radicular bem agregado a ela, ou a capacidade de formar torrão, dificultando desta forma o transporte das mudas até o local de plantio (WENDLING; GATTO, 2002).

A vermiculita é comprovadamente usada na melhoria da qualidade física de substratos na produção de mudas, mas, em alguns estudos esse material não se mostrou adequado à produção de mudas quando misturada com alguns substratos. Neste sentido Gomes e Paiva (2004) verificaram que vermiculita e 10% de esterco bovino, com 20% e 40% de turfa ou composto orgânico, ou com 10 e 20% de terra de subsolo, proporcionaram mudas de maior crescimento em altura; no entanto as mudas com essas formulações não tiveram um sistema radicular bem agregado ao substrato e obtiveram sintomas de deficiência de boro e zinco.

Avaliando o crescimento de mudas de *Cryptomeria japonica* produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e substratos, Santos et al. (2000) concluíram que a mistura de solo com vermiculita na proporção volumétrica de 1:1 foi o tratamento que possuiu melhor crescimento das plantas em tubetes de 120cm<sup>3</sup> superando o substrato formulado com casca de *pinus* moída com vermiculita, também na proporção volumétrica de 1:1.

### **2.2.5 Palha de café**

A cafeicultura dá origem a um volume elevado de resíduos, principalmente, à palha de café, cuja utilização tem sido objeto de diversos estudos (VEGRO; CARVALHO, 1994) como na composição de substratos. Matos et al. (1998) encontraram para cascas de frutos de cafeeiro processados por via seca valores, em dag kg<sup>-1</sup> de matéria seca, de: 1,47 de N total; 0,17 de fósforo total, 0,81 de cálcio e 3,66 de potássio, enquanto as concentrações de Zn e Cu forem respectivamente de 30 mg kg<sup>-1</sup> e 25 mg kg<sup>-1</sup> de Cu.

Martins Filho et al. (2007) concluíram que os substratos com palha de café foram inadequados para a formação de mudas de palmeiras *Bactris gasipaes* H. B. K. e *Archantophoenix alexandrae* Wendl e Drud. proporcionando o pior desenvolvimento em comparação aos demais tratamentos.

Peroni (2012) observou que proporções acima de 60% de palha de café *in natura* foram responsáveis pela redução na microporosidade dos substratos que compõem. O mesmo autor observou que proporções entre 20 e 80% de palha de café *in natura*, ou seja, os tratamentos compostos por resíduos que possuem partículas de maior tamanho são capazes de promover maior drenagem ao substrato que compõem, refletindo em menor quantidade de água facilmente disponível.

### **2.2.6 Composto orgânico**

O composto orgânico é um material biologicamente estabilizado (esterco e outros resíduos orgânicos) que passou pelo processo de compostagem, é pouco agressivo aos organismos do solo e plantas, húmico e



rico em nutrientes como enxofre, zinco, manganês e cobre, que podem ser liberados para as plantas ao longo do tempo (SILVA et al., 2002). A compostagem elimina fatores adversos ao ambiente, e aumenta o valor nutricional do composto resultante em relação ao material de partida (MAIA et al., 2003).

Alves e Passoni (1997) comentaram que a proporção de um composto na formulação do substrato para a produção de mudas deve ser definida em função das exigências da espécie. Caldeira et al. (2008) afirmam que os resultados dos índices de qualidade das mudas produzidas com 100% de composto orgânico, no geral, revelaram os menores índices, exceto para o índice de Massa Seca da Parte Aérea/Massa Seca Raiz, sendo então recomendado proporções menores, como 40% de composto orgânico e 60% de terra de subsolo para a obtenção de melhores resultados das características morfológicas de mudas de *Schinus terebinthifolius*.

Alves e Passoni (1997) observaram que mudas de oiti (*Licania tomentosa* Benth.) atingiram as maiores médias em altura de plantas quando cultivadas em substrato de terra de subsolo acrescido de composto orgânico de lixo domiciliar e vermicomposto. Esse maior crescimento é, provavelmente, consequência das melhores condições de fertilidade, que aparentemente proporcionaram maior reserva de nutrientes.

Peroni (2012) testando a eficiência do uso de fibra de coco, casca de arroz *in natura*, casca de café, composto orgânico de esterco bovino e casca de café na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden constatou que os tratamentos que continham composto orgânico em sua composição possuíram melhores resultados em termo de crescimento das mudas que os tratamentos formulados com os demais resíduos.

### **2.2.7 Esterco bovino**

O esterco bovino é um material pastoso que passou por um processo de digestão pelo trato intestinal. A principal característica da aplicação do esterco bovino não está simplesmente na adição de nutrientes ao solo, mas na sua capacidade de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Os aumentos de: retenção de água, circulação do ar, capacidade de troca

catiônica, presença de substâncias de crescimento, e agregação são mais importantes que os que os minerais adicionados pelo esterco bovino (GOMES; PAIVA, 2004). Segundo Gomes e Paiva (2004) a matéria seca do esterco de vacas leiteiras pode conter teores de nutrientes como: 50,5 g/dm<sup>3</sup> de N; 8,7 g/dm<sup>3</sup> de P; 20,4 g/dm<sup>3</sup> de K; 15,9 g/dm<sup>3</sup> de Ca; 6,8 g/dm<sup>3</sup> de Mg; 4,6 g/dm<sup>3</sup> de S; 21 mg/dm<sup>3</sup> de Cu; 106 mg/dm<sup>3</sup> de Mn; 135 mg/dm<sup>3</sup> de Zn; 354 mg/dm<sup>3</sup> de Fe; e 73 mg/dm<sup>3</sup> de B.

Na obtenção de esterco fora da propriedade, o produtor deve estar atento à origem do mesmo, especialmente quanto à presença de aditivos químicos e/ou estimulantes, hormônios, medicamentos, sanitizantes e resíduos de alimentos não permitidos. O esterco deve ser, preferencialmente, compostado, ou então, deve ser estabilizado ou curtido (RICCI e NEVES, 2006).

O esterco bovino curtido é utilizado na produção de mudas de espécies florestais em misturas com outros substratos. Sobrinho et al. (2010) testando a eficiência de substratos nas seguintes formulações: S1-solo (1); S2-solo + esterco bovino curtido (1:1); S3-solo + casca de arroz carbonizada (1:1) e S4-solo + esterco bovino curtido + casca de arroz carbonizada (1:1:1). observaram que as mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa*) produzidas nos substratos que continham esterco bovino resultaram em menor altura em relação às que não o continha.

Costa et al. (2005) testando os tratamentos: terra preta, terra preta e casca de arroz carbonizada, nas proporções de 1:1, 1:2 e 2:1; terra preta e esterco bovino, nas proporções de 1:1 e 2:1; terra preta, casca de arroz carbonizada e esterco bovino, nas proporções de 1:1:1 e 1:2:1; terra preta, casca de arroz carbonizada e areia, na proporção de 1:1:1; terra preta, casca de arroz carbonizada, esterco bovino e areia, na proporção de 1:1:1:1, verificaram crescimento superior das mudas de jenipapo (*Genipa americana*) para as características altura, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro (H, DC, H/D) nos substratos com esterco bovino, indicando a necessidade desse componente no substrato, para a produção de mudas de melhor qualidade.

## **2.2.8 Substrato comercial**

É um substrato que deve possuir algumas características qualitativas após o processo de fabricação antes de ser comercializado, como total isenção de fitopatógenos, fungos, bactérias e sementes, produto que é investigado pelo Ministério da Agricultura que é o órgão competente.

O substrato a ser utilizado ou comercializado, deve ter especificações que permitem identificar o seu valor agrícola, conforme instrução normativa (IN nº 14) que trata das definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas (MAPA, 2004).

Das especificações e garantias dos produtos Os substratos para plantas deverão apresentar as garantias de condutividade elétrica (CE) em miliSiemens por centímetro (mS/cm), sendo admitida variação máxima de 0,3 pontos para mais ou para menos; potencial hidrogeniônico (pH) em água, sendo admitida variação máxima de 0,5 pontos para mais ou para menos; umidade máxima em percentual, em peso/peso; densidade em kg/m<sup>3</sup> (em base seca) e capacidade de retenção de água (CRA) em percentual, em peso/peso (MAPA,2004).

## **2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SUBSTRATOS**

### **2.3.1 Densidade**

A densidade de um substrato é obtida pela relação entre a massa de determinada quantidade de substrato e o volume que essa massa ocupa :  $d = m / v$  (LIZ e CARRIJO, 2008). É expressa em gramas em Kg m<sup>-3</sup> que equivale a grama por litro (g L<sup>-1</sup>), tendo grande importância na compreensão de outras características dos substratos não expressas em volume como porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água (KÄMPF, 2000).

Em relação aos substratos agrícolas, a densidade pode ser determinada por meio da densidade seca ou densidade úmida, no qual é o substrato que é tido como seco ou úmido e não a densidade. A densidade úmida (DU) é resultante da relação entre a massa seca ao ar com teor de água

remanescente e o volume de substrato a ser analisado. A densidade seca (DS) é o quociente entre a massa de substrato seco em estufa e o volume do substrato a uma temperatura, normalmente inferior a 105°C para materiais compostos por partes vegetais (LIZ e CARRIJO, 2008).

A densidade do substrato pode ser modificada no ato do preenchimento, uma vez que a compactação exercida faz com que o volume de sólido por unidade de volume aumente. A água da chuva também é um grande responsável por essa compactação (CARNEIRO, 1995).

Segundo Kämpf (2000), existem diferentes valores de densidade considerados ideais para substratos. Fermino (2003) menciona que quanto menor o recipiente menor dever ser a densidade do substrato nele utilizado. E de acordo com Liz e Carrijo (2008) os valores de densidade dos substratos para a produção de mudas podem variar desde 0,10 até 1 g cm<sup>-3</sup>.

### **2.3.2 Porosidade**

O substrato ideal para a produção de mudas deve ser suficientemente poroso, afim de permitir trocas gasosas eficientes evitando faltas de ar para a respiração das raízes e para a atividade dos microrganismos presentes no meio (KÄMPF, 2000).

Segundo Fermino (2003) a forma das partículas interferem na porosidade do substrato por serem diferentes entre si. A porosidade tende a aumentar á medida que se aumenta o tamanho médio da partícula. No entanto quando combinado tamanhos diferentes de partículas a porosidade pode diminuir pelo resultado do encaixe de partículas pequenas entre os espaços livres formados pelo arranjo das partículas maiores.

A porosidade é responsável pelo transporte e armazenamento de ar e água no substrato sendo esta atividade responsável pelos macro e microporos. Em que os macroporos em condições de saturação hídrica estão preenchidos com ar, e seu volume caracterizado pelo espaço de aeração, no mesmo sentido os microporos estão preenchidos com água em volume correspondente a capacidade de retenção hídrica (KÄMPF, 2000).

Segundo Cabrera (1999) o substrato deve conter pelo menos 70% de porosidade com base em seu volume, sendo que o seu valor ideal deve estar

na amplitude de 70 a 85%. O autor ainda menciona que o espaço ocupado pelo ar é provavelmente a mais importante propriedade física do substrato.

### **2.3.3 Disponibilidade de água**

A capacidade de retenção de água diz respeito a quantidade máxima de água que um determinado substrato é capaz de reter após drenagem sem restrição e pode ser dividida em: facilmente disponível (volume de água liberado entre 10 hPa e 50 hPa de tensão), água tamponante (volume de água liberado entre 50 hPa e 100 hPa de tensão) e água remanescente (volume de água que permanece no substrato depois de aplicada a tensão de 100 hPa) (DE BOODT; VERDONCK, 1972).

Com elevada importância no manejo do regime hídrico, a retenção de umidade é determinada pelo teor, quantidade e qualidade dos componentes do substrato, principalmente a matéria orgânica e alguns tipos de material inerte como a vermiculita (FERRARI, 2003).

Nem toda a água retida pelo substrato está disponível para a planta, a água disponível é todo o volume liberado em baixas tensões (entre 10 e 100 hPa), a umidade que permanece no substrato na tensão de 100 hPa é chamada de água remanescente; materiais como matéria orgânica e vermiculita que possuem elevada superfície específica a água remanescente é alta em torno de 30% ou mais, proporcionando dificuldades de drenagem principalmente no inverno que com baixa demanda evaporativa (KÄMPF, 2000).

Substratos com menor capacidade de retenção de água como casca de arroz carbonizada, areia e moinha de carvão a irrigação precisa ser mais frequente para que não ocorra estresse hídrico na planta e lixiviação dos nutrientes (WENDLING e GATTO, 2002). Substratos de maior capacidade de retenção como a terra de subsolo, composto orgânico, fibra de coco e húmus em que o excesso de irrigação pode ocasionar encharcamento e falta de oxigênio para as raízes (GONÇALVES et al., 2000).

## 2.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS

### 2.4.1 pH

O potencial Hidrogeniônico (pH) é uma característica que indica a atividade do íon  $H^+$  da solução do substrato que pode ser classificado como alcalino ou ácido em uma escala de interpretação de 1 a 14. A sua importância está relacionada com sua influência na disponibilidade de nutrientes bem como no efeito sobre processos fisiológicos da planta (KÄMPF, 2000).

Valores de pH na faixa de 5,5 a 6,5 são favoráveis ao crescimento da maioria das plantas. Valores abaixo de 5,5 podem ocorrer danos ao crescimento em função de elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos como Al e Mn; enquanto que em pH acima de 6,5 são esperados deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre. Para as espécies florestais, o desenvolvimento no viveiro é satisfatório com pH entre 5 e 6, contudo esta questão é muito variável de espécie para espécie. (MEURER, 2007; VALERI e CORRADINI, 2000; CARNEIRO, 1995). Tendo em vista as necessidades nutricionais das plantas faz-se necessário a correção do pH através de calagem ou de condicionadores específicos (CALDEIRA et al. 2007; KÄMPF, 2000).

### 2.4.2 CTC

A capacidade de troca de cátion (CTC) de um solo ou substrato é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal, potencialmente disponíveis à absorção pelas plantas. O tamanho da partícula do substrato é um fator que afeta a CTC, quanto menor a partícula, maior será a superfície específica, e conseqüentemente maior pontos de troca (EMBRAPA, 1997; KÄMPF, 2000)

A matéria orgânica humificada apresenta alta CTC contribuindo significativamente para a melhoria dessa propriedade, sendo que com a elevação da matéria orgânica e/ou à correção do pH do substrato ocorre o aumento da CTC (KÄMPF, 2000; CARNEIRO, 1995). Silva e Mendonça (2007) descrevem a importância da matéria orgânica para a CTC do solo que contribui

com 20-90% da CTC das camadas superficiais de solos minerais e, praticamente, toda a CTC de solos orgânicos.

### **2.4.3 Condutividade elétrica e teor de sais solúveis**

A condutividade elétrica (CE) refere-se a quantidade dos constituintes inorgânicos do meio capazes de dissolver em água. A determinação dessa característica tem por objetivo conhecer a concentração salina do meio onde vão crescer as raízes das plantas, visto que a mesma pode afetar o crescimento das plantas e tem variação entre as espécies, principalmente quando da utilização de materiais alternativos. De acordo com Kämpf (2000) é importante conhecer o nível de salinidade do substrato para que não haja perdas na produção.

A salinidade pode ser derivada da adubação de base, do conteúdo natural de sais presentes nos componentes utilizados na mistura e ainda, pelo uso de misturas excessivamente ricas em nutrientes. Materiais com elevados teores de sais solúveis devem ser evitados na utilização como substratos no cultivo de plantas, e se estes forem utilizados, deve-se realizar medidas mitigatórias como a lavagem dos substratos (LACERDA et al. 2006; INGRAM, HENLEY e YEAGER, 1993).

Cavins et al (2000) relatam que a condutividade elétrica, determinada pelo método do extrato de saturação, estando entre 2,0 e 3,5 dS m<sup>-1</sup>, representa um teor de salinidade adequado para a produção, em substratos, para a maioria das espécies vegetais. Na seleção de materiais para a composição de substratos busca-se obter salinidade abaixo de 1,0 g L<sup>-1</sup> (KÄMPF, 2000).

## **2.5. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE MUDAS FLORESTAIS**

Segundo Gonçalves et al. (2000) uma muda de boa qualidade deve ter a sua altura variando entre 20 a 35 cm. Gomes e Paiva (2004), afirmam que a altura fornece uma excelente estimativa para o crescimento inicial das mudas em campo, é aceita como boa medida do potencial de desempenho das

mesmas, apesar dessa característica ser influenciada por práticas adotadas nos viveiros como a adubação e sombreamento.

O diâmetro do coleto é facilmente medido e sem a destruição da planta, tem alta correlação com a qualidade de mudas de espécies florestais e fortemente correlacionado com as demais características das mudas, chegando a explicar 70 a 80% das diferenças de peso de matéria seca que ocorrem entre elas. O diâmetro do coleto pode sofrer variação dependendo da espécie, local, do método e das técnicas de produção. O diâmetro do coleto sozinho ou combinado com a altura, é uma das melhores características morfológicas para prever o padrão de qualidade das mudas (GOMES e PAIVA, 2004).

A biomassa seca tem sido utilizada como a característica mais utilizada para determinação da qualidade das mudas, a sua utilização apresenta-se como um gargalo em determinados viveiros, por envolver a sua completa destruição, além de ser necessário o uso de estufa e balança de precisão. A massa seca de raiz tem sido reconhecida como um dos melhores e mais importantes parâmetros para estimar a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas em campo, onde a sobrevivência é maior quanto mais abundante o sistema radicial, independentemente da altura da parte aérea, havendo uma correlação entre o peso de matéria seca das raízes e a altura da parte aérea (GOMES e PAIVA 2004).

Baseados nas relações entre as características morfológicas os índices de qualidade são utilizados para a avaliação da qualidade de mudas. Segundo Carneiro (1995) na utilização dos índices de qualidade de mudas, deve-se levar em conta dois fatores: a espécie e o sítio. A densidade das mudas e a fertilidade do substrato também exercem influência nos valores que determinam o índice de qualidade das mudas.

Segundo Gomes e Paiva (2004), a relação entre a altura da parte aérea e diâmetro do coleto e a relação da massa seca da parte aérea e massa seca da raiz são índices que relacionam características importantes na avaliação da qualidade em um único índice. Neste contexto o índice de qualidade de Dickson (IQD) e uma fórmula balanceada que reúne os índices e



características de qualidade como descrito pela fórmula:

$$IQD = \frac{MST_{(g)}}{H_{(cm)}/D_{(mm)} + MSPA_{(g)}/MSR_{(g)}}$$

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W. L.; PASSONI, A. A. Composto e vermicomposto de lixo urbano na produção de mudas de oiti (*Licania tomentosa* (Benth.)) para arborização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, p.1053-1058, 1997.

ARENAS, M.; VAVRINA, C. S.; CURNELL, J. A.; HANLON, E. A. E.; HOCHMUTH, G. J. Coir as an Alternative to peat in media for Tomato transplants production. **HortScience**, Flórida, v. 37 n. 2, p 309-312, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006** – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?ano=todos&codlegitipo=3> Acesso em: 17 out. 2012.

BRASIL. LEI Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Aceso em : 02 ago. 2013.

CABRERA, R. I. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para laproducción de plantas en maceta. **Revista Chapingo-Serie Horticultura**, Chapingo, v. 1, p. 5-11, 1999.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, Guarapuava, v. 3, p. 1 - 8, 2007.

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

CALDEIRA, M. V. W. et al. Diferentes proporções de biossólido na composição de sustratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n. 93 p. 15-22. 2012.

CAMARGO, R. DE; MALDONADO; A. C. D; SILVA; P. A; COSTA; T. R. DA. Biossólido como substrato na produção de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p.1304-1310, 2010.

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

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola. **Revista Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CAVINS, T.J.; WHIPKER B. E.; FONTENO, W.C.; HARDEN, B.; McCALL, I.; GIBSON, J. L. Monitoring and managing pH and EC using the PourThru Extraction Method. **Horticulture Information Leaflet**, NCSU, Raleigh, n.590, 2000. Disponível em <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/hils/HIL590.pdf>> Acessado em: 26 mar. 2013.

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

COUTO, M.; WAGNER JÚNIOR, A.; QUEZADA, A. C. Efeito de diferentes substratos durante a aclimatização de plantas micropropagadas do porta-enxerto mirabolano 29c (*Prunus cerasífera* Ehrh.) em casa de vegetação. **Revista brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 125-128, 2003.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in Floriculture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.26, p.37-44, 1972.

DELLA, V. P.; KÜHN I.; HOTZA D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, Florianópolis, v. 24, p.778-782, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p. 1997.

FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L. GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 278-282, 2005.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 104 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

FERRARI, M P. **Cultivo do Eucalipto: Produção de Mudanças. Sistemas de Produção**4. Versão Eletrônica. 2003. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/Cultivo do Eucalipto/03\\_producao\\_de\\_mudas.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/Cultivo do Eucalipto/03_producao_de_mudas.htm)>. Acesso em: 03 abr. 2012.

GASSI, R. P.; ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. de C.; SCALON, S. P. Q.; MATTOSÓ, J. K. de A. Doses de Fósforo e de Cama de frango na Produção de Bardana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 692-697, 2009.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: UFV, 116p. 2004. (Caderno didático, 72).

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO,

13. Águas de Lindóia, 1996. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, CD-ROM, 1996.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de Mudanças de Espécies Nativas: Substrato, Nutrição, Sombreamento e Fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.309-350. 2000.

GOULART, S. L.; MARCATI, C. R Anatomia comparada do lenho em raiz e caule de *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, p. 263-275, 2008.

GOULART, S. L. Anatomia comparada do lenho de raiz e caule de *Aegiphila sellowiana* CHAM. (Verbenaceae). **Cerne**, Lavras, v. 18, p. 595-606, 2012.

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

INGRAM, D. L.; HENLEY, R. W.; YEAGER, T. H. Growth media for container grown ornamental plants. **Florida Cooperative Extension Service**, n. 241, 16p. 1993,

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254 p.

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

KRATZ, D.; WENDLING, I.; PIRES, P. P. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii* em substratos a base de casca de arroz carbonizada. **ScientiaForestalis**, Piracicaba, v. 40, p. 547-556, 2012.

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M. A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BARRETO, L. P. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.163-170, 2006.

LIMA, R. de L. S. de; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. de L. S.; JERÔNIMO, J. F.; VALE, L. S. do; BELTRÃO, N. E. de M. Substrato para produção de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n.3, p. 474-479, 2006.

LIMA, J. A. DE; SANTANA, DENISE GARCIA DE; NAPPO, MAURO ELOI. Comportamento inicial de espécies na revegetação da Mata de Galeria na fazenda Mandaguari em Indianópolis, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, p. 685-694, 2009.

LIZ, R. S. de; CARRIJO, O. A. **Substratos para a produção de mudas e cultivos de hortaliças**. Brasília: Embrapa, 83p. 2008.

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

MAIA, C. M. B de F.; BUDZIAK, C. R.; PAIXÃO, R. E. da.; MANGRICH, A. S. **Compostagem de resíduos florestais**: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais. Embrapa Florestas. Colombo,(Documento, 87), 2003.

MARTINS FILHO, S.; FERREIRA, A.; ANDRADE, B. S. de; RANGEL, R. M.; SILVA, M. F. da. Diferentes substratos afetando o desenvolvimento de mudas de palmeiras. **Revista Ceres**, Viçosa, v.54, n. 311, p. 80-86, 2007.

MATOS, A. T., VIDIGAL S. M., SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.199-203, 1998.

MEDRI, C.; PIMENTA, J. A.; RUAS, E. A.; SOUZA, L. A.; MEDRI, P. S.; SAYHUN, S.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E. O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae)?. **Semina**, Londrina, v. 33, p. 123-134, 2012.

MEDRI, C.; MEDRI, M. E.; MEDRI, P. S. ; RUAS, E. A. ; SAYHUN, S.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. . Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 25, p. 445-454, 2011.

MELO G. H. B.; BORTOLOZZO, A. R.; VARGAS, L. Substratos. In: **Produção de Morangos no Sistema Semi-hidropônico**. Sistemas de Produção, 15. Versão Eletrônica. Ago./2006. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/MorangoSemiHidroponico/substratos.htm>>. Acesso em: 02 abr. 2012.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. p 65-90. 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SARC N.º 14**. Diário Oficial da União- Seção 1, n.º 242, 17 de dezembro de 2004. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas. Brasília, 2004.

MORAES NETO, S. P.; ABREU JR, C. H.; MURAOKA, T. Uso de biossólido em plantios florestais. Embrapa Cerrados, Planaltina, v. 202, p. 1-16, 2007.( Documentos 202)

NÓBREGA, R. S. A.; BOAS, R. C. V.; NÓBREGA, J. C. A.; PAULA, A. M. de; MOREIRA, F. M. S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 239 - 246, 2007.

NUNES, M. U. C. **Produção de mudas de hortaliças com o uso da plasticultura e do pó da casca de coco**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2000. 29 p. (Comunicado Técnico, 13).

PERONI, L. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2012.

PINTO, L. V. A., DAVIDE, A.C., BOTELHO, S.A., FILHO, A. T. O., MACHADO, E. L. M. Distribuição das espécies arbóreo-arbustivas ao longo do gradiente de umidade do solo de nascentes pontuais da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 294-305, 2005.

PIZO, M. A. Frugivory and habitat use by fruit-eating birds in a fragmented landscape of southeast Brazil. **Ornitologia Neotropical**, v.15, p. 117-126, 2004

PIO, R.; RAMOS, J.D.; GONTIJO, T.; CARRIJO, E. P.; MENDONÇA, V.; FABRI, E.; CHAGAS, E.A. Substratos na produção de mudas de jabuticaba. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.4, p. 425-427, 2005.

RONDON NETO, R. M.; RAMOS, C. M. Avaliação das características físicas de substratos formulados com resíduos orgânicos para a produção de mudas florestais em tubetes. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 3, n. 2, p. 117-122, 2010.

RICCI, M. dos S. F.; NEVES, M. C. P. **Cultivo do café orgânico**: adubação. Sistemas de Produção 2, Versão Eletrônica 2006. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cafe/e/CafeOrganico\\_2ed/adubacao.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cafe/e/CafeOrganico_2ed/adubacao.htm)> Acesso em: 03 jun. 2012.

SANTOS, C. B. dos.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M., MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica*(L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.

SILVA, F. C. da; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALESTEIRO, S. D. **Uso agrícola do composto de lixo no Estado de São Paulo**: recomendações técnicas. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. (Circular Técnica).

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. p275-374, 2007.

SOBRINHO, P. S; LUZ, B. P; SILVEIRA, L. S. T; RAMOS, T. D, NEVES, G. L.; BARELLI, A. A. M. Substratos na produção de mudas de três espécies arbóreas do cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, n.2, p.238-243, 2010.

TAVARES, S. R. L. Áreas Degradadas: Conceitos e Caracterização do Problema. In: TAVARES, S. R. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 228p. 2008. Disponível em: <[http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/curso\\_rad\\_2008.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/curso_rad_2008.pdf)> Acesso em: 04 dez. 2012.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.3, p. 621-630. 2012.

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

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L. de; SILVEIRA, A. P. D. da. Fungos Micorrízico sarbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.649-658, 2006.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. cap. 4, p. 69-105.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiro para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, p.168-189, 2000.

VALLONE, H. S. GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C. A. S.; CARVALHO, J. A.; FERREIRA, R. S.; OLIVEIRA, S. Substituição do substrato comercial por casca de arroz carbonizada para produção de mudas de cafeeiro em tubetes na presença de polímero hidrodredentor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 593-599, 2004.

VEGRO, C. L.; CARVALHO, F. C. de. Disponibilidade e utilização de resíduos no processamento agroindustrial do café. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.24, n.1, p.9-16, 1994.

WENDLING, I.; GATTO, A. . **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. 1. ed. Viçosa - MG: Aprenda Fácil Editora, v. 1. 166p, 2002.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE DIFERENTES SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS**



## RESUMO

O trabalho teve como objetivo caracterizar as propriedades físicas dos componentes de diferentes substratos no crescimento inicial das mudas *Aegiphila sellowiana*. Foram avaliadas as características densidade global (Dg), porosidade total (PT), água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD), macroporosidade (Macrop) e microporosidade (Microp) dos componentes dos substratos e dos 26 tratamentos, obtidos a partir da mistura de lodo de esgoto com os resíduos (fibra de coco, palha de café *in natura*, composto orgânico, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*) e vermiculita nas proporções de 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80 (lodo de esgoto:resíduos), e uma testemunha, constituída por substrato comercial. As diferentes proporções do composto orgânico (palha de café *in natura* + esterco bovino) não promoveram diferenças significativas para Dg, PT, AD e Microp. O substrato comercial proporcionou médias de 0,60 g cm<sup>-3</sup> e 89,45% para Dg e PT respectivamente que estão acima do recomendado como ideal. Os substratos com fibra de coco e vermiculita proporcionaram alta microporosidade aos substratos com médias entre 56,09 a 64,77%. O aumento das proporções de lodo de esgoto promoveram aumento da Densidade global (Dg), diminuição da Macroporosidade, aumento da Água Facilmente Disponível (AFD), Água Disponível (AD) e Microporosidade dos substratos formulados. Os componentes dos substratos apresentam grande amplitude dos atributos físicos, devendo ser utilizados em misturas. Deste modo, nenhum dos substratos avaliados, inclusive a testemunha, proporcionou valores considerados ideais em todos os atributos avaliados. O substrato com 60% de lodo de esgoto e 40% de casca de arroz carbonizada foi o que melhor se destacou entre os demais.

**Palavras chave:** resíduos sólidos, lodo de esgoto, atributos físicos de substratos

## ABSTRACT

The study aimed to characterize the physical properties of the components of different substrates on the growth of seedlings *Aegiphila sellowiana*. Characteristics were evaluated Global density (Dg), Total Porosity (TP), Available Water (AD), Easily Available Water (AFD), Macroporosity (Macrop) and Microporosity (Microp) components of the substrates and 26 treatments, obtained from mixing sewage sludge with waste (coconut fiber, fresh coffee straw, compost, rice hulls and rice husk *in natura*) and vermiculite in the proportions of 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 and 20:80 (sewage sludge: waste or vermiculite) and a control consisting of commercial substrate. The different proportions of the organic compound (fresh coffee straw + manure) did not cause significant differences for Dg, PT, AD and Microp. The commercial substrate yielded averages of 0.60 g cm<sup>-3</sup> and 89.45% respectively for Dg and PT that are above recommended as ideal. The substrates with coconut fiber and vermiculite provided high microporosity to substrates with averages between 56.09 to 64.77%. The increase in the proportion of sewage sludge promoted increased overall density (Dg), decreased macroporosity, increased Easily Available Water (AFD), Water Available (AD) and microporosity of substrates formulated. The components of the substrates showed large amplitude of the physical attributes should be used in mixtures. Thus, none of the tested substrates, including the witness, gave values considered ideal in all attributes. The substrate with 60% sewage sludge and 40% of rice hulls was the best that stood out among the rest.

**Keywords:** solid waste, sewage sludge, physical attributes of substrates

## 1. INTRODUÇÃO

No passado, o solo era utilizado como o principal substrato para a produção de mudas, esse que por sua vez é o resultado da interação entre processos físicos, químicos e biológicos na rocha matriz. Novas tecnologias foram sendo aplicadas para garantir maior qualidade na produção de mudas, com isso o solo foi perdendo o seu espaço para substratos alternativos, como lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e *in natura*, esterco animal, vermicomposto e fibra de coco (CALDEIRA et al., 2008a; CALDEIRA et al., 2008b; SAIDELLES et al., 2009; TRAZZI, CALDEIRA e COLOMBI, 2010; TRAZZI et al., 2012). As características ou propriedades físicas dos substratos são variáveis em função do material que as originou, pelo método de produção ou obtenção e proporções dos seus componentes (WENDLING e GATTO, 2002).

Para a escolha de um substrato destinado à produção de mudas, fatores de ordem física como as características desejáveis do próprio material, a textura e densidade, que interferem na aeração, capacidade de retenção de umidade e agregação do substrato devem ser levados em conta (WENDLING e GATTO, 2002). Dificilmente um material sozinho na composição de substratos proporcionará as características desejáveis e por essa razão, em geral os substratos são resultados de mistura de um ou mais componentes (KÄMPF, 2000).

A determinação de variáveis físicas em substratos para a produção de mudas visa medir e compreender os mecanismos que regulam processos físicos e morfológicos, tais como a troca de energia, os ciclos de água e o crescimento de plantas. A aplicação prática das propriedades físicas tem como objetivo a sua gestão adequada, irrigação, drenagem, a melhoria de arejamento, da estrutura e o controle da evaporação (HILLEL, 2004).

As propriedades físicas dos substratos, uma vez nos recipientes, dificilmente poderão ser modificadas (WENDLING, GUASTALA e DOMINGOS, 2006). Por esse motivo que Cabrera (1995) ressalta que as propriedades físicas de um substrato são mais importantes que as químicas, visto que não podem ser facilmente modificadas, quando comparadas com as químicas, que podem ser facilmente modificadas através da irrigação e fertirrigação.

As propriedades físicas mais utilizadas para a caracterização de um substrato são a densidade, a porosidade, o espaço de aeração e a economia hídrica, que diz respeito aos volumes de água disponíveis em diferentes potenciais (SCHMITZ, SOUZA e KÄMPF 2002; TAPIA et al., 2008; GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; FARIAS et al., 2012; CABRERA, 1999). A determinação de variáveis físicas e em substratos para a produção de mudas auxilia no manejo correto da irrigação; na definição da mistura de componentes de substratos e na recomendação de adubações e ou fertirrigações (WENDLING e GATTO, 2002).

Testando diferentes combinações de casca de arroz carbonizada e lodo de esgoto, Guerrini e Trigueiro (2004) verificaram que foram considerados mais adequados para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais os substratos com 30 a 60 % de lodo de esgoto no seu volume total, fornecendo relações de sólido/água/ar equivalente ao substrato comercial. Caldeira et al. (2012) concluíram que a utilização do lodo de esgoto, para produção de mudas de *Ateleia glazioveana* Baill, pode ser considerado satisfatória quando utilizado na proporção de 80% da composição do substrato. Já Farias et al. (2012) utilizando substratos alternativos (fibra de coco, fibra de caju, fibra de acerola e fibra de abacaxi) para produção de mudas, concluíram que os mesmos apresentaram grande variabilidade para as características físicas e por isso os autores sugerem que devem ser utilizados em associação com outros componentes para melhorar as suas características.

Conforme descrito, o material que irá compor o substrato é variável, o que reflete na qualidade final do substrato formulado. Deste modo, a utilização de resíduos alternativos para a produção de mudas de espécies florestais deve ser iniciado com a avaliação das propriedades físicas dos materiais que compõem o substrato.

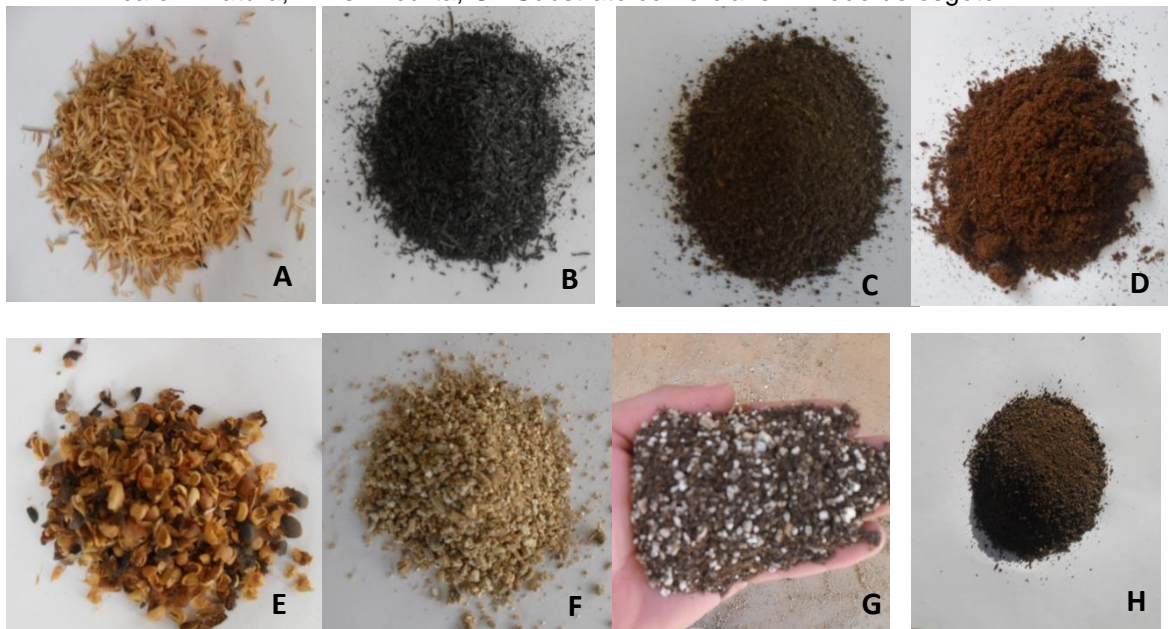
Assim, o trabalho teve como objetivo caracterizar as propriedades físicas em diferentes combinações de substratos contendo lodo de esgoto para a produção de mudas de *A. sellowiana*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. DESCRIÇÃO DOS SUBSTRATOS

Os componentes utilizados para a composição dos substratos, associados ao lodo de esgoto, foram casca de arroz *in natura* (CAN), casca de arroz carbonizada (CAC), composto orgânico (CO), fibra de coco (FC), palha de café *in natura* (PCN), vermiculita (VER) e substrato comercial (SC) estão representados na Figura 1.

Figura 1. Materiais utilizados na formulação dos substratos: A= casca de arroz *in natura*; B= casca de arroz carbonizada; C= composto orgânico; D= fibra de coco; E= palha de café *in natura*; F=vermiculita; G= Substrato comercial e H= lodo de esgoto.



Fonte: o autor

A seleção destes componentes foi baseada na disponibilidade dos mesmos na região sul do estado do Espírito Santo, com exceção da vermiculita, fibra de coco e da casca de arroz carbonizada. A palha de café e os resíduos para a formulação do composto orgânico são muito abundantes nesta região, pois a cafeicultura e a pecuária são as atividades econômicas de maior destaque entre os pequenos produtores rurais.

O lodo de esgoto (LE) utilizado foi proveniente de doação da estação de tratamento de esgoto Foz do Brasil S.A., situada em Pacotuba, distrito de

Cachoeiro do Itapemirim, região sul do estado do Espírito Santo. As quantidades de elementos químicos presentes neste material (Tabela 1) foram determinadas por meio de análise química fornecida pela própria empresa que doou o material, pois para que o mesmo pudesse ser utilizado, as quantidades dos elementos devem estar dentro dos níveis estipulados pela Resolução Nº 375, de 26 de Agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2006).

Tabela 1. Análise química do lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Foz do Brasil de Cachoeiro de Itapemirim-ES

| Parâmetros                | Resultados Analíticos       | CONAMA 375/2006          |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Arsênio                   | * < 0,5 mg dm <sup>-3</sup> | 41 mg Kg <sup>-1</sup>   |
| Bário                     | 156 mg dm <sup>-3</sup>     | 1300 mg Kg <sup>-1</sup> |
| Cádmio                    | < 0,053 mg dm <sup>-3</sup> | 39 mg Kg <sup>-1</sup>   |
| Chumbo                    | 29 mg dm <sup>-3</sup>      | 300 mg Kg <sup>-1</sup>  |
| Cobre                     | 98 mg dm <sup>-3</sup>      | 1500 mg Kg <sup>-1</sup> |
| Cromo                     | 26 mg dm <sup>-3</sup>      | 1000 mg Kg <sup>-1</sup> |
| Molibdênio                | 3,5 mg dm <sup>-3</sup>     | 50 mg Kg <sup>-1</sup>   |
| Níquel                    | 11 mg dm <sup>-3</sup>      | 420 mg Kg <sup>-1</sup>  |
| Selênio                   | < 0,5 mg dm <sup>-3</sup>   | 100 mg Kg <sup>-1</sup>  |
| Zinco                     | 409 mg dm <sup>-3</sup>     | 2800 mg Kg <sup>-1</sup> |
| Fósforo Total             | 4128 mg dm <sup>-3</sup>    | -                        |
| pH (Suspensão a 5%)       | 5,2 mg dm <sup>-3</sup>     | -                        |
| Enxofre                   | 1,3 %                       | -                        |
| Nitrogênio Total Kjeldahl | 5646 mg dm <sup>-3</sup>    | -                        |
| Nitrogênio Amoniacal      | 60 mg dm <sup>-3</sup>      | -                        |
| Carbono Orgânico Total    | 16 %                        | -                        |
| Potássio                  | 1623 mg dm <sup>-3</sup>    | -                        |
| Sódio                     | 399 mg dm <sup>-3</sup>     | -                        |

\*Valores em base seca

As diferentes misturas, aqui chamadas de substratos foram obtidos misturando-se o lodo de esgoto juntamente com os resíduos (fibra de coco, palha de café *in natura*, casca de arroz *in natura*, casca de arroz carbonizada e composto orgânico), além da vermiculita, de acordo com as proporções descritas na Tabela 2. Uma proveta graduada de 1000 ml foi utilizada para a medição dos volumes utilizados, que posteriormente ao serem misturados, foram retiradas amostras para análises físicas e químicas.

Tabela 2. Relação de substratos formulados a partir da utilização de lodo de esgoto para produção de mudas de *Aegiphila sellowiana*

| Tratamentos | LE                  | FC | VER | PCN | CO | CAC | CAN |
|-------------|---------------------|----|-----|-----|----|-----|-----|
| T01         | 100                 | -  | -   | -   | -  | -   | -   |
| T02         | 80                  | 20 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T03         | 60                  | 40 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T04         | 40                  | 60 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T05         | 20                  | 80 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T06         | 80                  | -  | 20  | -   | -  | -   | -   |
| T07         | 60                  | -  | 40  | -   | -  | -   | -   |
| T08         | 40                  | -  | 60  | -   | -  | -   | -   |
| T09         | 20                  | -  | 80  | -   | -  | -   | -   |
| T10         | 80                  | -  | -   | 20  | -  | -   | -   |
| T11         | 60                  | -  | -   | 40  | -  | -   | -   |
| T12         | 40                  | -  | -   | 60  | -  | -   | -   |
| T13         | 20                  | -  | -   | 80  | -  | -   | -   |
| T14         | 80                  | -  | -   | -   | 20 | -   | -   |
| T15         | 60                  | -  | -   | -   | 40 | -   | -   |
| T16         | 40                  | -  | -   | -   | 60 | -   | -   |
| T17         | 20                  | -  | -   | -   | 80 | -   | -   |
| T18         | 80                  | -  | -   | -   | -  | 20  | -   |
| T19         | 60                  | -  | -   | -   | -  | 40  | -   |
| T20         | 40                  | -  | -   | -   | -  | 60  | -   |
| T21         | 20                  | -  | -   | -   | -  | 80  | -   |
| T22         | 80                  | -  | -   | -   | -  | -   | 20  |
| T23         | 60                  | -  | -   | -   | -  | -   | 40  |
| T24         | 40                  | -  | -   | -   | -  | -   | 60  |
| T25         | 20                  | -  | -   | -   | -  | -   | 80  |
| T26         | Testemunha (100 SC) |    |     |     |    |     |     |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café *in natura*; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial

Para a composição dos substratos, o lodo de esgoto foi mantido exposto a pleno sol em ambiente aberto por 60 dias, e foi posteriormente passado por uma peneira de aço com malha de 2 mm para homogeneização das partículas.

A fibra de coco (FC) triturada e casca de arroz carbonizada (CAC) foram obtidas através de doação pela empresa Fibria Celulose S.A., Unidade Aracruz-ES.

O composto orgânico foi produzido no viveiro com a utilização de esterco bovino proveniente das atividades pecuárias da Área Experimental

I/Centro de Ciências Agrárias-UFES e palha de café *in natura* doada por produtores rurais da região do Parque Nacional do Caparaó/ES. As quantidades de resíduos utilizadas foram estabelecidas por meio do volume para ambos os resíduos. O mesmo volume de palha de café *in natura* e esterco bovino foram misturados e permaneceram por 60 dias em ambiente aberto para a sua estabilização biológica. Após esse processo, o material foi passado em uma peneira de malha de 2 mm para a sua homogeneização.

Como tratamento testemunha utilizou-se o substrato comercial (SC) formulado com as seguintes matérias primas: casca de pinus, esterco, serragem, fibra de coco, vermiculita, gesso agrícola, carbonato de cálcio, magnésio e aditivos (fertilizantes).

## 2.2. ANÁLISE FÍSICA DOS SUBSTRATOS

As características físicas avaliadas foram a porosidade total (PT); macroporosidade (Macrop); microporosidade (Microp) água facilmente disponível (AFD); água disponível (AD) e densidade global (Dg) dos substratos formulados (Tabela 2), que consistiram cada um em um tratamento. As mesmas características foram avaliadas nos materiais que compuseram os tratamentos: lodo de esgoto, fibra de coco, vermiculita, palha de café *in natura*, composto orgânico, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*.

Para a determinação das características avaliadas foram utilizadas três amostras de cada tratamento a fim de se realizar análises estatísticas das mesmas, sem adubação de base em um total de 2,0 L para cada tratamento. As análises físicas dos substratos listados na Tabela 2 foram determinadas no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), seguindo-se a metodologia proposta na Instrução Normativa SDA Nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

## 2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A obtenção dos dados consistiu na utilização de três repetições de três unidades amostrais para cada característica avaliada de cada tratamento. Os



dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), prosseguindo para o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) a fim de observar as diferenças entre as médias e Correlação de Pearson, para verificar a correlação entre as características avaliadas, utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2012).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 percebe-se que a medida que se aumentaram as proporções de lodo de esgoto no substrato, a sua densidade também se elevou. O lodo de esgoto era composto por agregados grandes que necessitaram de uma segregação para 2mm para melhor forma de trabalho. No entanto, essa ação provocou diminuição no espaço de aeração aumentando a massa por volume e conseqüentemente a densidade.

De forma semelhante ao presente estudo Guerrini e Trigueiro (2004) verificaram que o lodo de esgoto quando seco, tornou-se bastante coeso, necessitando-se realizar moagem para reduzir o tamanho dos grânulos. Contudo, esta característica do lodo de esgoto conferiu ao substrato uma textura granular grosseira, que poderia levar erroneamente à conclusão de ser este material capaz de conferir ao substrato maior aeração. Esta condição foi alterada com o umedecimento do substrato, o qual se expandiu ao absorver água, aumentou seu volume e, assim, ocupou espaços livres dentro do recipiente.

Neto e Ramos (2010) ao estudarem as características físicas de substratos com serragem e cama de frango, observaram que o aumento da densidade esteve relacionado com a proporção de serragem combinada com cama de frango, pois a serragem apresenta granulometria muito fina diminuindo os espaços porosos.

Quando avaliado isoladamente o lodo de esgoto proporcionou uma média de  $0,70 \text{ g cm}^{-3}$  de densidade úmida (Tabela 4), estatisticamente superior aos demais constituintes dos substratos. Diante disso, o aumento do porcentual LE nos substratos formulados conseqüentemente propiciou maior densidade.

Alguns autores sugerem que o nível ótimo para a característica de densidade global ou densidade aparente de um substrato pode ser de  $0,22 \text{ g cm}^{-3}$  (FAO, 2002) a  $0,40 \text{ g cm}^{-3}$  (CABRERA, 1999), enquanto Gonçalves e Poggiani (1996) estabeleceram o limite de  $0,45$  a  $0,55 \text{ g cm}^{-3}$  como o melhor para a produção de mudas florestais.

Tabela 3. Médias e desvio padrão das características físicas dos substratos: Densidade global (Dg), Porosidade total (PT), Macroporosidade (Macrop), Microporosidade (Microp), Água Disponível (AD) e Água Facilmente Disponível (AFD)

| Tratamento      | Dg<br>g cm <sup>-3</sup> | PT             | Macrop         | Microp<br>%    | AD             | AFD            |
|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 100% LE         | 0,70 a* ± 0,01           | 78,86 c ± 2,10 | 18,95 f ± 2,53 | 59,91 b ± 0,79 | 33,26 a ± 0,90 | 27,38 b ± 0,96 |
| 80% LE /20% FC  | 0,62 b ± 0,01            | 78,74 c ± 1,13 | 16,03 g ± 1,00 | 62,70 a ± 0,27 | 34,74 a ± 0,27 | 28,11 b ± 0,32 |
| 60% LE /40% FC  | 0,50 c ± 0,01            | 83,13 b ± 1,17 | 19,44 f ± 1,21 | 63,69 a ± 0,22 | 35,95 a ± 0,19 | 29,38 a ± 0,15 |
| 40% LE /60% FC  | 0,39 e ± 0,01            | 85,94 b ± 1,52 | 21,17 f ± 0,84 | 64,77 a ± 0,98 | 37,04 a ± 0,48 | 30,69 a ± 0,38 |
| 20% LE /80% FC  | 0,29 g ± 0,00            | 85,70 b ± 3,85 | 22,42 e ± 1,86 | 63,28 a ± 2,00 | 35,40 a ± 1,51 | 29,92 a ± 1,47 |
| 80% LE /20% VER | 0,68 a ± 0,01            | 77,28 c ± 1,68 | 15,84 g ± 1,83 | 61,44 b ± 0,36 | 29,61 b ± 0,37 | 23,49 c ± 0,42 |
| 60% LE /40% VER | 0,58 b ± 0,01            | 76,77 c ± 0,51 | 15,85 g ± 0,75 | 60,92 b ± 0,43 | 24,74 c ± 0,26 | 19,50 d ± 0,30 |
| 40% LE /60% VER | 0,42 e ± 0,02            | 75,99 d ± 4,04 | 19,36 f ± 0,86 | 56,62 c ± 3,30 | 16,76 d ± 0,80 | 12,82 f ± 0,50 |
| 20% LE /80% VER | 0,30 g ± 0,01            | 75,77 d ± 1,75 | 19,68 f ± 0,89 | 56,09 c ± 1,78 | 12,34 e ± 0,33 | 8,79 h ± 0,35  |
| 80% LE /20% PCN | 0,69 a ± 0,00            | 73,51 d ± 0,51 | 19,86 f ± 0,43 | 53,65 c ± 0,09 | 25,17 c ± 0,60 | 20,84 d ± 0,63 |
| 60% LE /40% PCN | 0,58 b ± 0,02            | 72,19 d ± 1,59 | 28,15 d ± 1,57 | 44,03 e ± 0,95 | 14,20 d ± 1,19 | 11,12 g ± 1,88 |
| 40% LE /60% PCN | 0,47 d ± 0,07            | 72,16 d ± 1,98 | 37,65 c ± 1,06 | 34,50 g ± 1,34 | 10,14 e ± 0,96 | 8,00 h ± 0,79  |
| 20% LE /80% PCN | 0,29 g ± 0,05            | 74,71 d ± 3,33 | 46,79 b ± 3,23 | 27,91 h ± 0,20 | 04,33 f ± 0,81 | 3,81 i ± 1,17  |
| 80% LE /20% CO  | 0,69 a ± 0,02            | 77,09 c ± 0,70 | 21,20 f ± 2,54 | 55,89 c ± 1,99 | 27,03 c ± 1,60 | 24,02 c ± 1,52 |
| 60% LE /40% CO  | 0,68 a ± 0,01            | 77,46 c ± 0,25 | 23,27 e ± 0,38 | 54,18 c ± 0,19 | 23,60 c ± 0,56 | 21,58 d ± 0,77 |
| 40% LE /60% CO  | 0,67 a ± 0,02            | 78,17 c ± 1,00 | 22,44 e ± 2,25 | 55,73 c ± 1,47 | 25,78 c ± 0,44 | 23,99 c ± 1,00 |
| 20% LE /80% CO  | 0,64 a ± 0,00            | 80,45 c ± 0,65 | 26,74 d ± 0,48 | 53,71 c ± 0,24 | 22,89 c ± 0,23 | 20,96 d ± 0,29 |
| 80% LE /20% CAC | 0,60 b ± 0,01            | 78,46 c ± 1,16 | 17,97 g ± 0,88 | 60,49 b ± 1,45 | 35,95 a ± 1,33 | 30,24 a ± 1,26 |
| 60% LE /40% CAC | 0,52 c ± 0,01            | 79,78 c ± 1,32 | 25,03 d ± 1,53 | 54,74 c ± 1,42 | 33,54 a ± 1,37 | 28,65 b ± 1,24 |
| 40% LE /60% CAC | 0,41 e ± 0,01            | 75,22 d ± 0,79 | 26,71 d ± 2,22 | 48,50 d ± 1,94 | 30,52 b ± 2,03 | 26,48 b ± 1,86 |
| 20% LE /80% CAC | 0,33 f ± 0,01            | 56,43 f ± 1,99 | 17,88 g ± 3,10 | 38,55 f ± 2,57 | 22,66 c ± 2,73 | 19,66 d ± 2,42 |
| 80% LE /20% CAN | 0,61 b ± 0,02            | 77,90 c ± 1,16 | 22,74 e ± 2,22 | 55,16 c ± 1,20 | 29,91 b ± 1,27 | 24,00 c ± 1,28 |
| 60% LE /40% CAN | 0,57 b ± 0,01            | 68,98 e ± 3,24 | 23,52 e ± 2,99 | 45,46 e ± 0,95 | 21,32 c ± 0,50 | 17,08 e ± 0,09 |
| 40% LE /60% CAN | 0,43 e ± 0,05            | 79,58 c ± 3,99 | 45,14 b ± 4,74 | 34,43 g ± 1,19 | 11,62 e ± 1,96 | 9,98 g ± 1,84  |

Continua...

Continuação Tabela 3

| Tratamento      | Dg<br>g cm <sup>-3</sup> | PT             | Macrop         | Microp<br>%    | AD              | AFD            |
|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 20% LE /80% CAN | 0,26 g ± 0,03            | 75,35 d ± 2,45 | 53,48 a ± 2,68 | 21,86 i ± 0,25 | 0,40 f ± 0,13   | 0,25 j ± 0,14  |
| 100% SC         | 0,60 b ± 0,01            | 89,45 a ± 1,49 | 40,19 c ± 0,96 | 49,25 d ± 1,64 | 23,29 c ± 12,41 | 14,70 f ± 1,55 |
| F               | **                       | **             | **             | **             | **              | **             |
| CV(%)***        | 27,65                    | 8,17           | 40,04          | 22,29          | 42,93           | 43,61          |

LE- Lodo de Esgoto; FC- Fibra de Coco; PCN- Palha de Café *in natura*; CO- Composto Orgânico à base de palha de café *in natura* e esterco bovino; CAN- Casca de Arroz *in natura*; SC- Substrato Comercial à base de casca de pinus e vermiculita  
 \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

Tabela 4. Médias e desvio padrão das características físicas dos componentes dos substratos: Densidade global (Dg), Porosidade total (PT), Macroporosidade (Macrop), Microporosidade (Microp), Água Disponível (AD), Água Facilmente Disponível

| Descrição | Dg<br>g cm <sup>-3</sup> | PT             | Macrop         | Microp<br>%    | AD              | AFD            |
|-----------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 100% LE   | 0,70 a* ± 0,01           | 78,86 b ± 2,10 | 18,95 e ± 2,53 | 59,91 a ± 0,79 | 33,26 a ± 0,90  | 27,38 a ± 0,96 |
| 100% SC   | 0,60 b ± 0,01            | 89,45 a ± 1,49 | 40,19 b ± 0,96 | 49,25 c ± 1,64 | 23,29 b ± 12,41 | 14,70 d ± 1,55 |
| 100% FC   | 0,18 e ± 0,00            | 92,49 a ± 1,99 | 35,87 c ± 2,53 | 56,62 b ± 0,69 | 27,57 a ± 1,24  | 23,11 b ± 1,20 |
| 100% VER  | 0,12 f ± 0,00            | 73,58 c ± 3,26 | 24,93 d ± 2,06 | 48,65 c ± 1,35 | 05,80 c ± 0,98  | 03,51 e ± 0,38 |
| 100% PCN  | 0,13 f ± 0,01            | 56,27 e ± 2,06 | 40,91 b ± 2,11 | 15,36 e ± 0,45 | 00,62 c ± 0,22  | 00,43 f ± 0,28 |
| 100% CO   | 0,59 c ± 0,01            | 79,88 b ± 0,57 | 31,80 c ± 1,75 | 48,09 c ± 1,24 | 19,50 b ± 1,20  | 17,70 c ± 1,00 |
| 100% CAC  | 0,23 d ± 0,00            | 80,87 b ± 2,06 | 50,98 a ± 4,68 | 29,89 d ± 2,88 | 17,02 b ± 2,58  | 15,62 d ± 2,44 |
| 100% CAN  | 0,12 f ± 0,00            | 65,38 d ± 1,41 | 53,36 a ± 1,12 | 12,02 f ± 0,31 | 01,06 c ± 0,43  | 00,42 f ± 0,19 |
| F         | **                       | **             | **             | **             | **              | **             |
| CV(%)     | 71,22                    | 14,95          | 31,08          | 44,27          | 77,22           | 77,18          |

LE- Lodo de Esgoto; FC- Fibra de Coco; PCN- Palha de Café *in natura*; CO- Composto Orgânico à base de palha de café *in natura* e esterco bovino; CAN- Casca de Arroz *in natura*; SC- Substrato Comercial à base de casca de pinus e vermiculita  
 \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

Considerando que no cenário nacional a literatura de Gonçalves e Poggiani (1996) é a mais utilizada para interpretação das características dos substratos, na qual consideram que a densidade global ( $D_g$ ) adequada para o substrato deve situar-se entre 0,45 a 0,55  $\text{g cm}^{-3}$ , o lodo de esgoto, o substrato comercial e o composto orgânico excederam esse limite apresentando densidade alta. Em contra partida a fibra de coco, a vermiculita, a palha de café *in natura*, a casca de arroz carbonizada e a casca de arroz *in natura* apresentaram limites bem inferiores ao considerado adequado o que demonstra que estes devem ser utilizados apenas em misturas com outros resíduos para evitar baixa densidade do substrato, como já foi descrito por (KÄMPF, 2000).

Em relação aos tratamentos, todos aqueles formulados com composto orgânico, independente da proporção dos resíduos (T 14, 15, 16 e 17), proporcionaram densidade elevada. Corroborando com o presente estudo, Guerrini e Trigueiro (2004), utilizando diferentes doses de biossólido associado a casca de arroz carbonizada na composição de substrato, chegaram a conclusão que a medida em que se aumentou as proporções (100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 e 0%) de lodo de esgoto a densidade do substrato também aumentou, atingindo cerca de 0,60  $\text{g cm}^{-3}$ .

De forma contrária ao presente estudo, Wendling, Guastala e Domingos (2007), avaliando as características físico-químicas de diferentes materiais, bem como sua influência na produção de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) de qualidade observaram que de maneira geral os tratamentos que continham substrato comercial apresentaram menor densidade.

De modo geral, todos os resíduos utilizados em diferentes proporções para a formulação dos substratos, com exceção do composto orgânico, apresentaram níveis de densidade considerados adequados conforme a escala de valores sugerida por Gonçalves e Poggiani (1996). A proporção de lodo de esgoto é que parece determinar o nível de densidade, independente do resíduo utilizado, pois as menores proporções de LE (20 e 40 %) associadas à maior quantidade de resíduos (60 e 80 % FC, VER, PCN, CAC e CAN) propiciaram melhor densidade global.

A maioria dos tratamentos proporcionaram porosidade entre 75 e 85 %, cujos valores são considerados adequados de acordo com Gonçalves e

Poggiani (1996). Apenas os tratamentos formulados com casca de café *in natura* e os tratamentos T21 (20% LE /80% CAC) e T23 (60% LE /40% CAN) apresentaram porosidade considerada média (entre 55 e 75 %) e os tratamentos T4 (40% LE /60% FC), T5 (20% LE /80% FC) e (T26 100% SC) consideradas como altas. A palha de café *in natura* obteve a menor média de porosidade entre os materiais em estudo (Tabela 4), o que pode explicar as densidades médias dos tratamentos formulados com esse resíduo. Adicionalmente, o substrato comercial e a fibra de coco analisadas isoladamente obtiveram as maiores médias para a porosidade total, o que pode explicar a diminuição da densidade dos tratamentos formulados com maiores proporções de fibra de coco.

Lima et al. (2007) ressaltam que a densidade possui estreita relação com outros atributos como porosidade, condutividade hidráulica e difusividade do ar, sendo que a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total. De acordo com Secco et al. (2005), a porosidade total tem apresentado grande relação com a compactação e a resistência à penetração, as quais tendem a aumentar com a redução do espaço poroso.

Lacerda et al. (2006) encontraram maiores médias para a porosidade do pó de coco que apresentou média de 73,61% quando avaliado de forma isolada não diferindo estatisticamente do resíduo de sisal com média de 83,81%. Os autores também observaram que o aumento da porosidade dos substratos com Argissolo Vermelho-Amarelo e pó de coco nas proporções de 1:1; 1:2 e 1:4 esteve associado às maiores proporções de pó de coco.

As médias de macroporosidade ou espaço de aeração, variaram bastante entre as composições dos substratos, em que apenas os tratamentos T12 (40% LE e 60% PCN) e o T26 (100% SC) apresentaram médias consideradas adequadas (35 – 45%) segundo Gonçalves e Poggiani (1996). Os tratamentos T13 (20% LE /80% PCN), T24 (40% LE /60% CAN) e T25 (20% LE /80% CAN) mesmo sendo considerados como médias altas, estão próximos da faixa considerada como adequada. Os demais tratamentos proporcionaram valores de macroporosidade considerados pelos autores como médios e baixos (Tabela 3).

A medida em que se aumentou as proporções de lodo de esgoto a macroporosidade dos substratos diminuiu, fato que está relacionado com a baixa macroporosidade (18,95%) apresentada por esse resíduo, e a menor média para esta característica entre os resíduos. A vermiculita também apresentou média baixa de espaço de aeração (Tabela 4), o que pode ser observado na menor variação desta característica nos substratos compostos.

Na literatura existem controversas a respeito do valor ideal de espaço de aeração. De Boot e Verdonk (1972) afirmam que um bom substrato para produção de mudas deve situar-se entre 20 e 40% de espaço de aeração enquanto, Carrijo et al. (2002) afirmam que um bom substrato deve possuir um espaço de aeração entre 10 e 30%. Já Gonçalves e Poggiani (1996) indicam que o valor ideal para espaço de aeração deve situar-se entre 35 e 45%.

Houve correlação negativa e significativa entre a macroporosidade e a densidade global, conforme a Tabela 5. A maior densidade pode ser resultado de maior compactação do substrato resultando em menor espaço de aeração (DE BOOT e VERDONK, 1972).

Em se tratando da microporosidade, assim como a macroporosidade, as médias variaram muito entre os tratamentos, em que apenas os tratamentos T10 (80% LE /20% PCN), T15 (60% LE /40% CO), T17 (20% LE /80% CO), T19 (60% LE /40% CAC), T20 (40% LE /60% CAC), T23 (60% LE /40% CAN) e T26 (100% SC) proporcionaram médias no limite considerado adequado por Gonçalves e Poggiani (1996).

Tabela 5. Correlação entre os atributos físicos, densidade global (Dg), porosidade total (PT), macroporosidade (Macrop), água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD) e microporosidade (Microp)

|        | Dg                 | PT                 | Macrop  | AD     | AFD    | Microp |
|--------|--------------------|--------------------|---------|--------|--------|--------|
| Dg     | 1,00**             |                    |         |        |        |        |
| PT     | 0,14 <sup>ns</sup> | 1,00**             |         |        |        |        |
| Macro  | -0,43*             | 0,07 <sup>ns</sup> | 1,00**  |        |        |        |
| AD     | 0,43*              | 0,37 <sup>ns</sup> | -0,73** | 1,00** |        |        |
| AFD    | 0,42*              | 0,32 <sup>ns</sup> | -0,72** | 0,98** | 1,00** |        |
| Microp | 0,46*              | 0,46*              | -0,84** | 0,85** | 0,82** | 1,00** |

Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ).

Todos os tratamentos formulados com fibra de coco apresentaram as maiores médias para microporosidade independente da proporção de lodo de esgoto ou da fibra de coco e todos estão dentro dos limites superiores e adequado de acordo com o estabelecido por Gonçalves e Poggiani (1996), fato que pode ser devido a alta microporosidade da fibra de coco avaliada de forma isolada. O lodo de esgoto obteve a maior média de microporosidade entre os resíduos, sendo classificada como alta, o que pode ter ocasionado o aumento da microporosidade dos tratamentos na medida em que se aumentava a sua proporção nas formulações.

Guerrini e Trigueiro (2004) observaram que o aumento na dose de biossólido nas misturas elevou a microporosidade do substrato, o que proporcionou maior capacidade em reter água. De modo semelhante, no presente estudo o aumento das proporções de casca de arroz carbonizada e *in natura* promoveram redução na proporção de microporos do substrato, reduzindo sua capacidade de retenção de água.

A microporosidade correlacionou-se significativa e positivamente com a densidade global e porosidade total e, negativamente com a macroporosidade (Tabela 6), o que pode explicar a relação de aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade e densidade. Corroborando com os resultados obtidos, Gonçalves e Poggiani (1996) observaram que normalmente, substratos leves, de baixa densidade, como casca de arroz carbonizada e vermiculita, elevam a macroporosidade das misturas e reduzem a capacidade de retenção de água do substrato.

O valor ideal da água disponível de um substrato deve ser de no mínimo 20% (FERMINO, 1996), cujo valor foi verificado para a maioria dos tratamentos (Tabela 3). Contudo, a vermiculita, a palha de café *in natura* e a casca de arroz *in natura* apresentaram valores de água disponível fora dos limites estabelecidos como ideal, o que possivelmente influenciou no resultado final de baixa disponibilidade de AD para os substratos formulados com tais resíduos e vermiculita, principalmente nas proporções acima de 60 % para qualquer um deles (Tabela 3).

Observou-se que os tratamentos que proporcionaram as menores médias de macroporosidade e maiores de microporosidade apresentaram maiores médias de água disponível. O lodo de esgoto também influenciou na



quantidade de água disponível, em que os tratamentos com maiores proporções do resíduo, com exceção dos tratamentos formulados com fibra de coco, proporcionaram maiores médias de água disponível, fato que pode estar relacionado às maiores médias de microporosidade desses resíduos e conseqüentemente de água disponível.

Houve correlação positiva e significativa entre a água disponível e densidade global (0,43) e microporosidade (0,85) e negativa com a macroporosidade (-0,73), conforme Tabela 5. Maeda et al. (2007) caracterizaram fisicamente diferentes substratos e encontraram correlação negativa e não significativa entre a água disponível e a macroporosidade ( $r = -0,62^{ns}$ ) indicando que os macroporos pouco contribuem para o armazenamento de água no substrato. No entanto, a microporosidade apresentou correlação positiva e significativa com a água disponível ( $r = 0,84$ ), certificando que os microporos são os que mais contribuem no armazenamento de água, semelhante ao ocorrido no presente estudo.

Utilizando o húmus como fonte de matéria orgânica na composição de substratos, Steffen et al. (2010) verificaram que a medida que se aumentou as proporções de húmus adicionadas à casca de arroz carbonizada houve elevação nos valores de água disponível corroborando com o presente estudo em que a fonte de matéria orgânica utilizada (lodo de esgoto) possivelmente foi a responsável pela maior retenção de água.

Carrijo et al. (2002) e Fermino (2003) relatam que um bom substrato deve possuir porcentagem de água facilmente disponível entre 20 a 30%. Os tratamentos formulados com fibra de coco e composto orgânico proporcionaram as maiores médias para esta característica, o que possivelmente pode ser ocasionado pela alta microporosidade desses resíduos, acarretando assim maior retenção de água.

O aumento das proporções de fibra de coco nos tratamentos resultou em aumento da água facilmente disponível. Com os demais tratamentos ocorreu o inverso, pois a medida que se aumentou as proporções de resíduos diminuiu a quantidade de água facilmente disponível, o que pode estar relacionado com a alta microporosidade do lodo de esgoto.

A maior granulometria possivelmente foi a responsável pela diminuição da água facilmente disponível. Para Klein et al. (2000) a forma de acomodação

dos substratos dentro do recipiente é o que irá determinar a granulometria do substrato, a qual irá governar toda a dinâmica de água e ar. É possível observar que os tratamentos com as maiores médias de espaço de aeração proporcionaram as menores médias para água facilmente disponível.

Alguns estudos evidenciaram a influência da granulometria na disponibilidade de água, como no estudo de Fernandes, Corá e Braz (2006), que avaliaram o desempenho de substratos compostos por areia, bagaço de cana-de-açúcar e casca de amendoim. Os autores observaram diferenças significativas para os valores da água facilmente disponível dos substratos, devido à granulometria de tais resíduos. Zanetti et al. (2003) observaram que o aumento da granulometria de substratos comerciais a base de fibra de coco proporcionou diminuição no teor de água disponível, proporcionada pela rápida drenagem em materiais com maior granulometria. Discordando dos trabalhos expostos Caron, Rivière e Guillemain (2005), afirmaram que a distribuição de tamanho de partículas de substratos não interfere na água facilmente disponível.

A água facilmente disponível, assim como a água disponível, correlacionou-se positivamente com a densidade global (0,42), microporosidade (0,82) além da própria água disponível (0,98) e negativamente com a macroporosidade (-0,72), conforme Tabela 5. O que pode explicar o aumento da água disponível dos substratos com maior porcentagem de microporosidade e menor porcentagem de água disponível com maior porcentagem de macroporosidade.

#### **4. CONCLUSÕES**

O aumento das proporções de lodo de esgoto e consequente diminuição dos resíduos promoveram aumento da densidade global, diminuição da macroporosidade, aumento da água facilmente disponível, água disponível e microporosidade dos substratos formulados.

Nenhum dos substratos avaliados, inclusive a testemunha, proporcionou valores considerados ideais em todos os atributos físicos avaliados.

O substrato com 60% de lodo de esgoto e 40% de casca de arroz carbonizada foi o que melhor se destacou entre os demais em que dos seis atributos avaliados cinco foram considerados ideais.

Os componentes dos substratos isolados apresentam grande amplitude dos atributos físicos devendo ser utilizados em misturas.

A utilização de diferentes proporções de resíduos contribuiu para a melhoria das propriedades físicas de alguns substratos, visto que, nem todas as proporções foram benéficas aos atributos avaliados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRERA, R. I. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para laproducción de plantas en maceta. **Revista Chapingo-Serie Horticultura**, Chapingo, v. 1, p. 5-11, 1999.

CABRERA, R. I. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical properties. **Rutgers Cooperative Extension Factsheet**, 4 p. 1995.

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

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

CALDEIRA, M. V. W., BLUM, H., BALBINOT, R., LOMBARDI, K. C. Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.6, p.191-202. 2008b.

CARON J; RIVIÈRE LM; GUILLEMAIN, G. Gas diffusion and air filled porosity: Effect of some oversize fragments in growing media. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, p.57-65, 2005.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in Floriculture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.26, p.37-44, 1972.

FARIAS,W. C. de.; OLIVEIRA, L. L. de P.; OLIVEIRA, T. A. de.; DANTAS, L. L. de G. R.; SILVA, T. A. G.Caracterização física de sustratos alternativos para produção de mudas. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos v.8, n.3, p.1-5, 2012.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de sustratos para plantas**. 104 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

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

FERNANDES, C.; CORA, J. E.; BRAZ, L. T. Desempenho de sustratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 24, p. 42-46, 2006.

FAO, **El cultivo protegido en clima mediterráneo**. Medios y técnicas de producción. Estudios FAO: Producción y Protección Vegetal 90. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, 2002. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/005/S8630S/s8630s07.htm#TopOfPage>> acessado em 20 fev. 2013.

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. Águas de Lindóia, 1996. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, CD-ROM, 1996.

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

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Elsevier Acad. Press, 494p. 2004.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 254p. 2000.

KLEIN, V. A.; SIOTA, T. A.; ANESI, A. L.; BARBOZA, R. Propriedades físico-hídricas de substratos hortícolas comerciais. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v.6, n.3, 2000.

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M. A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BARRETO, L. P. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 163-170. 2006.

LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P.; MELO, L. M. M.; LIMA, R.C.. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1233-1244, 2007.

MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, v. 54, p. 97-104, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA Nº 17**. Diário Oficial da União- Seção 1, nº 99, 24 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília, 2007.

NETO, R. M. R.; RAMOS, C. B. Avaliação das características físicas de substratos formulados com resíduos orgânicos para a produção de mudas florestais em tubetes. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava, v3, 2010.

R Core Team (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012 Disponível em:<http://www.R-project.org/> Acesso em 05 jan. 2013

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHIRMER, W. N.; SPERANDIO, H. V. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, p.173-1186. 2009.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.3, p. 407-414, 2005.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; BELLÉ, R. A. Húmus de esterco bovino e casca de arroz carbonizada como substratos para a produção de mudas de boca-de-leão. **Acta Zoológica Mexicana**, Cidade do México, v. 16, p. 345-357, 2010.

TAPIA, P. V.; RAMOS, J. Z. C.; GARCÍA, P. S.; CHÁVEZ, L. T.; ROMERO, R. M. L.; ARREDONDO, J. L. O. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, vol. 31, n. 4, p. 375-381, 2008.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R. Avaliação de mudas de *Tecoma stans* utilizando biossólido e resíduo orgânico. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.85, p. 128-226. 2010.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, v.42, n.3, p. 621-630. 2012.

WENDLING, I. I. GUASTALA, D; DOMINGOS, D. M. Substratos para a produção de mudas de erva-mate em tubetes plásticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 52, p. 21-36, 2006.

WENDLING, I.; GATTO, A. . **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. 1. ed. Viçosa - MG: Aprenda Fácil Editora, v. 1. 166p, 2002.

WENDLING, I.; GUASTALA, D; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 209-220, 2007.

ZANETTI, M.; FERNANDES, C.; CAZETTA, J. O.; CORÁ, J. E.; JUNIOR, D. M. Características físicas de substratos para produção de mudas cítricas sob telado. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n.2, p.507-518, 2003.

## **CAPÍTULO II**

### **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE DIFERENTES SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS**

## RESUMO

O trabalho teve como objetivo caracterizar as propriedades químicas dos substratos formulados à base de lodo de esgoto em diferentes combinações com resíduos orgânicos e vermiculita. Foi realizada análise de teores totais e teores disponíveis dos componentes dos substratos e dos 26 substratos, obtidos a partir da mistura de lodo de esgoto com vermiculita e os resíduos fibra de coco, palha de café *in natura*, composto orgânico, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*, nas proporções de 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80 (lodo de esgoto:resíduos), e uma testemunha, constituída por substrato comercial. O substrato comercial proporcionou as maiores médias para os teores disponíveis de fósforo, cálcio e magnésio. O lodo de esgoto proporcionou aumento da fertilidade dos substratos com aumento de teores de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Os resíduos aumentaram o valor do pH dos substratos os quais variaram de 5,6 a 7,3. Os componentes dos substratos apresentaram teores de nutrientes distintos, devendo ser utilizados em misturas. De acordo com os nutrientes totais e disponíveis dos substratos, foram considerados mais adequados para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais os substratos formulados com o composto orgânico.

**Palavras chaves:** fertilidade dos substratos, nutrição para plantas, lodo de esgoto, resíduos orgânicos



## **ABSTRACT**

The study aimed to characterize the chemical properties of the substrates formulated based on sewage sludge in different combinations with organic wastes and vermiculite. Were analyzed for total and available contents of components of the substrates and the substrates 26, obtained from the mixture of sewage sludge with vermiculite and waste coconut fiber, fresh coffee straw, compost, rice hulls and rice husk in nature, in the proportions of 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 and 20:80 (sewage sludge: waste) and a control consisting of commercial substrate. The commercial substrate gave the highest averages for the available concentration of phosphorus, calcium and magnesium. The sewage sludge provided to increase the fertility of substrates with increased levels of nutrients, especially nitrogen and phosphorus. The waste increased the pH of substrates which varied from 5.6 to 7.3. The component of the substrates showed different levels of nutrients, which should be used in mixtures. According to total nutrients and substrates available, were considered most suitable for the development of forest seedlings of the substrates formulated with the organic compound.

**Keywords:** fertility substrates, nutrition for plants, sewage sludge, organic waste

## 1. INTRODUÇÃO

As características químicas dos substratos estão relacionadas com a sua capacidade de fornecer nutrientes as mudas. A caracterização química dos substratos e de suas matérias primas é crucial para o conhecimento da formulação, recomendação e monitoramento de adubações o que contribui para a qualidade dos mesmos.

O material de origem dos substratos é variável, logo as características dos mesmos também são muito variáveis (WENDLING e GATTO, 2002). Dentre as características químicas aquelas que têm destaque geralmente são o potencial de hidrogênio (pH), a capacidade de troca de cátions (CTC), a salinidade e o teor de matéria orgânica (KÄMPF (2000); SCHMITZ, SOUZA e KÄMPF, 2002).

As propriedades químicas podem ser facilmente alteradas ao contrário das propriedades físicas, que dificilmente podem ser modificadas após implantação da muda. Um substrato pode ser melhorado com o fornecimento de nutrientes providos ou não de fontes minerais, e seu pH corrigido, por exemplo, caso não esteja em um nível nutricional adequado (CABRERA, 1999).

Fatores de natureza química podem influenciar de forma positiva ou negativa o crescimento das mudas. Provavelmente são difíceis de serem classificados e separados, pois em muitos casos estão intimamente ligados e interagem entre si. Os fatores podem ser classificados de forma geral em relação a: (a) material de origem; (b) disponibilidade de nutriente; (c) presença de elementos tóxicos; (d) presença de metais pesados; (e) teor de matéria orgânica e (f) salinidade (MEURER, 2007).

Guerrini e Trigueiro (2004) avaliaram as características químicas de substratos com diferentes doses de lodo de esgoto e de casca de arroz carbonizada e verificaram que a quantidade de nutrientes no substrato aumentou com a elevação da percentagem de lodo de esgoto. Trigueiro e Guerrini (2003) avaliaram a viabilidade do uso de lodo de esgoto como componente do substrato para produção de mudas de eucalipto e os resultados das análises químicas indicaram que o lodo de esgoto contém altos teores de nutrientes, com destaque para nitrogênio e fósforo.

De acordo com Bellote e Dedecek (2006) a expressão dos efeitos das propriedades químicas são reduzidas por algumas situações como deficiência hídrica, compactação e impedimentos físicos. Wendling, Guastala e Dedecek (2007) avaliaram as características químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. e verificaram que as características químicas dos substratos não interferiram em suas características físicas, nem nas variáveis de sobrevivência e crescimento das mudas até os seis meses após a repicagem.

A utilização de resíduos como componentes de substratos para a produção de mudas florestais, pode ser uma alternativa viável para destinação final dos mesmos. No entanto, é necessário que seja realizada a caracterização química dos resíduos para garantir a sobrevivência e crescimento das mudas de espécies florestais. Assim, o trabalho teve como objetivo caracterizar as propriedades químicas dos substratos formulados à base de lodo de esgoto em diferentes combinações com resíduos orgânicos e vermiculita.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. DESCRIÇÃO DOS SUBSTRATOS

Os substratos e os tratamentos estão detalhados no Capítulo I. Na Tabela 1 estão descritas as formulações dos tratamentos.

Tabela 1. Relação de substratos formulados a partir da utilização de lodo de esgoto para produção de mudas de *Aegiphila sellowiana*

| Tratamentos | LE                  | FC | VER | PCN | CO | CAC | CAN |
|-------------|---------------------|----|-----|-----|----|-----|-----|
| T01         | 100                 | -  | -   | -   | -  | -   | -   |
| T02         | 80                  | 20 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T03         | 60                  | 40 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T04         | 40                  | 60 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T05         | 20                  | 80 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T06         | 80                  | -  | 20  | -   | -  | -   | -   |
| T07         | 60                  | -  | 40  | -   | -  | -   | -   |
| T08         | 40                  | -  | 60  | -   | -  | -   | -   |
| T09         | 20                  | -  | 80  | -   | -  | -   | -   |
| T10         | 80                  | -  | -   | 20  | -  | -   | -   |
| T11         | 60                  | -  | -   | 40  | -  | -   | -   |
| T12         | 40                  | -  | -   | 60  | -  | -   | -   |
| T13         | 20                  | -  | -   | 80  | -  | -   | -   |
| T14         | 80                  | -  | -   | -   | 20 | -   | -   |
| T15         | 60                  | -  | -   | -   | 40 | -   | -   |
| T16         | 40                  | -  | -   | -   | 60 | -   | -   |
| T17         | 20                  | -  | -   | -   | 80 | -   | -   |
| T18         | 80                  | -  | -   | -   | -  | 20  | -   |
| T19         | 60                  | -  | -   | -   | -  | 40  | -   |
| T20         | 40                  | -  | -   | -   | -  | 60  | -   |
| T21         | 20                  | -  | -   | -   | -  | 80  | -   |
| T22         | 80                  | -  | -   | -   | -  | -   | 20  |
| T23         | 60                  | -  | -   | -   | -  | -   | 40  |
| T24         | 40                  | -  | -   | -   | -  | -   | 60  |
| T25         | 20                  | -  | -   | -   | -  | -   | 80  |
| T26         | Testemunha (100 SC) |    |     |     |    |     |     |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial

### 2.2. ANÁLISE QUÍMICA DOS SUBSTRATOS

Diante da carência de um padrão de realização de análises químicas de substratos, optou-se por fazer a análise química de rotina, na determinação dos teores disponíveis, e análise de tecido vegetal para determinação dos

teores de nutrientes totais, visto que com exceção da vermiculita os demais componentes dos substratos são orgânicos.

Os substratos foram submetidos às análises químicas no Laboratório de Recursos Hídricos do DCFM/CCA/UFES antes da implantação da espécie e da adubação de base. As análises dos substratos foram realizadas após secagem do material ao ar e peneiramento em malha de 2 mm (9 mesh). Para determinação dos teores totais dos nutrientes presentes no substrato, foi utilizado o mesmo método realizado para determinar os nutrientes no tecido vegetal, conforme EMBRAPA (2009). Para determinação dos teores disponíveis de macronutrientes, pH, alumínio trocável (Al), acidez trocável (H+Al) e cálculo da capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) também foi utilizado o método conforme EMBRAPA (2009) para análises de solo.

A condutividade elétrica (CE) obtida em solução 1:5 (v/v); o pH determinado em água, diluição 1:5 (v/v); e o teor total de sais solúveis (TTSS) determinado em água, diluição 1:10 (v/v) foram determinados no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), seguindo-se a metodologia proposta na Instrução Normativa SDA Nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

### 2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A obtenção dos dados consistiu na utilização de três repetições de três unidades amostrais para cada característica avaliada de cada tratamento. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), prosseguindo para o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) a fim de observar as diferenças entre as médias e Correlação de Pearson, para de verificar a correlação entre as características avaliadas, utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2012)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. TEORES DISPONÍVEIS DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SUBSTRATOS

Os resultados analíticos dos teores disponíveis dos nutrientes e análise estatística dos dados das características químicas dos substratos formulados estão representados na Tabela 2.

Analisando-se o pH dos substratos (Tabela 2), verifica-se que os resíduos orgânicos e vermiculita foram responsáveis pelo aumento do pH dos substratos. Já o aumento das proporções de lodo de esgoto favoreceu a diminuição do pH. Na literatura existem autores que descrevem a faixa de pH considerado como adequado para o crescimento da maioria das culturas. Segundo Cabrera (1999), Valeri e Corradini (2000), FAO (2002), Rodrigues et al. (2002) e Meurer (2007), deve situar-se em 5,5 a 6,5. Deste modo, apenas os tratamentos T9 (20% LE e 80% VER), T11 (60% LE e 40% PCN), T16 (40% LE 60% CO), T17 (20% LE e 80% CO) , T21 (20% LE e 80% CAC), T25 (20% LE e 80% CAN) situam-se na faixa de pH considerado como adequado.

No entanto, Carneiro (1995) considera que para as espécies florestais, o desenvolvimento no viveiro é satisfatório com pH entre 5 e 6. Neste contexto, os substratos formulados com o composto orgânico se destacam nessa faixa de pH adequado como pode ser verificado na Tabela 2. Os tipos e as proporções dos componentes utilizados nos substratos formulados afetaram o valor de pH. Maiores proporções de resíduos na formulação dos substratos proporcionaram uma faixa de pH adequado, com exceção da palha de café *in natura*, em que as menores proporções foram as que contribuíram para o valor ideal de pH dos substratos.

Tabela 2. Média e desvio padrão das características químicas disponíveis dos substratos formulados com lodo de esgoto

| Tratamentos     | pH<br>H <sub>2</sub> O | P<br>mg/dm <sup>-3</sup> | K<br>mg/dm <sup>-3</sup> | Ca<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> |
|-----------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| 100% LE         | 4,7 l* ± 0,14          | 170 f ± 5,86             | 59 g ± 3,51              | 6,6 c ± 0,59                              |
| 80% LE /20% FC  | 4,6 m ± 0,02           | 159 f ± 1,60             | 242 g ± 9,24             | 6,2 c ± 0,50                              |
| 60% LE /40% FC  | 4,7 l ± 0,02           | 158 f ± 9,97             | 539 f ± 37,51            | 6,4 c ± 0,69                              |
| 40% LE /60% FC  | 4,8 k ± 0,01           | 144 g ± 2,33             | 967 e ± 90,17            | 5,2 d ± 0,46                              |
| 20% LE /80% FC  | 5,0 i ± 0,01           | 135 g ± 4,33             | 968 e ± 149,69           | 4,4 e ± 0,11                              |
| 80% LE /20% VER | 4,8 k ± 0,04           | 145 g ± 1,63             | 47 g ± 4,36              | 7,7 b ± 0,54                              |
| 60% LE /40% VER | 4,9 j ± 0,01           | 139 g ± 0,52             | 40 g ± 1,53              | 6,4 c ± 0,54                              |
| 40% LE /60% VER | 5,2 h ± 0,02           | 120 h ± 8,84             | 41 g ± 1,00              | 5,0 d ± 0,37                              |
| 20% LE /80% VER | 5,6 f ± 0,01           | 85 l ± 19,37             | 28 g ± 5,77              | 3,1 f ± 0,50                              |
| 80% LE /20% PCN | 5,3 g ± 0,01           | 172 f ± 2,40             | 768 e ± 66,01            | 6,0 c ± 2,25                              |
| 60% LE /40% PCN | 6,2 d ± 0,02           | 161 f ± 10,75            | 1586 c ± 132,51          | 5,8 d ± 0,28                              |
| 40% LE /60% PCN | 7,0 b ± 0,03           | 177 f ± 5,58             | 2613 b ± 345,41          | 4,4 e ± 0,20                              |
| 20% LE /80% PCN | 7,3 a ± 0,01           | 228 d ± 24,68            | 8273 a ± 649,33          | 3,3 f ± 0,46                              |
| 80% LE /20% CO  | 5,0 i ± 0,06           | 172 f ± 3,06             | 492 f ± 33,05            | 6,2 c ± 0,55                              |
| 60% LE /40% CO  | 5,2 h ± 0,05           | 206 e ± 3,11             | 1031 e ± 55,75           | 7,2 c ± 0,61                              |
| 40% LE /60% CO  | 5,6 f ± 0,04           | 289 c ± 12,68            | 1738 c ± 220,08          | 7,4 b ± 0,42                              |
| 20% LE /80% CO  | 6,3 c ± 0,04           | 355 b ± 29,96            | 1816 c ± 710,36          | 7,0 c ± 0,28                              |
| 80% LE /20% CAC | 4,9 j ± 0,08           | 154 g ± 12,10            | 129 g ± 6,03             | 8,7 b ± 0,45                              |
| 60% LE /40% CAC | 4,9 j ± 0,02           | 159 f ± 9,74             | 260 g ± 11,24            | 7,8 b ± 0,38                              |
| 40% LE /60% CAC | 5,1 h ± 0,04           | 201 e ± 20,79            | 600 f ± 37,50            | 8,3 b ± 0,80                              |
| 20% LE /80% CAC | 5,7 e ± 0,08           | 243 d ± 24,88            | 878 e ± 73,66            | 5,6 d ± 0,45                              |
| 80% LE /20% CAN | 4,5 m ± ,09            | 160 f ± 3,32             | 202 g ± 22,81            | 8,5 b ± 0,51                              |
| 60% LE /40% CAN | 4,9 j ± 0,04           | 165 f ± 8,61             | 360 g ± 29,02            | 6,8 c ± 0,89                              |
| 40% LE /60% CAN | 5,4 g ± 0,06           | 176 f ± 12,73            | 499 f ± 36,86            | 4,1 e ± 0,99                              |
| 20% LE /80% CAN | 6,2 d ± 0,04           | 245 d ± 13,50            | 1376 d ± 74,89           | 2,7 f ± 0,23                              |
| 100% SC         | 5,2 h ± 0,03           | 509 a ± 17,69            | 1325 d ± 102,59          | 12 a ± 1,11                               |
| CV (%)**        | 13,33                  | 43,60                    | 156,68                   | 32,86                                     |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café in natura; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz in natura; SC=substrato comercial; CTC=Capacidade de Troca Catiônica; CE=Condutividade Elétrica; TTSS=Teor Totais de Sais Solúveis \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott (p>0,05) \*\*Coeficiente de variação.

Em relação ao pH dos resíduos utilizados para a formulação dos substratos houve diferença significativa entre os mesmos (Tabela 3) com valores variando de 4,7 a 8,3. Estes valores estão fora dos limites considerados como ideais para a produção de mudas, indicando que os mesmos devem ser utilizados em mistura. Dentre os resíduos utilizados, o substrato comercial, a fibra de coco e a palha de café *in natura* possuíam pH na faixa considerada como adequada pelos autores anteriormente mencionados. O lodo de esgoto foi responsável pela menor média de pH, o que pode explicar o menor valor de pH dos substratos com maiores proporções desse resíduo. Em contrapartida, a casca de arroz carbonizada apresentou a maior média entre os resíduos seguida pela vermiculita, casca de arroz não carbonizada e composto orgânico, que proporcionaram pH acima do recomendado como ideal para a produção de plantas, demonstrando que tais resíduos devem ser utilizados em forma de mistura para evitar valores elevados ou baixos de pH.

O pH dos substratos obteve correlação significativa e negativa com os teores de Ca (Tabela 4). É possível verificar que o aumento da acidez resulta em baixos teores de Ca e que altos teores de Ca resultam na diminuição da acidez. Sousa, Miranda e Oliveira (2007) relatam que a acidez pode estar associada com a presença de Al e Mn em concentrações tóxicas e de baixos teores de cátions como Ca e Mg. A introdução de cátions de Ca e Mg no substrato diminui ou anulam os efeitos tóxicos de Al e Mn e diminui a acidez do mesmo.

Corroborando com o presente estudo, Kratz, Wendling e Pires (2012) utilizaram diferentes granulometrias de casca de arroz carbonizada, pura ou em mistura com fibra de coco, substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita como componentes de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii* verificaram que a casca de arroz carbonizada apresentou pH mais elevado, enquanto que para a fibra de coco e os substratos comerciais a base de casca de pinus, verificou-se os menores valores.



Tabela 3. Médias e desvio padrão das características químicas disponíveis dos componentes dos substratos

| Descrição | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | P<br>mg/dm <sup>3</sup> | K<br>mg/dm <sup>3</sup> | Ca            | Mg<br>cmol/dm <sup>3</sup> | CTC           | CE<br>mS.cm <sup>-1</sup> | TTSS<br>g L <sup>-1</sup> |
|-----------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| 100% LE   | 4,7 f* ± 0,14            | 170 e ± 5,86            | 59,33d ± 3,51           | 6,6 b ± 0,59  | 1,0 d ± 0,17               | 45,1 a ± 2,37 | 0,28 e ± 0,05             | 1,99 b ± 0,02             |
| 100% SC   | 5,2 e ± 0,03             | 509 a ± 17,69           | 1325 c ± 102,59         | 12,0 a ± 1,11 | 7,37 a ± 0,63              | 46,3 a ± 4,95 | 1,14 a ± 0,03             | 2,14 a ± 0,05             |
| 100% FC   | 5,5 d ± 0,06             | 96 f ± 7,11             | 1158 c ± 65,26          | 2,6 c ± 0,47  | 1,7 d ± 0,15               | 28,8 b ± 2,11 | 0,58 d ± 0,00             | 0,31 d ± 0,01             |
| 100% VER  | 7,5 b ± 0,58             | 2,66 g ± 1,97           | 37,66 d ± 23,29         | 0,4 e ± 0,10  | 5,7 b ± 1,23               | 6,3 e ± 1,38  | 0,01 g ± 0,01             | 0,01 f ± 0,00             |
| 100% PCN  | 5,9 d ± 0,03             | 211 d ± 3,38            | 10540 a ± 518,84        | 1,6 d ± 0,03  | 2,6 c ± 0,47               | 44,1 a ± 7,60 | 0,82 c ± 0,08             | 0,25 d ± 0,14             |
| 100% CO   | 7,0 c ± 0,04             | 405 b ± 7,38            | 905 c ± 99,60           | 7,0 b ± 0,18  | 8,1 a ± 0,22               | 21,2 c ± 0,63 | 0,93 b ± 0,00             | 1,62 c ± 0,03             |
| 100% CAC  | 8,3 a ± 0,09             | 235 d ± 38,70           | 1876 b ± 185,09         | 0,4 e ± 0,26  | 0,9 d ± 0,11               | 6,1 e ± 0,18  | 0,21 f ± 0,02             | 0,16 e ± 0,01             |
| 100% CAN  | 7,3 b ± 0,07             | 295 c ± 20,66           | 1410 c ± 65,00          | 1,2 e ± 0,10  | 2,3 c ± 0,28               | 14,6 d ± 0,58 | 0,18 f ± 0,01             | 0,07 f ± 0,00             |
| F         | **                       | **                      | **                      | **            | **                         | **            | **                        | **                        |
| CV %***   | 19,23                    | 64,89                   | 152,31                  | 100,34        | 75,13                      | 62,35         | 75,16                     | 107,89                    |

LE- Lodo de Esgoto; FC- Fibra de Coco; PCN- Palha de Caéin *natura*; CO- Composto Orgânico à base de palha de café *in natura* e esterco bovino; CAN- Casca de Arroz *in natura*; SC- Substrato Comercial à base de casca de pinus e vermiculita \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott \*\*Significativo (p<0,05);\*\*\*Coeficiente de variação

Tabela 4. Correlação entre o pH, teores disponíveis dos substratos (fósforo, potássio, cálcio e magnésio), condutividade elétrica (CE) e teor total de sais solúveis (TTSS).

|      | pH                  | P                  | K                   | Ca                 | Mg                 | CE     | TTSS   |
|------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------|--------|
| pH   | 1,00**              |                    |                     |                    |                    |        |        |
| P    | 0,28 <sup>ns</sup>  | 1,00**             |                     |                    |                    |        |        |
| K    | 0,77**              | 0,28 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                    |                    |        |        |
| Ca   | -0,47*              | 0,49*              | -0,30 <sup>ns</sup> | 1,00**             |                    |        |        |
| Mg   | 0,16 <sup>ns</sup>  | 0,57 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,30 <sup>ns</sup> | 1,00**             |        |        |
| CE   | -0,27 <sup>ns</sup> | 0,51**             | -0,00 <sup>ns</sup> | 0,62**             | 0,33 <sup>ns</sup> | 1,00** |        |
| TTSS | -0,39*              | 0,43*              | -0,19 <sup>ns</sup> | 0,67**             | 0,32 <sup>ns</sup> | 0,76** | 1,00** |

Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo (p>0,05)

De acordo com a classificação de Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000) citados por Lopes (2008) os níveis ótimos de P de substratos para cultivo de plantas está entre 6 a 10 mg L<sup>-1</sup>. Nesse sentido todos os tratamentos formulados estão muito acima do adequado, pois os valores variaram entre 85 e 509 mg/dm<sup>-3</sup> (Tabela 2).

Houve correlação positiva dos teores de fósforo com os teores de Ca (0,49, Tabela 4) entre os substratos e proporções, embora para alguns tratamentos (com fibra de coco, vermiculita, palha de café e casca de arroz *in natura*) não foi observada diferença significativa entre as proporções de 20, 40 e 60 % de cada tratamento (p > 0,05, Tabela 2).

O teor de fósforo nos substratos formulados a partir de vermiculita e fibra de coco diminuíram em função do aumento destes componentes, possivelmente por apresentarem as menores médias para o fósforo disponível (Tabela 3). Deste modo, os altos teores de P nos substratos formulados a partir de vermiculita e fibra de coco podem ser atribuídos ao lodo de esgoto. Tal resíduo é reputado por apresentar matéria orgânica prontamente mineralizável e altos teores de nutrientes como o fósforo (CORRÊA, WHITE e WEATHERLEY 2005; ARAUJO, GIL e TIRITAN, 2009; CORRÊA et al., 2010;).

De acordo com a classificação de Gonçalves e Poggiani (1996) o teor de potássio disponível deve situar-se entre 1173 a 3910 mg/dm<sup>-3</sup>. Com base nisso, é possível constatar que a maioria dos tratamentos possuem baixa concentração de potássio (Tabela 2). Apenas os substratos formulados com palha de café *in natura* nas proporções de 40 e 60%, composto orgânico (60 e 80%), casca de arroz não carbonizada (80%) e substrato comercial (100%) apresentaram níveis adequados de potássio.

Alguns estudos demonstram que o lodo de esgoto não é uma boa fonte de potássio devido ao baixo teor encontrado no mesmo (VIEIRA, TEIXEIRA e TSAI 2004; SILVA et al. 2008; PAIVA et al. 2009 e ORO, QUIQUI e ORO 2012). No presente estudo, este resíduo apresentou apenas 59,33 mg dm<sup>-3</sup>. O potássio é o elemento em menor concentração no lodo de esgoto, cuja característica pode ser atribuída à sua grande solubilidade, permanecendo na água residuária por ocasião do tratamento de esgotos (PROSAB, 1999). Com isso recomenda-se utilizar outras fontes de potássio para complementar os teores do lodo de esgoto.

Semelhante aos teores de P, o potássio disponível teve grande variação entre os substratos formulados e entre as proporções dos próprios resíduos com exceção para a vermiculita, cujas proporções de substratos não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ , Tabela 2). Os menores teores de K para os componentes isolados foram encontrados para o lodo de esgoto e a vermiculita, não apresentando diferenças significativas ( $p > 0,05$ , Tabela 3). O maior valor foi registrado para a palha de café *in natura*, a qual é considerada ótima fornecedora de potássio, cujos valores médios nos substratos formulados com este resíduo nas proporções de 60 e 80% foram superiores (2613 e 8273, respectivamente), havendo diferença significativa quando comparado com os demais substratos ( $p \leq 0,05$ ).

Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento de orquídea híbrida (*C. forbesii* x *C. labiata*) x *C. labiata* em substratos à base xaxim desfibrado; casca de café; casca de café + coco em pó; casca de café + fibra de coco; casca de café + casca de pinus; casca de café + casca de arroz carbonizada, Assis et al. (2011), afirmam que por meio da análise química dos substratos, foi possível verificar que a casca de café possui teores de potássio (K) mais elevados que os demais substratos conforme também foi possível observar no presente estudo.

O potássio correlacionou-se significativa e positivamente com o pH dos substratos (0,77) conforme Tabela 4. O pH superior a 5,2 pouco influencia a disponibilidade do potássio ficando para fatores como os teores tóxicos de Al e o crescimento das raízes (ERNANI, ALMEIDA e SANTOS, 2007).

No que se refere aos teores disponíveis de Ca, de acordo com a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996) a faixa ideal deve situar entre 10 e 20  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ . Apenas o substrato comercial (T 26) é considerado como adequado. Verificou-se que os teores de Ca reduziram na medida em que se aumentava as proporções de fibra de coco, vermiculita, palha de café *in natura*, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* na formulação dos substratos, indicando que possivelmente o lodo de esgoto tem maior contribuição no aumento do teor de Ca nesses substratos. De forma contrária, nos substratos formulados com o composto orgânico o aumento do Ca esteve associado à maior proporção desse resíduo aos substratos (Tabela 2). Avaliando individualmente cada resíduo (Tabela 3) é possível observar que o

substrato comercial proporcionou a maior média para os teores de Ca seguido pelo composto orgânico e lodo de esgoto fato que pode explicar maiores médias deste nutriente utilizando maiores proporções desses resíduos.

Avaliando a utilização de lodo de esgoto e resíduos orgânicos renováveis na composição de substratos, Peroni (2012) relatou que os teores de Ca reduziram à medida em que se diminuiu a proporção de lodo de esgoto, semelhante ao observado nos tratamentos que continham fibra de coco, palha de café *in natura* e casca de arroz *in natura* no presente estudo.

O nível considerado adequado para o teor de Mg disponível de acordo com a classificação de Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000) citados por Lopes (2008) é acima de 200 g/L<sup>-1</sup>. Verificou-se que a utilização dos componentes fibra de coco, composto orgânico, casca de arroz carbonizada e a vermiculita foram benéficos para o fornecimento de Mg para os substratos, à medida que maiores proporções dos mesmos foram adicionados (Tabela 5). Avaliados individualmente, o composto orgânico proporcionou as maiores médias para esta característica não diferindo do substrato comercial ( $p \leq 0,05$ , Tabela 3)

A CTC de todos os tratamentos, com exceção do tratamento T25 (20% LE e 80% CAN) pode ser considerada como adequada. Os altos valores de CTC encontrados no presente estudo podem estar associados à matéria orgânica acrescida nos substratos pela adição de lodo de esgoto, como observado nos tratamentos formulados com vermiculita, composto orgânico e casca de arroz *in natura* (Tabela 5).

Quando avaliados individualmente, o lodo de esgoto, o substrato comercial e palha de café *in natura* apresentaram as maiores médias de CTC não diferindo entre si e seguidos por fibra de coco. Resultado que pode estar ligado ao fato dos substratos formulados com fibra de coco e palha de café *in natura* aumentarem as suas médias de CTC a medida que são acrescentadas maiores proporções desses resíduos ao substrato. Os tratamentos T1 (100% LE), T5 (20% LE /80% FC), T13 (20% LE /80% PCN) e T26 (100% SC) apresentaram as maiores médias para esta característica (Tabela 5).

A vermiculita é um mineral praticamente inerte, com grande aeração e alta capacidade de troca catiônica (WENDLING e GATTO, 2002). No entanto, no presente estudo a utilização da vermiculita na composição dos substratos

não acrescentou ganhos em CTC, o que pode ser explicado devido o lodo de esgoto apresentar uma média de CTC superior a vermiculita. Assim, quando se elevam as proporções de vermiculita e se diminui a de lodo de esgoto, há um decréscimo de CTC do substrato, fato que também é observado com a utilização dos resíduos de composto orgânico e casca de arroz *in natura*.

A condutividade elétrica (CE) do substrato não deve exceder o limite de  $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$  segundo Gonçalves et al. (2000), cujo valor foi maior apenas para o substrato comercial. Segundo Kämpf (2005), altos valores de salinidade podem danificar as raízes, impedindo a absorção de água e nutriente e por isso é um dos itens que deve ser considerado na escolha do material. Com exceção do tratamento T13 (20% LE e 80% PCN) e dos tratamentos formulados com composto orgânico, maiores proporções do lodo de esgoto resultaram em menores médias para a CE.

No entanto, o lodo de esgoto foi responsável pelos maiores teores de condutividade elétrica nos demais substratos em que maiores proporções do mesmo resultaram em maiores médias para a CE (Tabela 5). A condutividade elétrica obteve correlação positiva e significativa com os teores disponíveis de P (0,51) e Ca (0,62) (Tabela 4). Freire e Freire (2007) relatam que condutividade elétrica correlaciona-se com os teores de sais do extrato, o que pode explicar a correlação entre a CE e os sais de P e Ca.

Tabela 5. Média e desvio padrão das características químicas disponíveis dos substratos formulados com lodo de esgoto

| Tratamentos     | Mg                                 | CTC            | CE                  | TTSS              |
|-----------------|------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------|
|                 | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> |                | mS.cm <sup>-1</sup> | g L <sup>-1</sup> |
| 100% LE         | 1,0* e ± 0,17                      | 45,1 a ± 2,37  | 0,28 j ± 0,05       | 1,99 a ± 0,02     |
| 80% LE /20% FC  | 1,0 e ± 0,14                       | 40,8 b ± 2,68  | 0,90 c ± 0,01       | 1,74 b ± 0,01     |
| 60% LE /40% FC  | 1,4 e ± 0,30                       | 39,7 b ± 1,31  | 0,84 c ± 0,01       | 1,28 d ± 0,02     |
| 40% LE /60% FC  | 1,6 e ± 0,32                       | 41,5 b ± 0,29  | 0,73 d ± 0,01       | 0,87 f ± 0,01     |
| 20% LE /80% FC  | 1,8 d ± 0,29                       | 44,0 a ± 3,14  | 0,67 e ± 0,01       | 0,86 f ± 0,48     |
| 80% LE /20% VER | 2,5 d ± 0,41                       | 39,7 b ± 1,07  | 0,77 d ± 0,03       | 1,57 c ± 0,15     |
| 60% LE /40% VER | 3,8 c ± 0,25                       | 38,1 b ± 1,74  | 0,46 h ± 0,02       | 1,04 e ± 0,06     |
| 40% LE /60% VER | 4,5 c ± 0,68                       | 35,1 b ± 1,89  | 0,26 j ± 0,01       | 0,37 h ± 0,01     |
| 20% LE /80% VER | 5,1 b ± 0,87                       | 29,8 c ± 0,80  | 0,20 k ± 0,01       | 0,19 i ± 0,00     |
| 80% LE /20% PCN | 1,6 e ± 0,48                       | 35,2 b ± 9,77  | 0,51 g ± 0,00       | 1,10 e ± 0,03     |
| 60% LE /40% PCN | 1,2 e ± 0,25                       | 41,9 b ± 0,84  | 0,43 h ± 0,02       | 0,77 g ± 0,04     |
| 40% LE /60% PCN | 1,2 e ± 0,23                       | 38,0 b ± 2,56  | 0,42 h ± 0,01       | 0,63 g ± 0,10     |
| 20% LE /80% PCN | 2,5 d ± 0,40                       | 51,4 a ± 1,84  | 0,51 g ± 0,01       | 0,42 h ± 0,06     |
| 80% LE /20% CO  | 2,4 d ± 0,42                       | 41,8 b ± 0,65  | 0,79 d ± 0,01       | 1,72 b ± 0,05     |
| 60% LE /40% CO  | 5,7 b ± 0,58                       | 39,3 b ± 13,03 | 0,87 c ± 0,00       | 1,80 b ± 0,04     |
| 40% LE /60% CO  | 4,2 c ± 1,06                       | 26,1 c ± 2,19  | 0,98 b ± 0,01       | 2,05 a ± 0,06     |
| 20% LE /80% CO  | 7,7 a ± 0,30                       | 26,6 c ± 2,35  | 0,93 b ± 0,01       | 1,88 b ± 0,02     |
| 80% LE /20% CAC | 1,4 e ± 0,21                       | 29,8 c ± 0,45  | 0,87 c ± 0,12       | 1,32 d ± 0,02     |
| 60% LE /40% CAC | 1,4 e ± 0,25                       | 33,5 c ± 0,88  | 0,59 f ± 0,01       | 0,91 f ± 0,04     |
| 40% LE /60% CAC | 1,8 d ± 0,25                       | 34,7 b ± 0,89  | 0,44 h ± 0,01       | 0,52 h ± 0,02     |
| 20% LE /80% CAC | 2,0 d ± 0,47                       | 31,2 c ± 0,93  | 0,33 i ± 0,01       | 0,33 i ± 0,01     |
| 80% LE /20% CAN | 1,2 e ± 0,17                       | 32,2 c ± 0,85  | 0,67 e ± 0,03       | 1,28 d ± 0,04     |
| 60% LE /40% CAN | 1,0 e ± 0,29                       | 26,0 c ± 0,75  | 0,67 e ± 0,02       | 1,31 d ± 0,02     |
| 40% LE /60% CAN | 0,8 e ± 0,36                       | 20,6 d ± 1,46  | 0,58 f ± 0,01       | 0,77 g ± 0,08     |
| 20% LE /80% CAN | 1,0 e ± 0,14                       | 14,0 e ± 0,82  | 0,35 i ± 0,02       | 0,29 i ± 0,03     |
| 100% SC         | 7,3 a ± 0,63                       | 46,3 a ± 4,95  | 1,14 a ± 0,03       | 2,14 a ± 0,05     |
| CV (%)**        | 76,02                              | 24,94          | 39,65               | 53,45             |

CTC=Capacidade de Troca Catiônica; CE=Condutividade Elétrica; TTSS=Teor Totais de Sais Solúveis LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café *in natura*; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott (p>0,05) \*\*Coeficiente de variação.

O lodo de esgoto foi responsável pela elevação da condutividade elétrica, mas não mostrou impedimento para o crescimento inicial das mudas, principalmente pelo fato de apenas o substrato comercial ter apresentado uma média de condutividade elétrica acima da recomendada. Resultado semelhante foi observado por Oliveira et al. (2002), em estudo sobre o efeito de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar, onde doses crescentes de lodo promoveram aumento na condutividade elétrica do solo. Autores como Bettioli e Fernandes (2004); Backes e (2009) também relataram que a adição de lodo de esgoto e maior liberação de nutrientes aumentou a condutividade elétrica do solo, no entanto, o aumento da condutividade elétrica não influenciou no desenvolvimento inicial da mamona.

De acordo com Röber e Schaller (1985) citado por Kämpf (2000) a salinidade dos substratos devem estar entre 1,0 a 2,0 g L<sup>-1</sup> para ser classificada como normal. A salinidade dos substratos formulados com 100% de substrato comercial e 60 % de composto orgânico podem ser classificadas como altas, pois foram registrados valores de 2,14 e 2,05 g L<sup>-1</sup>, respectivamente. Os substratos formulados principalmente com maiores proporções de lodo de esgoto apresentam salinidade média ou normal. Por outro lado, aqueles formulados com menores proporções de LE, possivelmente por apresentarem menores teores de Ca e P, possuem salinidade abaixo de 1 g L<sup>-1</sup>, valor considerado baixo.

A salinidade de substratos é expressa como o teor total de sais solúveis (TTSS), que expressa a concentração de sais em determinado volume de substrato. Desta forma em substratos não basta apenas observar a condutividade elétrica, deve-se considerar a densidade do material. Para o mesmo valor de condutividade elétrica, maior será a salinidade, quanto maior for a densidade do material (FERMINO et al., 2010). No presente estudo, o substrato formulado com 20 % de palha de café *in natura* (T10) proporcionou condutividade elétrica de 0,51 mS.cm<sup>-1</sup>, salinidade de 1,10 g L<sup>-1</sup> e densidade global de 0,69 g cm<sup>-3</sup>, já em outro substrato (20% LE /80% PCN, T13), que apresentou o mesmo valor de condutividade elétrica mas densidade global de 0,29 g cm<sup>-3</sup>, a salinidade foi menor (0,42 g L<sup>-1</sup>), confirmando que o substrato com maior densidade pode proporcionar maior teor de salinidade.

A salinidade dos substratos está correlacionada positivamente com os teores de P (0,43), Ca (0,67) e CE (0,76) e negativamente com o pH (-0,39) Tabela 4. O pH está correlacionado com os teores de P e Ca dos substratos. O aumento e diminuição dos teores de P e Ca estão correlacionados à condutividade elétrica dos substratos e essa por sua vez serve de base para o cálculo da salinidade dos substratos (KÄMPF, 2000). O que pode explicar a correlação positiva entre os atributos avaliados.

### 3.2. TEORES TOTAIS DE MACRONUTRIENTES NOS SUBSTRATOS

Os substratos formulados apresentaram diferenças significativas entre os teores totais de N, com as maiores médias entre 19 e 21,1 g kg<sup>-1</sup> para os substratos com 100% de lodo de esgoto (T1) e aqueles formulados com palha de café *in natura* nas proporções 20, 40 e 60 %, não diferindo estatisticamente entre si ( $p \leq 0,05$ , Tabela 6). Os teores mais elevados de N nesses tratamentos estão relacionados aos teores individuais elevados do lodo de esgoto e da palha de café *in natura* (Tabela 8).

Higashikawa, Silva e Bettioli (2010) caracterizaram as propriedades físicas e químicas de resíduos orgânicos objetivando avaliar o seu potencial agrônomo e encontraram valores totais de N na casca de café, esterco bovino e lodo de esgoto acima de 18 g kg<sup>-1</sup> e de até 12,2 g kg<sup>-1</sup> em fibra de coco, casca de pinho, serragem, turfa, carvão e vermiculita, valores acima do encontrados no presente estudo.

A concentração de P total nos substratos variaram muito pouco entre si e entre as proporções dos resíduos (Tabela 6). A concentração de P total dos substratos está correlacionada com teores totais de N (0,78) e de forma negativa com o K (-0,41) (Tabela 7). Os substratos formulados com diferentes proporções de vermiculita não diferiram entre si, e os formulados com fibra de coco, composto orgânico e casca de arroz *in natura* tiveram o teor total de P diminuído com o acréscimo dos mesmos. Possivelmente esta relação é em função dos baixos valores de P disponíveis nestes resíduos puros, ao passo que a maior proporção de lodo de esgoto nos substratos formulados com estes componentes possibilitaram teor mais elevado, semelhante àquele encontrado para o LE puro (Tabela 8).



Tabela 6. Médias e desvio padrão dos teores totais de macronutrientes dos substratos formulados com lodo de esgoto

| Tratamentos         | N                  | P             | K             | Ca            | Mg            | S             |
|---------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | g kg <sup>-1</sup> |               |               |               |               |               |
| T1-100% LE          | 19,0 a ± 0,07      | 04,9 a ± 0,03 | 01,1 e ± 0,03 | 03,9 c ± 0,06 | 02,1 c ± 0,02 | 05,4 a ± 0,08 |
| T2-80% LE /20% FC   | 16,4 b ± 0,28      | 04,2 a ± 0,01 | 01,3 e ± 0,02 | 03,8 c ± 0,05 | 01,9 c ± 0,02 | 05,4 a ± 0,14 |
| T3-60% LE /40% FC   | 14,0 c ± 0,13      | 03,9 a ± 0,05 | 01,6 d ± 0,04 | 05,0 c ± 0,07 | 01,9 c ± 0,02 | 04,4 a ± 0,09 |
| T4-40% LE /60% FC   | 13,2 c ± 0,10      | 03,9 a ± 0,06 | 02,6 d ± 0,05 | 05,0 c ± 0,05 | 01,8 c ± 0,06 | 04,3 a ± 0,09 |
| T5-20% LE /80% FC   | 11,2 c ± 0,03      | 03,3 b ± 0,02 | 04,5 b ± 0,04 | 04,7 c ± 0,10 | 02,2 c ± 0,02 | 04,2 a ± 0,09 |
| T6-80% LE /20% VER  | 16,3 b ± 0,18      | 04,4 a ± 0,04 | 0,9 e ± 0,02  | 03,8 c ± 0,06 | 04,5 c ± 0,06 | 05,7 a ± 0,28 |
| T7-60% LE /40% VER  | 16,5 b ± 0,00      | 04,2 a ± 0,03 | 01,0 e ± 0,03 | 03,7 c ± 0,04 | 09,0 b ± 0,25 | 05,3 a ± 0,24 |
| T8-40% LE /60% VER  | 15,9 b ± 0,09      | 03,9 a ± 0,05 | 0,8 e ± 0,02  | 04,6 c ± 0,11 | 11,6 b ± 1,05 | 04,6 a ± 0,07 |
| T9-20% LE /80% VER  | 13,7 c ± 0,07      | 04,5 a ± 0,33 | 0,6 e ± 0,01  | 02,8 c ± 0,03 | 19,9 a ± 2,33 | 03,7 a ± 0,12 |
| T10-80% LE /20% PCN | 20,7 a ± 0,07      | 05,3 a ± 0,01 | 02,2 d ± 0,03 | 04,7 c ± 0,15 | 02,5 c ± 0,00 | 04,6 a ± 0,04 |
| T11-60% LE /40% PCN | 20,1 a ± 0,02      | 04,8 a ± 0,07 | 03,6 c ± 0,05 | 03,6 c ± 0,03 | 02,2 c ± 0,02 | 05,2 a ± 0,11 |
| T12-40% LE /60% PCN | 21,1 a ± 0,12      | 04,9 a ± 0,02 | 04,7 b ± 0,03 | 03,8 c ± 0,03 | 02,2 c ± 0,01 | 05,0 a ± 0,08 |
| T13-20% LE /80% PCN | 17,7 b ± 0,12      | 02,7 b ± 0,01 | 07,4 a ± 0,28 | 03,8 c ± 0,02 | 01,6 c ± 0,00 | 03,8 a ± 0,15 |
| T14-80% LE /20% CO  | 17,6 b ± 0,14      | 04,3 a ± 0,04 | 02,0 d ± 0,04 | 04,3 c ± 0,11 | 02,7 c ± 0,03 | 04,6 a ± 0,11 |
| T15-60% LE /40% CO  | 15,4 b ± 0,42      | 03,5 b ± 0,07 | 02,9 c ± 0,05 | 06,5 c ± 0,13 | 03,5 c ± 0,03 | 03,2 a ± 0,12 |
| T16-40% LE /60% CO  | 09,2 d ± 0,44      | 02,6 b ± 0,02 | 03,6 c ± 0,08 | 10,1 b ± 0,07 | 04,5 c ± 0,02 | 02,0 a ± 0,03 |
| T17-20% LE /80% CO  | 09,3 d ± 0,25      | 02,1 b ± 0,01 | 04,4 b ± 0,01 | 07,8 b ± 0,22 | 04,6 c ± 0,02 | 01,7 a ± 0,04 |
| T18-80% LE /20% CAC | 14,5 c ± 0,41      | 03,7 a ± 0,01 | 01,0 e ± 0,02 | 12,7 a ± 0,36 | 02,7 c ± 0,02 | 03,2 a ± 0,03 |
| T19-60% LE /40% CAC | 16,8 b ± 0,58      | 03,8 a ± 0,08 | 01,2 e ± 0,03 | 09,2 b ± 0,17 | 02,6 c ± 0,02 | 03,3 a ± 0,02 |
| T20-40% LE /60% CAC | 13,9 c ± 0,18      | 03,3 b ± 0,05 | 01,3 e ± 0,01 | 07,8 b ± 0,08 | 02,2 c ± 0,02 | 02,8 a ± 0,02 |
| T21-20% LE /80% CAC | 12,7 c ± 0,02      | 03,2 b ± 0,00 | 01,9 d ± 0,02 | 05,5 c ± 0,07 | 02,1 c ± 0,01 | 03,0 a ± 0,05 |
| T22-80% LE /20% CAN | 14,2 c ± 0,19      | 03,9 a ± 0,03 | 01,3 e ± 0,01 | 12,7 a ± 0,42 | 02,8 c ± 0,02 | 04,5 a ± 0,12 |
| T23-60% LE /40% CAN | 13,1 c ± 0,21      | 03,2 b ± 0,06 | 01,5 e ± 0,02 | 11,9 a ± 0,45 | 03,0 c ± 0,05 | 04,5 a ± 0,14 |
| T24-40% LE /60% CAN | 11,3 c ± 0,42      | 02,8 b ± 0,03 | 02,0 d ± 0,02 | 09,2 b ± 0,22 | 02,2 c ± 0,02 | 05,8 a ± 0,37 |
| T25-20% LE /80% CAN | 08,8 d ± 0,19      | 02,4 b ± 0,01 | 04,1 b ± 0,02 | 04,8 c ± 0,07 | 02,0 c ± 0,01 | 04,6 a ± 0,30 |
| T26-100% SC         | 06,6 d ± 0,23      | 03,4 b ± 0,03 | 03,3 c ± 0,02 | 10,7 a ± 0,16 | 11,6 b ± 0,23 | 06,4 a ± 0,31 |
| F                   | **                 | **            | **            | **            | ***           |               |
| CV (%)              | 28,77              | 27,46         | 69,07         | 52,91         | 139,34        | 39,87         |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café *in natura*; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

A maior média de teor total de K foi verificada na palha de café *in natura* (Tabela 6), e quando utilizada juntamente com o lodo de esgoto o teor total de K diminuiu com o aumento das proporções desse resíduo. Os tratamentos formulados com fibra de coco, palha de café *in natura*, casca de arroz carbonizada e *in natura* elevaram o teor total de K a medida que eram adicionadas ao substrato. Corroborando com o presente estudo Higashikawa, Silva e Bettioli (2010) também verificaram que a palha de café *in natura* teve a maior concentração de K de todos os resíduos indicando que esse resíduo é bom fornecedor de K.

Os teores totais de Ca não variaram muito entre os substratos formulados, isso porque o lodo de esgoto, fibra de coco, palha de café *in natura* composto orgânico, casca de arroz carbonizada avaliados isoladamente, não diferiram estatisticamente entre si para a característica avaliada (Tabela 8). Os tratamentos T18 (80% LE /20% CAC), T22 (80% LE /20% CAN), T23 (60% LE /40% CAN) e T26 (100% SC) proporcionaram as maiores médias de teor total de Ca não havendo diferença significativa entre estes substratos ( $p \leq 0,05$ , Tabela 6). Os teores totais de Ca estão correlacionados negativamente com os teores de N (-0,47) e com os teores totais de P (-0,42) (Tabela 7).

Não houve diferença significativa para o teor total de Mg entre os diferentes substratos e proporções de resíduos ( $p > 0,05$ ), com exceção para os tratamentos formulados com vermiculita, cuja proporção em 80 % propiciou a maior média (19,9 g kg<sup>-1</sup>), havendo diferença significativa em relação aos valores dos demais tratamentos ( $p \leq 0,05$ , Tabela 6). Quando avaliado individualmente, a vermiculita juntamente e o substrato comercial (Tabela 8) apresentaram as maiores médias para o teor total de Mg o que pode explicar as maiores médias desse nutrientes em substratos contendo essas matérias.

O teor de Ca e Mg do lodo de esgoto do presente estudo foi 3,9 e 2,1 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, valor inferior para o teor de Ca e superior para o teor de Mg ao encontrado por Higashikawa, Silva e Bettioli (2010), que foi de 23,4 g kg<sup>-1</sup> e 1,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e inferior ao observado por Guerrini e Trigueiro (2004), os quais registraram médias de 16,7 e 2,2 g kg<sup>-1</sup> para Ca e Mg, respectivamente. Devido ao fato de serem lodos de fontes e estações diferentes é de se esperar que os resultados também dêem diferentes para os nutrientes avaliados.

Tabela 7. Correlação entre teores totais de macro e micronutrientes.

|    | N                   | P                   | K                   | Ca                  | Mg                  | S                   | Zn                  | Fe                  | Mn                  | Cu                  | B      |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| N  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| P  | 0,78**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| K  | -0,11 <sup>ns</sup> | -0,41*              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| Ca | -0,47*              | -0,42*              | -0,14 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| Mg | -0,20 <sup>ns</sup> | 0,12 <sup>ns</sup>  | -0,28 <sup>ns</sup> | -0,11 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| S  | 0,23 <sup>ns</sup>  | 0,48*               | -0,16 <sup>ns</sup> | -0,24 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |        |
| Zn | 0,64**              | 0,60**              | -0,58**             | 0,15 <sup>ns</sup>  | -0,30 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |        |
| Fe | -0,31 <sup>ns</sup> | 0,06 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,23 <sup>ns</sup>  | 0,38*               | 0,42*               | -0,32 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |        |
| Mn | -0,67**             | -0,64**             | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,37 <sup>ns</sup>  | -0,05               | -0,14 <sup>ns</sup> | -0,27 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |        |
| Cu | 0,60**              | 0,77**              | -0,25 <sup>ns</sup> | -0,45*              | -0,17               | 0,43*               | 0,43*               | -0,04 <sup>ns</sup> | -0,61**             | 1,00**              |        |
| B  | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,33 <sup>ns</sup> | 0,75*               | -0,05 <sup>ns</sup> | -0,09               | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,65**             | 0,31 <sup>ns</sup>  | -0,11 <sup>ns</sup> | -0,03 <sup>ns</sup> | 1,00** |

Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo (p>0,05).

Tabela 8. Médias e desvio padrão dos teores totais de macronutrientes dos componentes dos substratos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)

| Descrição | g kg <sup>-1</sup> |               |               |               |               |               |
|-----------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|           | N                  | P             | K             | Ca            | Mg            | S             |
| 100% LE   | 19,0 a* ± 0,07     | 04,9 a ± 0,03 | 01,1 d ± 0,03 | 03,9 b ± 0,06 | 02,1 b ± 0,02 | 05,4 a ± 0,08 |
| 100% SC   | 06,6 d ± 0,23      | 03,4 b ± 0,03 | 03,3 d ± 0,02 | 10,7 a ± 0,16 | 11,6 a ± 0,23 | 06,4 a ± 0,31 |
| 100% FC   | 06,5 d ± 0,12      | 01,5 c ± 0,01 | 08,4 b ± 0,31 | 05,9 b ± 0,09 | 02,5 b ± 0,06 | 06,4 a ± 0,29 |
| 100% VER  | 01,5 f ± 0,05      | 0,2 e ± 0,01  | 0,00 d ± 0,00 | 0,00 c ± 0,00 | 13,5 a ± 1,48 | 01,0 b ± 0,07 |
| 100% PCN  | 14,0 b ± 0,19      | 0,9 d ± 0,01  | 16,8 a ± 0,18 | 03,3 b ± 0,04 | 02,2 b ± 0,07 | 02,1 b ± 0,11 |
| 100% CO   | 10,1 c ± 0,13      | 01,7 c ± 0,00 | 05,1 c ± 0,02 | 05,2 b ± 0,07 | 05,3 b ± 0,04 | 02,5 b ± 0,13 |
| 100% CAC  | 04,9 e ± 0,18      | 01,2 d ± 0,01 | 04,6 c ± 0,02 | 03,3 b ± 0,31 | 02,8 b ± 0,27 | 04,2 a ± 0,41 |
| 100% CAN  | 07,8 d ± 0,19      | 01,0 d ± 0,02 | 01,9 d ± 0,10 | 00,8 c ± 0,05 | 00,7 b ± 0,03 | 00,9 b ± 0,06 |
| F         | **                 | **            | **            | **            | **            | **            |
| CV (%)    | 28,77              | 27,46         | 69,07         | 52,91         | 139,34        | 39,87         |

LE = lodo de esgoto; FC = fibra de coco triturada; VER = vermiculita; PC = palha de café *in natura*; CO = composto orgânico; CAC = casca de arroz carbonizada; CAN = casca de arroz *in natura*; SC = substrato comercial.\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

Os teores totais de S não diferiram estatisticamente entre si nas formulações dos substratos. Quando avaliados individualmente, os resíduos apresentaram diferenças significativas com maiores médias para o lodo de esgoto, substrato comercial, fibra de coco e casca de arroz carbonizada (Tabela 8). Deste modo, era de se esperar que substratos formulados com maior proporções de LE (80%) e menor de resíduos que possuem média baixa nos teores de S (por exemplo, a casca de arroz *in natura*), apresentassem maiores médias de teores totais deste nutriente.

Contudo, nota-se que maiores proporções de LE pouco influenciaram nos teores totais de S em alguns substratos, pois não houve diferença significativa entre as diferentes proporções para os tratamentos formulados com vermiculita, composto orgânico e casca de arroz *in natura* (Tabela 6). Resultado semelhante foi observado por Guerrini e Trigueiro (2004), os quais registraram teor de 10,1 g kg<sup>-1</sup> para o lodo de esgoto e 0,2 g kg<sup>-1</sup> para a casca de arroz carbonizada. Nos substratos compostos com estes dois componentes, nas proporções de 90, 80, 60 e 50% de lodo de esgoto, os teores de S foram superiores ao do lodo de esgoto puro.

O lodo de esgoto foi responsável por elevar os teores totais dos micronutrientes Zn e Fe nos substratos com maior proporção (80 %) deste resíduo (Tabela 9). Guerrini e Trigueiro (2004) encontraram resultados semelhantes ao presente estudo em que o lodo de esgoto também proporcionou maior média para esses nutrientes, com maior teor de Zn 911,63 mg/kg<sup>-1</sup> e menor de Fe 20515 mg/kg<sup>-1</sup> em relação ao referido estudo. Os teores totais de Zn correlacionaram positivamente com os teores de N (0,64) e P (0,60) e negativamente com o K (-0,58). Os teores de Fe correlacionaram de forma positiva com os teores de Mg (0,38) (Tabela 7).

Os teores totais de Cu não diferiram estatisticamente entre si nas formulações dos substratos ( $p \leq 0,05$ ). Os resíduos orgânicos proporcionaram maior teor de B para fibra de coco e Mn para a casca de arroz carbonizada que o lodo de esgoto. Mesmo não havendo grande variação entre as médias desses tratamentos, o composto orgânico, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* foram responsáveis por elevar o teor total de Mn com a adição desses resíduos.

Já para o B os resíduos responsáveis por essa elevação foram fibra de coco, palha de café *in natura*, composto orgânico e casca de arroz carbonizada. De forma semelhante ao presente estudo Guerrini e Trigueiro (2004) verificaram que o aumento do teor total de Mn esteve associado ao aumento da casca de arroz carbonizada e diminuição do lodo de esgoto. Higashikawa, Silva e Bettiol (2010) encontraram teores médios de B entre 4,3 (lodo de esgoto) para 31,0 mg kg<sup>-1</sup> (esterco de galinha). Os resíduos com valores intermediários de B foram palha café, esterco bovino, fibra de coco e turfa, com valores inferiores a 10 mg kg<sup>-1</sup>. No presente estudo o teor de lodo de esgoto, palha de café *in natura* e fibra de coco proporcionaram maiores médias para o teor total de B (Tabela 10). Foi possível observar correlação positiva e significativa entre o B e o K (0,75) e negativa com o Zn (-0,65) (Tabela 10).

Tabela 9. Médias e desvio padrão dos teores totais de micronutrientes dos substratos formulados com lodo de esgoto

| Tratamentos     | Zn            | Fe                | Mn<br>mg kg <sup>-1</sup> | Cu             | B           |
|-----------------|---------------|-------------------|---------------------------|----------------|-------------|
| 100% LE         | 316 a ± 37,67 | 32000 a ± 1802,8  | 137 d ± 7,3               | 116 a ± 8,64   | 14 c ± 6,93 |
| 80% LE /20% FC  | 266 b ± 19,79 | 29883b ± 1336,4   | 127 d ± 9,0               | 75 a ± 48,55   | 9 c ± 2,28  |
| 60% LE /40% FC  | 239 b ± 29,47 | 25700 c ± 1969,8  | 126 d ± 15,0              | 67 a ± 41,18   | 12 c ± 0,88 |
| 40% LE /60% FC  | 222 c ± 9,85  | 23466 d ± 2593,4  | 120 d ± 10,9              | 116 a ± 108,11 | 19 b ± 4,71 |
| 20% LE /80% FC  | 183 c ± 20,79 | 19333 d ± 693,4   | 112 d ± 7,8               | 69 a ± 46,52   | 28 a ± 3,02 |
| 80% LE /20% VER | 263 b ± 23,15 | 28983 b ± 2967,0  | 127 d ± 9,7               | 78 a ± 50,81   | 9 c ± 1,51  |
| 60% LE /40% VER | 262 b ± 15,06 | 29500 b ± 2914,2  | 132 d ± 7,9               | 71 a ± 43,74   | 9 c ± 1,00  |
| 40% LE /60% VER | 269 b ± 26,53 | 32116 a ± 2107,9  | 140 d ± 11,4              | 65 a ± 42,10   | 10 c ± 1,82 |
| 20% LE /80% VER | 202 c ± 24,16 | 28816 b ± 1437,3  | 134 d ± 9,5               | 51 a ± 34,21   | 9 c ± 1,26  |
| 80% LE /20% PCN | 347 a ± 6,27  | 34000 a ± 998,7   | 139 d ± 8,8               | 86 a ± 56,11   | 11 c ± 2,48 |
| 60% LE /40% PCN | 307 a ± 32,71 | 33083 a ± 1304,2  | 132 d ± 13,6              | 81 a ± 53,04   | 12 c ± 4,99 |
| 40% LE /60% PCN | 288 b ± 15,70 | 32100 a ± 700,0   | 128 d ± 10,5              | 78 a ± 50,05   | 13 c ± 1,61 |
| 20% LE /80% PCN | 147 d ± 10,63 | 15783 e ± 852,0   | 97 d ± 0,8                | 43 a ± 29,41   | 29 a ± 7,94 |
| 80% LE /20% CO  | 280 b ± 12,49 | 30533 b ± 768,7   | 153 d ± 16,6              | 72 a ± 47,13   | 10 c ± 1,95 |
| 60% LE /40% CO  | 242 b ± 19,23 | 26316 c ± 750,6   | 199 c ± 16,9              | 52 a ± 33,94   | 14 c ± 3,33 |
| 40% LE /60% CO  | 201 c ± 10,25 | 19733 d ± 1537,3  | 263 b ± 25,5              | 38 a ± 1,45    | 15 c ± 6,19 |
| 20% LE /80% CO  | 127 d ± 9,51  | 18766 d ± 1257,3  | 282 b ± 20,6              | 28 a ± 1,18    | 16 c ± 4,71 |
| 80% LE /20% CAC | 330 a ± 11,42 | 26133 c ± 2139,1  | 168 c ± 12,1              | 55 a ± 36,20   | 12 c ± 6,92 |
| 60% LE /40% CAC | 334 a ± 60,22 | 25933 c ± 4581,0  | 181 c ± 38,2              | 56 a ± 39,31   | 10 c ± 2,80 |
| 40% LE /60% CAC | 283 b ± 15,65 | 21983 d ± 832,7   | 185 c ± 13,6              | 51 a ± 34,77   | 10 c ± 2,77 |
| 20% LE /80% CAC | 251 b ± 24,25 | 19733 d ± 375,3   | 274 b ± 18,3              | 46 a ± 31,21   | 12 c ± 3,89 |
| 80% LE /20% CAN | 360 a ± 11,59 | 26900 c ± 1105,7  | 201 c ± 10,3              | 62 a ± 42,69   | 9 c ± 4,15  |
| 60% LE /40% CAN | 311 a ± 9,10  | 24516 c ± 1926,4  | 246 b ± 25,5              | 48 a ± 31,14   | 9 c ± 2,05  |
| 40% LE /60% CAN | 247 b ± 10,04 | 17066 e ± 2191,1  | 282 b ± 30,4              | 36 a ± 23,57   | 10 c ± 2,96 |
| 20% LE /80% CAN | 197 c ± 51,99 | 12233 f ± 1020,2  | 511 a ± 29,6              | 36 a ± 0,55    | 11 c ± 3,57 |
| 100% SC         | 119 d ± 34,85 | 213333 d ± 5051,3 | 283 b ± 27,8              | 46 a ± 31,18   | 24 a ± 6,09 |
| F               | **            | **                | **                        |                | **          |
| CV (%)          | 26,57         | 24,05             | 47,55                     | 65,65          | 46,88       |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café *in natura*; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

Tabela 10. Médias e desvio padrão dos teores totais de micronutrientes dos substratos formulados com lodo de esgoto: zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e boro (B)

| Descrição | Zn            | Fe                | Mn           | Cu           | B           |
|-----------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-------------|
|           |               |                   | mg/kg        |              |             |
| 100% LE   | 316 a ± 37,67 | 32000 a ± 1802,8  | 137 c ± 7,3  | 116 a ± 8,64 | 14 c ± 6,9  |
| 100% SC   | 119 b ± 34,85 | 21333 b ± 5051,3  | 283 b ± 27,8 | 46 b ± 31,18 | 24 b ± 6,1  |
| 100% FC   | 106 b ± 22,47 | 1467 c ± 248,1    | 82 c ± 12,3  | 17 c ± 4,85  | 67 a ± 11,5 |
| 100% VER  | 27 c ± 19,33  | 20800 b ± 12579,4 | 130 c ± 92,8 | 7 c ± 4,85   | 10 c ± 2,5  |
| 100% PCN  | 5 c ± 0,53    | 902 c ± 266,7     | 57 c ± 4,0   | 13 c ± 1,46  | 32 b ± 3,6  |
| 100% CO   | 75 b ± 3,12   | 10194 c ± 8370,8  | 328 b ± 39,9 | 18 c ± 0,29  | 14 c ± 4,1  |
| 100% CAC  | 37 c ± 1,59   | 2680 c ± 203,5    | 555 a ± 13,9 | 5 c ± 1,51   | 9 c ± 1,4   |
| 100% CAN  | 19 c ± 6,73   | 400 c ± 232,1     | 255 b ± 86,5 | 1 c ± 0,66   | 7 c ± 3,1   |
| F         | **            | **                | **           | **           | **          |
| CV (%)    | 26,57         | 24,05             | 47,55        | 65,65        | 46,88       |

LE = lodo de esgoto; FC = fibra de coco triturada; VER = vermiculita; PC = palha de café in natura; CO = composto orgânico; CAC = casca de arroz carbonizada; CAN = casca de arroz *in natura*; SC = substrato comercial.\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo ( $p < 0,05$ ); \*\*\*Coeficiente de variação.

#### **4. CONCLUSÕES**

O lodo de esgoto proporcionou aumento da fertilidade dos substratos com aumento de teores dos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo.

Os componentes dos substratos apresentaram teores de nutrientes distintos devendo serem utilizados em misturas.

De acordo com as características químicas apresentadas, os substratos formulados com composto orgânico atingem níveis considerados adequados para o crescimento de mudas de espécies florestais.

O lodo de esgoto possui baixo pH e deve ser utilizado com resíduos ou ser corrigido para elevar o mesmo na faixa ideal para o crescimento das mudas.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, F. F.; GIL, F. C. ;TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**,Goiânia, v. 39, p. 1-6, 2009.

ASSIS, A. M.; UNEMOTO, L.; YAMAMOTO, L. Y.;LONE, A. B.; SOUZA, G. R. B. ; FARIA, R. T.; ROBERTO, S. R.; TAKAHASHI, L. S. A.. Cultivo de orquídea em substratos à base de casca de café. **Bragantia**, São Paulo,v. 70, p. 544-549, 2011.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. G.; KIHLL, T. A. M. ;VILLAS BOAS, R. L.. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **BioscienceJournal**, Uberlândia, v. 25, p. 90-98, 2009.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade do *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 21-38, 2006.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. Embrapa Meio Ambiente, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Jaguariuna, 6p.. 2004.

CABRERA, R. I. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para laproducción de plantas en maceta. **Revista Chapingo-Serie Horticultura**, Chapingo, v. 1, p. 5-11, 1999.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**.Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 451p. 1995.

CORRÊA, R. S., SILVA, L. C. R.; BAPTISTA, G. M. M.; SANTOS, P. F. dos. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.538–544, 2010

CORRÊA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. **Scientia Agricola**, Piracicaba,v.62, n.3, p.274-280, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa informação Tecnológica. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 627p. 2009.

ERNANI, R. P.; ALMEIDA, J. A. de; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, p. 551-594. 2007

FAO, **El cultivo protegido en clima mediterráneo**. Medios y técnicas de producción. Estudios FAO: Producción y Protección Vegetal 90. Oficina

Regional para América Latina y el Caribe, 2002. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/005/S8630S/s8630s07.htm#TopOfPage>> acessado em 20 fev. 2013.

FERMINO, M. H.; GONÇALVES, R. S.; BATTISTIN, A.; SILVEIRA, J. R. P.; BUSNELLO, A. C.; TREVISAM, M. Aproveitamento dos resíduos da produção de conserva de palmito como substrato para plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 282-286, 2010.

FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, p. 929-954. 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTERELLI, E.G.; NETO, S. P. M.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: ESALQ/USP, p.309-350, 2000.

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. Águas de Lindóia, 1996. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, CD-ROM, 1996.

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

HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W. Chemical and physical properties of organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1742-1752, 2010.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 254p. 2000.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agrolivros, 2ª. Edição, 254 p. 2005.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; PIRES, P. P. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii* em substratos a base de casca de arroz carbonizada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, p. 547-556, 2012.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; Silva, M. R. da. Atributos químicos e físicos de dois substratos para produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 14, p. 358-367, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA Nº 17**. Diário Oficial da União- Seção 1, nº 99, 24 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília, 2007.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, p. 65-90. 2007.

PAIVA, A. V.; POGGIANI, F.; GONCALVES, J. L. M.; FERRAZ, A. V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 499-511, 2009.

PERONI, L. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2012.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro, 1999. 97p.

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 505-519, 2002.

ORO, T. H.; DEL QUIQUI, E. M.; ORO, P. . Crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden tratado com diferentes doses de lodo de esgoto no Noroeste do Paraná. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 5, p. 47-53, 2012.

R Core Team (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012 Disponível em:<http://www.R-project.org/> Acesso em 05 jan. 2013

RODRIGUES, C. A. G.; BEZERRA, B. C.; ISHII, I. H.; CARDOSO, E. L.; SORIANO, B. M. A.; OLIVEIRA, H. O. **Arborização urbana e produção de mudas de essências florestais nativas em Corumbá, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 26p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 42).

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.

SILVA, P. H. M. da.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008.

SOUSA, D. M. G. de. MIRANDA, L. N. de. OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, p. 205-274. 2007.

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

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiro para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, p.168-189, 2000.

VIEIRA, R. F.; TSAI, S. M.; TEIXEIRA, M. A. Efeito do lodo de esgoto no crescimento e fixação simbiótica de N<sub>2</sub> em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Embrapa Meio Ambiente, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Jaguariuna, 18p. 2004.

WENDLING, I.; GATTO, A. . **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. 1. ed. Viçosa - MG: Aprenda Fácil Editora, v. 1. 166p, 2002.

WENDLING, I.; GUASTALA, D; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 209-220, 2007.

## **CAPÍTULO III**

### **QUALIDADE DE MUDAS DE *Aegiphila sellowiana* Cham EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

## RESUMO

O trabalho teve por objetivo avaliar as características morfológicas de mudas de *Agipihila sellowiana* em decorrência das características químicas e físicas dos substratos formados com diferentes proporções de lodo de esgoto associado a resíduos orgânicos e vermiculita. O experimento foi constituído de um delineamento inteiramente casualizado com 26 tratamentos com cinco repetições de quatro plantas, obtidos a partir da mistura de lodo de esgoto com os resíduos (fibra de coco, palha de café *in natura*, composto orgânico, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*) e vermiculita nas proporções de 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80 (lodo de esgoto:resíduos ou vermiculita), e uma testemunha, constituída por substrato comercial. Aos 120 dias após a semeadura, foram determinadas as características morfológicas diâmetro do coleto (D), altura da parte aérea (H), massa seca radicular (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto (H/D) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) de todas as plantas. Maiores proporções de lodo de esgoto proporcionaram maiores médias para o diâmetro do coleto, altura das mudas, matéria seca da raiz, matéria seca da parte aérea e matéria seca total de *A. sellowiana* quando adicionado aos resíduos fibra de coco, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*. O substrato comercial proporcionou as menores médias para as características morfológicas avaliadas. Os tratamentos formulados com composto orgânico, especialmente as proporções de 60 e 80%, proporcionaram maiores médias para as características H (33,58 cm), D (7,42 mm), MSR (2,751 g planta<sup>-1</sup>), MSPA (5,248 g planta<sup>-1</sup>), MST (7,965 g planta<sup>-1</sup>), MSPA/MSR (2,323) e IQD (1,353) sendo, dessa forma, os mais indicados para a produção de mudas.

**Palavras chaves:** lodo de esgoto, crescimento inicial de plantas, características morfológicas

## ABSTRACT

The task had as purpose defining morphological particularities from *Agipihila sellowiana* plants of the physical and chemical particularities from the formulated substrates with different sewer Iodine proportions associated with organic residues and vermiculite. The experiment was constituted of a lineation literally randomized with 26 treatments and five repetitions of four plant, gotten from a mix of sewer Iodine with residuals (coconut fiber, fresh coffee chaff, organic compost, carbonized rice husk and fresh rice husk) and vermiculite in the proportions of 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 and 20:80 (sewage sludge: residuals or vermiculite), also a witness, constituted of a commercial substrate. Within 120 days after planting the seeds, were defined the morphological particularities the collect diameter (D), height of air part (H), dry weight of root (MSR), dry weight of air part (MSPA), total dry weight (MST), A division among height of the air part and the collect diameter (H/D) e The Dickson quality index (IQD) of all the plants. Bigger sewer Iodine proportions allowed bigger averages for the collect diameter, plants height, dry root, air dry part of the root and total dry matter from *A. sellowiana* when are added coconut fiber, carbonized rice husk and fresh rice husk. The commercial substrate has allowed the smaller averages for the studied morphological particularities. The treatments formulated with organic compound, especially the proportions of 60 and 80%, provided greater means for the characteristics H (33.58 cm), D (7.42 mm), MSR (2.751 g plant<sup>-1</sup>), MSPA (5.248 g plant<sup>-1</sup>), MST (7.965 g plant<sup>-1</sup>), MSPA/MSR (2.323) and IQD (1,353) and thus the most suitable for the production of seedlings.

**Keywords:** sewage sludge, initial growth, morphological characteristics.

## 1. INTRODUÇÃO

O estabelecimento de povoamentos florestais e recuperação de áreas degradadas, devem estar associados a qualidade das mudas a serem implantadas. As novas tecnologias empregadas, possibilitam alto padrão de qualidade das mudas, que resultarão em maior índice de sobrevivência, melhor desenvolvimento e capacidade de enfrentar as condições adversas no campo, evitando dessa forma mortes e conseqüentes replantios.

Os parâmetros da qualidade das mudas florestais produzidas baseiam-se nos aspectos fenotípicos denominados de morfológicos, ou nos internos das mudas, denominados de fisiológicos. A qualidade das mudas no que se refere aos parâmetros morfológicos e fisiológicos depende da carga genética e da procedência das sementes, das condições ambientais, das técnicas de produção, estrutura, equipamentos e transporte das mesmas para o campo (GOMES e PAIVA, 2004).

Dentre os fatores limitantes que influenciam o padrão de qualidade das mudas está o tipo e qualidade do substrato. O conhecimento de suas características físicas e químicas possibilita a obtenção de um substrato formado por um único material ou pela combinação de diferentes tipos de materiais com fertilidade e características físicas desejáveis.

Diversos estudos demonstram que a utilização de resíduos para a composição de substratos pode ser uma alternativa viável à produção de mudas de espécies florestais, mas não há um consenso sobre a formulação de um substrato que possa atender a qualquer espécie. Trigueiro e Guerrini (2003), por exemplo, verificaram que as melhores composições de substratos para a produção de mudas de eucalipto foram o lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada, nas proporções 50/50 e 60/40, os quais promoveram crescimento satisfatório a altura de planta, diâmetro de colo e massa de matéria seca da parte aérea.

Caldeira et al. (2012a) verificaram que substratos formulados com 80% de lodo de esgoto possibilitaram melhor crescimento inicial das mudas de *Ateleia glazioveana* Baill, tais como altura, diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea. Em estudo das características morfológicas em diferentes substratos com composto orgânico na produção de mudas de *Sesbania virgata*



(Caz.) Pers, Nóbrega et al (2008) observaram que a adição do composto de lixo ao substrato proporcionou aumento na altura da parte aérea, diâmetro do coleto, massa seca de raiz, parte aérea e total, relação massa seca de parte aérea sob massa seca de raiz, índice de qualidade de Dickson das mudas.

Scheer, Carneiro e Santos (2010) verificaram que o crescimento em altura, diâmetro de colo, biomassa de ramos e de folhas de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) utilizando lodo de esgoto compostado com restos de podas de árvores trituradas foram maiores do que os obtidos pelos tratamentos que utilizaram substrato comercial à base de casca de pinus compostada e vermiculita.

Assim, o trabalho teve por objetivo avaliar as características morfológicas de mudas de *Aegiphila sellowiana* em decorrência do uso de substratos formados com diferentes proporção de lodo de esgoto associado a resíduos e vermiculita e que apresentam características químicas e físicas distintas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. CARACTERÍSTICA DA ÁREA EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO**

O Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) vinculado ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localiza-se no município de Alegre entre os paralelos 20°45' latitude sul e os meridianos 41°31' longitude oeste, com altitude média de 254 m, região com temperatura média anual acima de 24°C , com precipitação média anual de 1.292 mm (PEZZOPANE et al. 2012).

O experimento foi montado em canteiros suspensos (a 80 cm do solo), em casa de sombra com tela de sombreamento fator 50% na cobertura e laterais no período de julho a novembro. Foram utilizados tubetes cilindro-cônicos de polipropileno com capacidade volumétrica de 280 cm<sup>3</sup>, com dimensões de 19 cm de comprimento, 5,2 cm de diâmetro de abertura superior e 1,3 cm de diâmetro de abertura inferior, com oito estrias internas. Os mesmos foram dispostos em bandejas de polipropileno (dimensões de 60 cm x 40 cm) com capacidade para 54 unidades.

O preenchimento dos tubetes foi realizado de forma manual, com leve compactação para acomodação do substrato e para que o mesmo se tornasse consistente. Logo em seguida foi realizada a homogeneização dos substratos nos tubetes e umedecimento.

### **2.2. DESCRIÇÃO DOS SUBSTRATOS**

Os substratos estão detalhados no Capítulo I. Na Tabela 1 estão descritas as formulações dos tratamentos.

Tabela 1. Relação de substratos (1:1 volume) formados a partir da utilização de lodo de esgoto para produção de mudas de *Aegiphila sellowiana*

| Tratamentos | LE                  | FC | VER | PCN | CO | CAC | CAN |
|-------------|---------------------|----|-----|-----|----|-----|-----|
| T01         | 100                 | -  | -   | -   | -  | -   | -   |
| T02         | 80                  | 20 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T03         | 60                  | 40 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T04         | 40                  | 60 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T05         | 20                  | 80 | -   | -   | -  | -   | -   |
| T06         | 80                  | -  | 20  | -   | -  | -   | -   |
| T07         | 60                  | -  | 40  | -   | -  | -   | -   |
| T08         | 40                  | -  | 60  | -   | -  | -   | -   |
| T09         | 20                  | -  | 80  | -   | -  | -   | -   |
| T10         | 80                  | -  | -   | 20  | -  | -   | -   |
| T11         | 60                  | -  | -   | 40  | -  | -   | -   |
| T12         | 40                  | -  | -   | 60  | -  | -   | -   |
| T13         | 20                  | -  | -   | 80  | -  | -   | -   |
| T14         | 80                  | -  | -   | -   | 20 | -   | -   |
| T15         | 60                  | -  | -   | -   | 40 | -   | -   |
| T16         | 40                  | -  | -   | -   | 60 | -   | -   |
| T17         | 20                  | -  | -   | -   | 80 | -   | -   |
| T18         | 80                  | -  | -   | -   | -  | 20  | -   |
| T19         | 60                  | -  | -   | -   | -  | 40  | -   |
| T20         | 40                  | -  | -   | -   | -  | 60  | -   |
| T21         | 20                  | -  | -   | -   | -  | 80  | -   |
| T22         | 80                  | -  | -   | -   | -  | -   | 20  |
| T23         | 60                  | -  | -   | -   | -  | -   | 40  |
| T24         | 40                  | -  | -   | -   | -  | -   | 60  |
| T25         | 20                  | -  | -   | -   | -  | -   | 80  |
| T26         | Testemunha (100 SC) |    |     |     |    |     |     |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café in natura; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial

### 2.3. ADUBAÇÃO DE PLANTIO E IRRIGAÇÃO

A adubação foi realizada no momento da formulação dos tratamentos segundo Gonçalves et al. (2000), formada por 750 g de sulfato de amônio (20% de N); 1.667g de superfosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ) e 172g de cloreto de potássio (58% de  $K_2O$ ) por metro cúbico de substrato. Como a quantidade de fertilizantes a ser utilizada era pequena, o que tornaria mais difícil a sua homogeneização em todo o conteúdo do tratamento, optou-se por aplicá-lo por meio da fertirrigação. Os fertilizantes foram diluídos e em seguida aplicados em uma quantidade de 10 ml da solução por tubete.

A irrigação foi realizada por micro aspersores por sistema de irrigação automático, quatro vezes ao dia, sendo duas no período da manhã e duas no período da tarde, totalizando em 16 mm de lâmina d'água diária

## 2.4. SEMEADURA E RALEIO

As mudas foram produzidas entre os meses de julho e novembro de 2012. As sementes de *Aegiphila sellowiana*, foram adquiridas juntamente ao IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais) procedentes de Capão Bonito – SP, safra de 2012. A sementeira foi realizada de forma manual em que cada tubete recebeu quatro sementes, cobertas por uma fina camada de substrato comercial.

Após a germinação e emergência das plântulas, quando as mesmas já possuíam dois pares de folhas e cerca de cinco centímetros de altura, realizou-se o desbaste com auxílio de uma tesoura, que consistiu em deixar apenas a planta que apresentava maior centralização e crescimento da parte aérea.

A cada 30 dias foi realizado uma redução da densidade das mudas para aumentar a aeração (Figura 1), reduzir a competição por luz e melhorar a eficiência da irrigação. Também foi realizada a remoção das plantas espontâneas e dos musgos que se formavam em cima dos tubetes.

Figura1. Mudanças de *A. sellowiana* após raleio, obtidas com diferentes substratos com lodo de esgoto.



Fonte: o autor

## 2.5. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS MUDAS

Decorrido 45 dias após raleio das plântulas e um total de 120 dias após a semeadura, foram mensuradas as seguintes variáveis de crescimento:

a) diâmetro do coleto (D): expresso em milímetros, medido na altura do coleto (limite inferior) da planta, com auxílio de um paquímetro digital;

b) altura da parte aérea (H): expresso em centímetros, determinada a partir do nível do substrato até a inserção da última folha, com auxílio de uma régua graduada;

c) massa seca radicular (MSR): as raízes foram separadas da parte aérea, lavadas com água em peneiras e, em seguida, foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C até a obtenção de massa constante. A MSR é expressa em g planta<sup>-1</sup>;

d) massa seca da parte aérea (MSPA): expressa em g planta<sup>-1</sup>, a parte aérea (material acima do substrato) foi cortada ao nível do substrato, acondicionada em saco de papel e colocada para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C até que se atingiu massa constante;

e) massa seca total (MST): expresso em g planta<sup>-1</sup>, foi obtida por meio da soma da MSPA e MSR;

f) relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto (H/D);

g) relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca de raiz (MSPA/MSR);

h) O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi determinado em função da altura da parte aérea (H), do diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) massa seca das raízes (MSR), por meio da fórmula (DICKSON et al., 1960; citado por FONSECA et al., 2002), calculado por meio da fórmula:

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

## 2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições de quatro plantas (unidade amostral) e 26 tratamentos. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), e quando significativo, prosseguindo para o teste de Scott-Knott a fim de observar as diferenças entre as médias e Correlação de Pearson para verificar o correlação entre as características morfológicas avaliadas, utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2012).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mudas de *A. sellowiana* atingiram vários tamanhos em altura, influenciadas pelos tipos de substratos, havendo diferença significativa entre estes e entre as diferentes proporções de resíduos. O maior crescimento em altura foi proporcionado pelo substrato formulado com 60 % de composto orgânico e 40 % de lodo de esgoto (T16), onde as mudas atingiram em média, 33,00 cm de altura. Já a menor média (4,47 cm) foi registrada em substrato composto por 80 % de casca de arroz *in natura* (Tabela 2, Figura 2).

Figura 2. Diferença entre alturas de mudas de *A. sellowiana* crescidas nos substratos: A=substrato comercial (100%); B= composto orgânico (80%); C= casca de arroz *in natura* (80%).



Fonte: o autor

Gonçalves et al. (2000), recomendam 20 a 35 cm como altura ideal para uma muda de espécie florestal nativa de boa qualidade. Deste modo, todos os tratamentos formulados com composto orgânico e com 40% de palha de café *in natura* proporcionaram médias dentro do limite considerado ideal. Este último substrato, por sua vez, proporcionou a maior média de teores totais para o N (21,1 g kg<sup>-1</sup>) e P (4,9 g kg<sup>-1</sup>), o que pode estar influenciando a altura

das mudas desses tratamentos. As maiores médias para a altura foram alcançadas nos tratamentos formulados com composto orgânico, possivelmente devido às quantidades de P, K e Ca contidos nos tratamentos formulados com este resíduo. Schumacher, Ceconi e Santana (2003) verificaram que a adição de fósforo ao substrato proporcionou maior crescimento das mudas de *Peltophorum dubium* (Sprengel), indicando a importância desse nutriente para o crescimento das mudas.

O substrato formulado com 40% LE + 60% CO proporcionou a maior média de altura para as mudas de *A. sellowiana*. Resultados semelhantes ao presente estudo foram observados por Peroni (2012), que verificou que os tratamentos que continham composto orgânico em sua composição, especialmente os tratamentos com 40% LE + 60% CO e 20% LE + 80% CO, proporcionaram os melhores resultados em termos de crescimento das mudas de *Eucalyptus grandis*.

Altas proporções de resíduos e vermiculita com exceção do composto orgânico podem diminuir o crescimento inicial das mudas, conforme resultados do presente estudo, no qual os substratos formulados com lodo de esgoto acima de 40% foram satisfatórios para o ganho de altura das mudas de *A. sellowiana*. Contrariamente ao observado por Camargo et al. (2010), trabalhando com diferentes resíduos orgânicos na produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) verificaram que a adição de lodo de esgoto proporcionou maior média de crescimento das mudas com 10% de lodo de esgoto e proporções acima desta propiciaram decréscimo na altura média.

Os tratamentos formulados com fibra de coco, casca de arroz carbonizada e casca de arroz in natura proporcionaram médias elevadas para altura quando se utilizou proporções de 60 e 80% de lodo de esgoto. Na medida que a proporção do lodo de esgoto era diminuída, a altura também diminuía. Esse resultado pode ser atribuído ao fato da fibra de coco conter baixos teores de P que foi fornecido pelo lodo de esgoto.



Tabela 2. Médias e desvio padrão da altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (D), massa seca de raízes (MSR); massa seca da parte aérea (MSPA) das mudas de *Aegiphila sellowiana* produzidos em diferentes substratos com lodo de esgoto

| Tratamento | Descrição       | H               | D             | MSR                    | MSPA           |
|------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------|
|            |                 | cm              | Mm            | g planta <sup>-1</sup> |                |
| 1          | 100% LE         | 14,08 e* ± 3,76 | 5,59 c ± 0,99 | 1,733 c ± 0,63         | 2,003 e ± 0,81 |
| 2          | 80% LE /20% FC  | 12,84 f ± 3,33  | 4,85 d ± 0,73 | 1,290 e ± 0,43         | 1,677 e ± 0,63 |
| 3          | 60% LE /40% FC  | 10,52 g ± 1,34  | 4,32 e ± 0,50 | 0,964 e ± 0,20         | 0,974 f ± 0,18 |
| 4          | 40% LE /60% FC  | 9,35 g ± 1,15   | 3,65 f ± 0,43 | 0,725 f ± 0,19         | 0,809 f ± 0,16 |
| 5          | 20% LE /80% FC  | 9,35 g ± 1,15   | 2,71 g ± 0,39 | 0,370 f ± 0,11         | 0,359 g ± 0,13 |
| 6          | 80% LE /20% VER | 12,51 f ± 1,99  | 4,51 e ± 0,70 | 1,249 e ± 0,47         | 1,585 e ± 0,56 |
| 7          | 60% LE /40% VER | 15,75 e ± 3,01  | 4,59 e ± 0,47 | 1,699 c ± 0,44         | 1,863 e ± 0,28 |
| 8          | 40% LE /60% VER | 11,55 f ± 1,85  | 4,61 e ± 0,52 | 1,450 d ± 0,52         | 1,625 e ± 0,48 |
| 9          | 20% LE /80% VER | 11,58 f ± 1,85  | 4,45 e ± 0,55 | 1,370 d ± 0,23         | 1,295 f ± 0,46 |
| 10         | 80% LE /20% PCN | 15,57 e ± 3,23  | 5,38 c ± 1,07 | 1,581 d ± 0,86         | 2,172 d ± 1,04 |
| 11         | 60% LE /40% PCN | 24,33 c ± 3,99  | 4,97 d ± 0,86 | 1,508 d ± 0,67         | 2,605 d ± 0,95 |
| 12         | 40% LE /60% PCN | 18,84 d ± 3,25  | 5,78 c ± 1,02 | 1,841 c ± 0,78         | 2,948 c ± 0,84 |
| 13         | 20% LE /80% PCN | 17,08 d ± 3,13  | 5,37 c ± 1,00 | 1,766 c ± 0,80         | 2,452 d ± 0,89 |
| 14         | 80% LE /20% CO  | 25,16 c ± 5,86  | 5,89 c ± 1,06 | 2,150 b ± 0,71         | 3,250 c ± 1,10 |
| 15         | 60% LE /40% CO  | 27,32 b ± 7,63  | 6,52 b ± 1,21 | 2,792 a ± 1,04         | 3,997 b ± 1,90 |
| 16         | 40% LE /60% CO  | 33,58 a ± 5,06  | 7,42 a ± 0,70 | 2,717 a ± 0,82         | 5,248 a ± 1,67 |
| 17         | 20% LE /80% CO  | 26,91 b ± 6,82  | 7,11 a ± 1,53 | 2,751 a ± 1,35         | 5,066 a ± 2,61 |
| 18         | 80% LE /20% CAC | 18,30 d ± 3,30  | 5,77 c ± 0,75 | 2,239 b ± 0,50         | 2,879 c ± 0,63 |
| 19         | 60% LE /40% CAC | 16,61 d ± 3,45  | 5,33 c ± 0,71 | 1,863 c ± 0,49         | 2,532 d ± 0,77 |
| 20         | 40% LE /60% CAC | 14,62 e ± 2,28  | 4,81 d ± 0,63 | 1,518 d ± 0,43         | 1,844 e ± 0,47 |
| 21         | 20% LE /80% CAC | 8,68 g ± 1,35   | 3,70 f ± 0,43 | 0,992 e ± 0,23         | 1,105 f ± 0,20 |
| 22         | 80% LE /20% CAN | 18,74 d ± 2,91  | 5,43 c ± 0,69 | 1,856 c ± 0,51         | 2,426 d ± 0,71 |
| 23         | 60% LE /40% CAN | 13,30 e ± 1,68  | 4,82 d ± 0,65 | 1,545 d ± 0,31         | 1,754 e ± 0,37 |
| 24         | 40% LE /60% CAN | 6,56 h ± 1,27   | 2,61 g ± 0,27 | 0,452 f ± 0,11         | 0,569 g ± 0,11 |
| 25         | 20% LE /80% CAN | 4,47 h ± 1,06   | 2,11 h ± 0,34 | 0,169 f ± 0,07         | 0,187 g ± 0,08 |
| 26         | 100% SC         | 10,07 g ± 2,47  | 4,26 e ± 0,72 | 1,407 d ± 0,45         | 0,930 f ± 0,43 |
| F          |                 | **              | **            | **                     | **             |
| CV %***    |                 | 48,65           | 29,77         | 57,46                  | 74,24          |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café *in natura*; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial; \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

A casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* possuem maiores teores de P que o lodo de esgoto (Tabela 3, Cap. II). Estes resíduos proporcionaram pH alcalino, o qual é prejudicial ao fornecimento de P às mudas. O lodo de esgoto, por sua vez, proporcionou pH ácido, que também é desfavorável a disponibilidade de P (MEURER, 2007). A associação entre esses resíduos faz com que os substratos formulados proporcionem pH mais elevado que o lodo de esgoto e inferior aos resíduos de casca de arroz puros com um pH dentro dos limites agrônômicos e ideal para o fornecimento da maioria dos nutrientes. Nesse sentido Raij (1991) relata que em pH inferior a 6, a solubilidade do fósforo diminui, não estando disponível a planta. Já em pH acima de 6,5 são esperadas deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre (MEURER, 2007)

O substrato comercial proporcionou os maiores teores médios P (509 mg/dm<sup>3</sup>), no entanto, não proporcionou maiores médias para a altura da parte aérea, o que pode estar ligado a fatores físicos como a porosidade total (89,45%) que excedeu os valores de referências tidos como ideais e, baixo valor de água facilmente disponível (14,70%). Confirmando o presente estudo, Caldeira et al. (2013) encontraram o valor de 85% para a porosidade total do substrato comercial, no qual o mesmo proporcionou as menores médias para mudas de *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) de todas as características de crescimento avaliadas.

Nos demais tratamentos que não se encontram no limite considerado ideal para a altura, foi possível verificar as maiores médias nas maiores proporções de lodo de esgoto, podendo-se inferir que o mesmo resultou em benefícios ao crescimento em altura das mudas.

A correlação foi positiva e significativa para o crescimento em altura e diâmetro do coleto D (0,90) e MSR (0,47) e negativa para os teores totais de Fe do substrato (-0,51) Tabela 3. Pode-se supor que altos teores de Fe (32.000mg/kg) do lodo de esgoto, mesmo estando dentro dos limites recomendados pela resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006) foram prejudiciais ao crescimento em altura das mudas.

As mudas de *A. sellowiana* atingiram vários tamanhos em diâmetro, influenciadas pelos tipos de substratos, havendo diferença significativa entre estes e entre as diferentes proporções de resíduos ( $p < 0,05$ , Tabela 2). As

maiores médias para o diâmetro do coleto foram observadas nos tratamentos formulados com lodo de esgoto associado ao composto orgânico, cujo resultado pode estar relacionado aos níveis de P e K, que aumentaram com maiores proporções de composto orgânico. Raij (1991) considera o K como o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, sendo o cátion mais importante na fisiologia vegetal.

O composto orgânico pode apresentar níveis adequados de P, Ca, Mg, K e pH e por isso substratos formulados com este resíduo podem ter efeito significativamente positivo no crescimento em diâmetro de mudas de espécies florestais (CUNHA et al., 2005). No presente estudo, parece haver esta relação, pois os substratos formulados com composto orgânico apresentaram os valores ideais para fósforo, potássio e magnésio.

A utilização de casca de arroz carbonizada proporcionou baixo crescimento do diâmetro do coleto das mudas de *A. sellowiana*. Resultados semelhantes foram observados por Kratz e Wendling (2013) em que a utilização de casca de arroz carbonizada combinadas ou não com fibra de coco, proporcionaram baixo crescimento das mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Segundo Gonçalves et al. (2000), uma muda de espécie nativa de boa qualidade deve possuir o diâmetro do coleto situado na faixa de 5 a 10 mm. Nesse sentido, todos os tratamentos formulados com composto orgânico estão dentro da faixa considerada adequada. Apenas o tratamento T11 (60% LE /40% PCN), dentre os formulados com palha de café *in natura*, não proporcionou uma média dentro da faixa considerada adequada pelo autor. Proporções de 20 e 40% de casca de arroz carbonizada 20% de casca de arroz *in natura* e 100% de lodo de esgoto proporcionaram mudas com diâmetro dentro da faixa ideal. Houve correlação negativa e significativa para o diâmetro do coleto e teores totais de Fe do substrato (-0,46), em que o mesmo foi prejudicial ao crescimento em diâmetro das mudas semelhante ao observado a altura das mudas.

No presente estudo o substrato comercial utilizado como testemunha não proporcionou média considerada adequada para o diâmetro do coleto. Já Caldeira et al. (2012b), avaliaram o efeito do lodo de esgoto associado ao substrato comercial para produção de mudas de *Tectona grandis* Linn. F e

verificaram que a adição de lodo de esgoto ao substrato comercial foi favorável ao crescimento em diâmetro das mudas. Segundo os autores, a melhor formulação do substrato foi de 40% de lodo de esgoto e 60% de substrato comercial e a sua utilização sem adição de lodo de esgoto proporcionou as menores médias para as características morfológicas avaliadas.

O fósforo é um dos elementos mais importantes para as plantas. É vital para o crescimento, reprodução, produção e qualidade de muitas culturas, está associado com várias funções e é responsável pelas características típicas de crescimento das plantas, que intervêm na síntese bioquímica de açúcar, amido e polissacarídeos, na formação de ácido nucléico, o alongamento celular e transferência de caráter de hereditariedade (RAHMAN et al., 2011). Esta importância do P pode ser demonstrada nos substratos formulados com palha de café *in natura*, composto orgânico e fibra de coco, nos quais foram registrados níveis elevados de P disponível (135 a 355 mg dm<sup>-3</sup> de P) e maior incremento de matéria seca de raiz (Tabela 2, Figura 3). As maiores médias de massa seca de raiz foram encontradas nos tratamentos formulados com 40, 60 e 80 % de composto orgânico, não havendo diferença significativa entre estas proporções ( $p > 0,05$ , Tabela 2).

A adição de casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* elevou o nível de P disponível dos substratos porém, a MSR diminuiu acompanhando o aumento dos resíduos, podendo inferir que o P além de ser muito importante para o crescimento das raízes depende de outros fatores como os de ordem física como a macroporosidade. Stone, Guimarães e Moreira (2002), relatam que a infiltração de água está diretamente relacionada com a macroporosidade em que os macroporos transportam maior fluxo total de água. Neste sentido, o baixo crescimento das raízes de *A. sellowiana* podem ser reflexo do aumento da macroporosidade em função da adição de casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* ao substrato, proporcionando diminuição da água disponível e água facilmente disponível às plântulas. De forma semelhante, o substrato comercial, que obteve a maior média para o P disponível entre os substratos formulados, não proporcionou a maior média de MSR devido possivelmente a fatores como a água facilmente disponível, que está em um limite abaixo do considerado adequado de acordo com Carrijo et al. (2002) e Fermino (2003).

Tabela 3. Correlação entre teores totais dos nutrientes dos substratos e as características morfológicas das mudas de *Aegiphila sellowiana*

|          | D                   | H                   | MSR                 | MSPA                | MST                 | H/D                  | MSPA /MSR           | IQD                 | N                   | P                   | K                   | Ca                  | Mg                  | S                   | Zn                  | Fe                  | Mn                  | Cu                  | B      |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| D        | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| H        | 0,90**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| MSR      | 0,61**              | 0,47*               | 1,00**              |                     |                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| MSPA     | 0,87**              | 0,83**              | 0,45*               | 1,00**              |                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| MST      | 0,90**              | 0,84**              | 0,65**              | 0,97**              | 1,00**              |                      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| H/D      | 0,37 <sup>ns</sup>  | 0,72**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,41*               | 0,37 <sup>ns</sup>  | 1,00**               |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| MSPA/MSR | 0,46*               | 0,57**              | -0,28 <sup>ns</sup> | 0,70**              | 0,52**              | 0,47*                | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| IQD      | 0,83**              | 0,64**              | 0,86**              | 0,79**              | 0,90**              | 0,07 <sup>ns</sup>   | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| N        | 0,21 <sup>ns</sup>  | 0,12 <sup>ns</sup>  | 0,19 <sup>ns</sup>  | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | -0,025 <sup>ns</sup> | -0,02 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| P        | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,14 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | -0,12 <sup>ns</sup> | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,24 <sup>ns</sup>  | -0,16 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup>  | 0,78**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| K        | 0,10 <sup>ns</sup>  | 0,18 <sup>ns</sup>  | -0,07 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,20 <sup>ns</sup>   | 0,15 <sup>ns</sup>  | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,11 <sup>ns</sup> | -0,41*              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| Ca       | 0,17 <sup>ns</sup>  | 0,25 <sup>ns</sup>  | 0,18 <sup>ns</sup>  | 0,25 <sup>ns</sup>  | 0,26 <sup>ns</sup>  | 0,20 <sup>ns</sup>   | 0,06 <sup>ns</sup>  | 0,18 <sup>ns</sup>  | -0,47*              | -0,42*              | -0,14 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| Mg       | -0,25 <sup>ns</sup> | -0,19 <sup>ns</sup> | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,02 <sup>ns</sup>  | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,20 <sup>ns</sup> | 0,12 <sup>ns</sup>  | -0,28 <sup>ns</sup> | -0,11 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |        |
| S        | -0,27 <sup>ns</sup> | -0,28 <sup>ns</sup> | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,32 <sup>ns</sup> | -0,28 <sup>ns</sup> | -0,19 <sup>ns</sup>  | -0,34 <sup>ns</sup> | -0,15 <sup>ns</sup> | 0,23 <sup>ns</sup>  | 0,48*               | -0,16 <sup>ns</sup> | -0,24 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |        |
| Zn       | 0,23 <sup>ns</sup>  | 0,18 <sup>ns</sup>  | 0,31 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,17 <sup>ns</sup>  | 0,05 <sup>ns</sup>   | -0,12 <sup>ns</sup> | 0,28 <sup>ns</sup>  | 0,64**              | 0,60**              | -0,58**             | 0,15 <sup>ns</sup>  | -0,30 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |        |
| Fe       | -0,46*              | -0,51**             | -0,32 <sup>ns</sup> | -0,41*              | -0,44*              | -0,43*               | -0,26 <sup>ns</sup> | 0,-38 <sup>ns</sup> | -0,31 <sup>ns</sup> | 0,06 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,23 <sup>ns</sup>  | 0,38*               | 0,42*               | -0,32 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |        |
| Mn       | -0,13 <sup>ns</sup> | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,17 <sup>ns</sup> | 0,03 <sup>ns</sup>   | -0,15 <sup>ns</sup> | -0,21 <sup>ns</sup> | -0,67**             | -0,64**             | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,37 <sup>ns</sup>  | -0,05               | -0,14 <sup>ns</sup> | -0,27 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |        |
| Cu       | -0,03 <sup>ns</sup> | -0,16 <sup>ns</sup> | 0,04 <sup>ns</sup>  | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,01 <sup>ns</sup> | -0,26 <sup>ns</sup>  | -0,06 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,60**              | 0,77**              | -0,25 <sup>ns</sup> | -0,45*              | -0,17               | 0,43*               | 0,43*               | -0,04 <sup>ns</sup> | -0,61**             | 1,00**              |        |
| B        | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,11 <sup>ns</sup> | -0,23 <sup>ns</sup> | -0,13 <sup>ns</sup> | -0,17 <sup>ns</sup> | 0,02 <sup>ns</sup>   | 0,03 <sup>ns</sup>  | -0,23 <sup>ns</sup> | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,33 <sup>ns</sup> | 0,75*               | -0,05 <sup>ns</sup> | -0,09               | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,65**             | 0,31 <sup>ns</sup>  | -0,11 <sup>ns</sup> | -0,03 <sup>ns</sup> | 1,00** |

Diâmetro do coleto (D), altura da parte aérea (H), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação altura/diâmetro (H/D), relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD), macro e micronutrientes. Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo (p>0,05).

Figura 3. Diferenças entre volumes das raízes de mudas de *A. sellowiana* produzidas em: A= casca de arroz *in natura* (80%); B=Composto orgânico (80%); C= Substrato comercial (100%).



Fonte: o autor

Quanto maior o valor da densidade global, mais difícil é o cultivo em recipiente, pela limitação no crescimento das plantas, pela dificuldade de penetração e desenvolvimento das raízes (KÄMPF, 2000). No entanto, esse não foi um fator limitante ao crescimento das raízes das mudas de *A. sellowiana* do presente estudo, na qual a densidade global dos tratamentos formulados com composto orgânico associado ao lodo de esgoto pode ser considerada como elevada. Em contrapartida, os valores de porosidade total, água disponível e água facilmente disponível estão de acordo com os níveis adequados propostos por Gonçalves e Poggiani (1996), Carrijo et al. (2002) e Fermino (2003), o que pode ter resultado em maiores médias de MRS mesmo com densidades mais elevadas dos tratamentos.

Bordin et al. (2006) avaliaram o desenvolvimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H. B. K.) cultivadas em amostras de um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa compactado artificialmente em subsuperfície, no qual os autores não observaram influência do aumento dos níveis de densidade do substrato no crescimento das raízes. Já Previtalli et al. (2012) avaliaram a influência da compactação de um substrato arenoso no crescimento de mudas de pupunheira verificaram que a densidade de  $1,64 \text{ g cm}^{-3}$  proporcionou melhor desempenho das mudas, mostrando que a leve compactação do substrato pode ter efeito benéfico para a produção de mudas. Os autores ainda afirmam que isso foi certamente devido ao melhor contato das raízes com o substrato, facilitando o transporte de água e nutrientes para a planta, além da fixação desta. No presente estudo pode ser verificado resultado semelhante, pois houve correlação significativa e positiva entre a MSPA a densidade global (0,40) (Tabela 3).

Em se tratando da massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 2), os tratamentos formulados com composto orgânico proporcionaram as maiores médias para esta característica, principalmente nos substratos formulados com 60 e 80% de CO. Nestas proporções a MSPA atingiu valores bem superiores aos demais substratos ( $5,248 \text{ g planta}^{-1}$  a 60 % e  $5,066 \text{ g planta}^{-1}$  a 80 %).

Nos tratamentos formulados com fibra de coco, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*, a medida em que foi aumentada a proporção dos resíduos, houve uma redução nos incrementos de MSPA das mudas. Possivelmente isto deve-se ao fato que esses mesmos tratamentos

também proporcionaram menores ganhos de MSR a medida que se diminuiu a proporção de lodo de esgoto desses tratamentos, podendo inferir que a MSPA é dependente da MSR para esses tratamentos. Adicionalmente, houve correlação positiva entre MSPA e MSR (0,45) e além de D (0,87), H (0,83), H/D (0,41) e CE (0,39) conforme Tabelas 3, 4 e 5 e negativa com o teor total de Fe (-0,41).

Corroborando com o presente estudo Nascimento Filho, Atroch e Cecon (2012), quantificaram o grau de associação entre variáveis de parte aérea e de raízes em mudas clonadas de guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth) e verificaram que o grupo de variáveis da parte aérea não se mostrou independente do grupo de variáveis do sistema radicular.

Lacerda et al. (2006), verificaram que a melhor média (20,4 g) para a MSPA foi adquirida no substrato formulado na proporção 1:2 de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e fibra de coco na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. No presente estudo a medida que se aumentou as proporções de fibra de coco dos substratos, houve redução da MSPA das mudas.

Trigueiro e Guerrini (2003) avaliaram a viabilidade do uso de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada como componente do substrato para produção de mudas de eucalipto e verificaram o substrato comercial foi superior aos tratamentos 80/20, 70/30 e 40/60, lodo de esgoto/casca de arroz carbonizada para a produção de matéria seca da parte aérea. Contrariamente ao encontrado pelos autores, no presente estudo foi verificado que as proporções de 20, 40 e 60% de arroz carbonizada proporcionaram médias superiores ao substrato comercial. Apenas a maior proporção de casca de arroz carbonizada (80%) não diferiu estatisticamente do substrato comercial.

Os substratos formulados a partir de vermiculita, palha de café *in natura* e composto orgânico proporcionaram ganhos em MSPA até determinada proporção desses materiais. Os formulados por vermiculita proporcionaram ganhos com no máximo 40% desse material. A palha de café *in natura* proporcionou ganhos de MSPA nas mudas até a proporção de 60%, na qual foi a maior média (2,948 g) entre os tratamentos formulados com esse resíduo. A palha de café *in natura* e o composto orgânico também proporcionaram ganhos em MSPA até a proporção de 60%.

Tabela 4. Correlação entre os atributos físicos e as características morfológicas das mudas de *Aegiphila sellowiana*

|          | D                   | H                   | MSR                 | MSPA                | MST                 | H/D                 | MSPA /MSR           | IQD                 | Dg                 | PT                 | Macro   | AD     | AFD    | Micro  |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------|--------|--------|--------|
| D        | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| H        | 0,90**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| MSR      | 0,61**              | 0,47*               | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| MSPA     | 0,87**              | 0,83**              | 0,45*               | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| MST      | 0,90**              | 0,84**              | 0,65**              | 0,97**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| H/D      | 0,37 <sup>ns</sup>  | 0,72**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,41*               | 0,37 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| MSPA/MSR | 0,46*               | 0,57**              | -0,28 <sup>ns</sup> | 0,70**              | 0,52**              | 0,47*               | 1,00**              |                     |                    |                    |         |        |        |        |
| IQD      | 0,83**              | 0,64**              | 0,86**              | 0,79**              | 0,90**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                    |                    |         |        |        |        |
| Dg       | 0,31 <sup>ns</sup>  | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,09 <sup>ns</sup>  | 0,40*               | 0,36 <sup>ns</sup>  | -0,23 <sup>ns</sup> | 0,27 <sup>ns</sup>  | 0,35 <sup>ns</sup>  | 1,00**             |                    |         |        |        |        |
| PT       | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,06 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,16 <sup>ns</sup>  | 0,17 <sup>ns</sup>  | -0,09 <sup>ns</sup> | 0,09 <sup>ns</sup>  | 0,19 <sup>ns</sup>  | 0,14 <sup>ns</sup> | 1,00**             |         |        |        |        |
| Macro    | -0,06 <sup>ns</sup> | 0,04 <sup>ns</sup>  | 0,07 <sup>ns</sup>  | -0,23 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup>  | -0,27 <sup>ns</sup> | -0,17 <sup>ns</sup> | -0,43*             | 0,07 <sup>ns</sup> | 1,00**  |        |        |        |
| AD       | 0,05 <sup>ns</sup>  | -0,10 <sup>ns</sup> | -0,06 <sup>ns</sup> | 0,18 <sup>ns</sup>  | 0,14 <sup>ns</sup>  | -0,30 <sup>ns</sup> | 0,17 <sup>ns</sup>  | 0,18 <sup>ns</sup>  | 0,43*              | 0,37 <sup>ns</sup> | -0,73** | 1,00** |        |        |
| AFD      | 0,12 <sup>ns</sup>  | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,03 <sup>ns</sup> | 0,24 <sup>ns</sup>  | 0,20 <sup>ns</sup>  | -0,25 <sup>ns</sup> | 0,22 <sup>ns</sup>  | 0,22 <sup>ns</sup>  | 0,42*              | 0,32 <sup>ns</sup> | -0,72** | 0,98** | 1,00** |        |
| Micro    | 0,13 <sup>ns</sup>  | -0,00 <sup>ns</sup> | -0,00 <sup>ns</sup> | 0,30 <sup>ns</sup>  | 0,25 <sup>ns</sup>  | -0,19 <sup>ns</sup> | 0,29 <sup>ns</sup>  | 0,26 <sup>ns</sup>  | 0,46*              | 0,46*              | -0,84** | 0,85** | 0,82** | 1,00** |

Diâmetro do coleto (D), altura da parte aérea (H), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação altura/diâmetro (H/D), relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD), densidade global (Dg), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD) e microporosidade (Micro); Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo (p>0,05)



Tabela 5. Correlação entre os atributos químicos dos substratos e as características morfológicas das mudas de *Aegiphila sellowiana*

|          | D                   | H                   | MSR                 | MSPA                | MST                 | H/D                 | MSPA/<br>MSR        | IQD                 | pH                  | P                  | K                   | Ca                 | Mg                 | CE     | TTSS   |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------|--------|
| D        | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| H        | 0,90**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| MSR      | 0,61**              | 0,47*               | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| MSPA     | 0,87**              | 0,83**              | 0,45*               | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| MST      | 0,90**              | 0,84**              | 0,65**              | 0,97**              | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| H/D      | 0,37 <sup>ns</sup>  | 0,72**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,41*               | 0,37 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| MSPA/MSR | 0,46*               | 0,57**              | -0,28 <sup>ns</sup> | 0,70**              | 0,52**              | 0,47*               | 1,00**              |                     |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| IQD      | 0,83**              | 0,64**              | 0,86**              | 0,79**              | 0,90**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                    |                     |                    |                    |        |        |
| pH       | 0,00 <sup>ns</sup>  | 0,15 <sup>ns</sup>  | -0,12 <sup>ns</sup> | -0,03 <sup>ns</sup> | -0,06 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | -0,20 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                    |                     |                    |                    |        |        |
| P        | -0,30 <sup>ns</sup> | -0,32 <sup>ns</sup> | -0,37 <sup>ns</sup> | -0,19 <sup>ns</sup> | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,30 <sup>ns</sup> | -0,00 <sup>ns</sup> | -0,33 <sup>ns</sup> | 0,28 <sup>ns</sup>  | 1,00**             |                     |                    |                    |        |        |
| K        | 0,06 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,01 <sup>ns</sup>  | -0,00 <sup>ns</sup> | 0,77**              | 0,28 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                    |                    |        |        |
| Ca       | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,10 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | -0,37 <sup>ns</sup> | 0,04 <sup>ns</sup>  | 0,04 <sup>ns</sup>  | -0,47*              | 0,49*              | -0,30 <sup>ns</sup> | 1,00**             |                    |        |        |
| Mg       | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,10 <sup>ns</sup> | -0,21 <sup>ns</sup> | 0,08 <sup>ns</sup>  | 0,01 <sup>ns</sup>  | -0,16 <sup>ns</sup> | 0,24 <sup>ns</sup>  | -0,07 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup>  | 0,57 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,30 <sup>ns</sup> | 1,00**             |        |        |
| CE       | 0,24 <sup>ns</sup>  | 0,14 <sup>ns</sup>  | -0,01 <sup>ns</sup> | 0,39*               | 0,32 <sup>ns</sup>  | -0,14 <sup>ns</sup> | 0,32 <sup>ns</sup>  | 0,24 <sup>ns</sup>  | -0,27 <sup>ns</sup> | 0,51**             | -0,00 <sup>ns</sup> | 0,62**             | 0,33 <sup>ns</sup> | 1,00** |        |
| TTSS     | 0,20 <sup>ns</sup>  | 0,04 <sup>ns</sup>  | -0,06 <sup>ns</sup> | 0,33 <sup>ns</sup>  | 0,27 <sup>ns</sup>  | -0,30 <sup>ns</sup> | 0,30 <sup>ns</sup>  | 0,22 <sup>ns</sup>  | -0,39*              | 0,43*              | -0,19 <sup>ns</sup> | 0,67**             | 0,32 <sup>ns</sup> | 0,76** | 1,00** |

Diâmetro do coleto (D), altura da parte aérea (H), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação altura/diâmetro (H/D), relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular (MSPA/MSR), índice de qualidade de Dickson (IQD), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo, potássio, cálcio, magnésio, condutividade elétrica (CE) e teor total de sais solúveis (TTSS); Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo p>0,05)

Trazzi et al. (2012) avaliaram a influência da utilização de lodo de esgoto e dejetos bovinos como componentes de substratos na qualidade de mudas de *Murraya paniculata* (L.) Jack e verificaram que as mudas com maiores valores médios de MSPA foram produzidas nos substratos com maiores proporções de matéria orgânica, seja com adição de lodo de esgoto ou de dejetos bovinos.

A matéria seca total MST (Tabela 6) é a soma das massas secas das raízes MSR e aérea MSPA, logo é dependente das mesmas. Houve correlação significativa e positiva entre a MST e D (0,90), H (0,84), MSR (0,65), MSPA (0,97) e negativa com o teor total de Fe (-0,44) conforme Tabela 3. Os tratamentos que proporcionaram maiores médias para MSR e MSPA consequentemente proporcionaram maiores médias para a MST e vice e versa.

Os substratos formulados com maiores proporções de fibra de coco, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*, proporcionaram reflexo negativo para a MST, que está relacionado com a redução das médias de MSR e MSPA dos tratamentos formulados com esses resíduos e podendo destacar a dependência do lodo de esgoto pela MSR e MSPA desses tratamentos.

Com o objetivo de avaliar o crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi submetidas a diferentes quantidades de solo e lodo de esgoto (100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80) sem adubação mineral, Nóbrega et al. (2007), constataram que o lodo de esgoto melhorou a fertilidade do substrato, o que proporcionou aumento na biomassa total. No presente estudo o mesmo pode ser observado para as mudas produzidas nos substratos formulados com fibra de coco (2,967g planta<sup>-1</sup>), vermiculita (3,562 g planta<sup>-1</sup>), casca de arroz *in natura* (5,118 g planta<sup>-1</sup>) e carbonizada (4,282 g planta<sup>-1</sup>) na qual o lodo de esgoto foi responsável por maior ganho de biomassa total das mudas.

No entanto as mudas produzidas nos substratos formulados com palha de café *in natura* e composto orgânico com a diminuição do lodo de esgoto foi possível observar incremento na MST das mesmas, possivelmente por maior teor de matéria orgânica.

Tabela 6. Médias e desvio padrão da massa seca total (MST) relação altura/diâmetro (H/D); relação massa seca da parte aérea/ matéria seca da raiz (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson das mudas de *Aegiphila sellowiana*

| Tratamento | Descrição       | MST             | H/D            | MSPA/MSR       | IQD            |
|------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|            |                 | g planta-1      |                |                |                |
| 1          | 100% LE         | 3,737 e* ± 1,38 | 2,526 g ± 0,54 | 1,144 d ± 0,25 | 1,024 b ± 0,37 |
| 2          | 80% LE /20% FC  | 2,967 f ± 0,98  | 2,648 g ± 0,59 | 1,313 c ± 0,45 | 0,766 c ± 0,26 |
| 3          | 60% LE /40% FC  | 1,938 g ± 0,33  | 2,448 g ± 0,34 | 1,029 d ± 0,18 | 0,567 d ± 0,13 |
| 4          | 40% LE /60% FC  | 1,535 g ± 0,33  | 2,594 g ± 0,44 | 1,148 d ± 0,21 | 0,423 d ± 0,13 |
| 5          | 20% LE /80% FC  | 0,729 h ± 0,23  | 3,496 e ± 0,68 | 0,961 e ± 0,18 | 0,169 e ± 0,07 |
| 6          | 80% LE /20% VER | 2,834 f ± 0,98  | 2,800 g ± 0,40 | 1,358 c ± 0,37 | 0,712 c ± 0,28 |
| 7          | 60% LE /40% VER | 3,562 e ± 0,60  | 3,458 e ± 0,68 | 1,163 d ± 0,34 | 0,805 c ± 0,23 |
| 8          | 40% LE /60% VER | 3,076 f ± 0,94  | 2,532 g ± 0,43 | 1,199 d ± 0,37 | 0,866 c ± 0,35 |
| 9          | 20% LE /80% VER | 2,665 f ± 0,62  | 2,629 g ± 0,48 | 0,942 e ± 0,26 | 0,758 c ± 0,20 |
| 10         | 80% LE /20% PCN | 3,754 e ± 1,86  | 2,922 f ± 0,42 | 1,526 c ± 0,64 | 0,887 b ± 0,47 |
| 11         | 60% LE /40% PCN | 4,113 d ± 1,41  | 5,035 a ± 1,22 | 2,127 a ± 1,21 | 0,617 d ± 0,27 |
| 12         | 40% LE /60% PCN | 4,789 c ± 1,58  | 3,328 e ± 0,69 | 1,806 b ± 0,56 | 1,024 b ± 0,49 |
| 13         | 20% LE /80% PCN | 4,219 d ± 1,65  | 3,223 f ± 0,57 | 1,522 c ± 0,37 | 0,940 b ± 0,45 |
| 14         | 80% LE /20% CO  | 5,400 c ± 1,52  | 4,303 c ± 0,95 | 1,587 c ± 0,44 | 0,959 b ± 0,33 |
| 15         | 60% LE /40% CO  | 6,789 b ± 2,71  | 4,189 c ± 0,98 | 1,504 c ± 0,52 | 1,222 a ± 0,47 |
| 16         | 40% LE /60% CO  | 7,965 a ± 2,36  | 4,538 b ± 0,69 | 1,959 b ± 0,55 | 1,240 a ± 0,39 |
| 17         | 20% LE /80% CO  | 7,817 a ± 3,10  | 3,784 d ± 0,75 | 2,323 a ± 1,32 | 1,353 a ± 0,72 |
| 18         | 80% LE /20% CAC | 5,118 c ± 1,04  | 3,221 f ± 0,72 | 1,315 c ± 0,26 | 1,150 a ± 0,31 |
| 19         | 60% LE /40% CAC | 4,395 d ± 1,16  | 3,119 f ± 0,57 | 1,391 c ± 0,33 | 1,000 b ± 0,28 |
| 20         | 40% LE /60% CAC | 3,362 e ± 0,79  | 3,083 f ± 0,64 | 1,294 c ± 0,45 | 0,808 c ± 0,25 |
| 21         | 20% LE /80% CAC | 2,097 g ± 0,36  | 2,354 g ± 0,37 | 1,155 d ± 0,26 | 0,602 d ± 0,11 |
| 22         | 80% LE /20% CAN | 4,282 d ± 1,12  | 3,477 e ± 0,58 | 1,338 c ± 0,40 | 0,906 b ± 0,27 |
| 23         | 60% LE /40% CAN | 3,299 e ± 0,58  | 2,794 g ± 0,43 | 1,163 d ± 0,26 | 0,852 c ± 0,21 |
| 24         | 40% LE /60% CAN | 1,021 h ± 0,21  | 2,515 g ± 0,45 | 1,297 c ± 0,23 | 0,273 e ± 0,06 |
| 25         | 20% LE /80% CAN | 0,357 h ± 0,15  | 2,137 g ± 0,45 | 1,146 d ± 0,25 | 0,110 e ± 0,05 |
| 26         | 100% SC         | 2,337 f ± 0,80  | 2,374 g ± 0,45 | 0,664 e ± 0,19 | 0,776 c ± 0,23 |
| F          |                 | **              | **             | **             | **             |
| CV %       |                 | 64,33           | 30,41          | 44,73          | 54,90          |

LE=lodo de esgoto; FC=fibra de coco triturada; VER=vermiculita; PCN=palha de café *in natura*; CO=composto orgânico; CAC=casca de arroz carbonizada; CAN= casca de arroz *in natura*; SC=substrato comercial; \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo ( $p < 0,05$ ); \*\*\*Coeficiente de variação

Alguns estudos demonstram que a adição de composto orgânico ao substrato pode resultar em ganhos de massa seca das mudas. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al. (2005) e Souza (2005), cujos estudos mostraram que o composto orgânico proporcionou acréscimo na biomassa seca das mudas de *Tabebuia impetiginosa* Mart. ex D.C. e *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich. Já Caldeira et al. (2008a) verificaram que altas proporções de composto orgânico no substrato tiveram um efeito negativo na produção de biomassa seca das mudas de aroeirinha (*Schinus terebinthifolius*) Raddi.

De forma semelhante ao que ocorreu com as médias de MSPA, a MST das mudas crescidas nos tratamentos formulados com vermiculita, palha de café *in natura* e composto orgânico também promoveram ganhos em suas médias com a adição desses materiais até determinado limite. Para a vermiculita e a palha de café *in natura* as proporções até 40 e 60% respectivamente, são mais adequadas, pois a partir dessas proporções pode ser verificado diminuição das médias de massa seca da parte aérea e massa seca total. Já o composto orgânico promoveu ganhos em até 80%.

A relação entre altura e diâmetro do coleto (H/D) foi afetada significativamente (Tabela 6), na qual foi possível observar correlação positiva e significativa entre H/D e H (0,72) conforme a Tabela 3. Pode-se inferir que esta resposta se deve ao fato do crescimento em altura e em diâmetro do coleto ter ocorrido de forma desequilibrada, assim, quanto menor for o diâmetro do coleto maior será esse valor.

A relação entre a altura e diâmetro do coleto é variável com a finalidade da produção, espécie e manejo das mudas no viveiro. Alguns autores têm encontrado médias que variam muito entre as espécies estudadas. Caldeira et al. (2008a) e José, Davide e Oliveira (2005) encontraram valores entre 9,6 a 11,9 e 7,3 a 9,8 respectivamente, para *Schinus terebinthifolius*. Bernardino et al. (2005) registraram valores entre 6,69 a 11,30 para a *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. Trazzi et al. (2012) encontraram valores entre 3,9 a 7,4 para *Murraya paniculata*; Cruz, Paiva e Guerrero (2006) valores entre 3,23 a 4,71 para *Samanea inopinata* (Harms) Ducke); Ataide et al. (2010) de 8,20 a 9,9 para *Eucalyptus sp.* e Kratz e Wendling (2013) 6,52 a 8,95 para *Eucalyptus dunnii*.

Parece não haver um consenso a respeito do valor ideal para a relação altura/diâmetro. De acordo com Birchler et al. (1998) as mudas devem apresentar para o índice H/D um valor de 10, o qual é o padrão ideal recomendado. Por outro lado, Carneiro (1995) afirma que quando esse índice for igual a 10, haverá má qualidade das mudas pelo desequilíbrio entre a média de altura da parte aérea e a do seu diâmetro do colo. Já Gomes e Paiva (2004) afirmam que quanto menor for o seu valor, maior será a capacidade de as mudas sobreviverem e se estabelecerem na área do plantio definitivo.

As mudas produzidas no tratamento T11 (60% LE /40% PCN) proporcionaram as maiores médias para o índice H/D se diferenciando estatisticamente das demais, seguida pelos tratamentos formulados com composto orgânico (Tabela 6). Nenhum tratamento apresentou relação próxima de 10, no entanto as mudas formuladas com casca de arroz *in natura* e carbonizada, fibra de coco e vermiculita proporcionaram as menores médias para essa relação, sendo as mais capacitadas para sobreviverem e estabelecerem em campo segundo Gomes e Paiva (2004).

No que tange aos valores médios para o índice MSPA/MSR os tratamentos T11 (60% LE /40% PCN) e T17 (20% LE /80% CO) foram os que proporcionaram as médias estatisticamente superiores aos demais tratamentos (Tabela 6). Em contra partida foram os tratamentos com maior discrepância entre a MSPA e MSR o que pode ter resultado nas maiores médias dessa relação, uma vez que maior média de MSPA e menores de MSR resultam em um maior valor para esse índice.

Gonçalves e Mello (2000) relatam que os ganhos médios em raízes podem estar relacionados com o sítio (disponibilidade de água e nutrientes). Sítios com reduzidos estoques de água e nutrientes apresentam produção de biomassa da parte aérea reduzida, quando comparada com àquela com sítio fértil, considerando-se a mesma espécie e práticas silviculturais idênticas. A relação MSPA/MSR é comumente menor em ambiente de baixa fertilidade, podendo ser considerada uma estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes naquela condição (TEDESCO et al., 1999).

Os valores da relação MSPA/MSR pode ter explicação de acordo Tedesco et al., (1999 ). Os tratamentos com palha de café *in natura* e

composto orgânico proporcionaram maior fertilidade às mudas, com isso puderam emitir mais MSPA em relação a MSR. Contrariamente ao substrato comercial que mesmo apresentando médias superiores para nutrientes como P, Ca e Mg proporcionou massa seca de raiz maior que a da massa seca da parte aérea, o pode estar relacionado com a falta de água como verificado por meio da baixa média para a AFD do substrato (Cap. I, Tabela 3). O tratamento T9 (20% LE /80% VER) assim como o substrato comercial obtiveram maiores médias da MSR do que MSPA possivelmente não em decorrência da falta de água, mas sim, da fertilidade visto que esse é um material inerte e pode absorver grandes quantidade de água (WENDLING e GATTO, 2002; GOMES e PAIVA, 2004)

Caldeira et al. (2008a), avaliaram a influência do composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), chegando a conclusão que as mudas produzidas com 40% do composto orgânico + 60% de terra de subsolo foram superiores estatisticamente aos demais tratamentos e que a relação parte área e raiz nas mudas deve ser de 2:1. No presente estudo apenas os tratamentos T11 (60% LE /40% PCN) e T17 (20% LE /80% CO) alcançaram essa relação. Os autores ainda comentam que é importante analisar essa relação quando as mudas vão para o campo, pois a parte aérea das mudas não dever ser muito superior que a da raiz em função dos possíveis problemas no que se refere a absorção de água para a parte aérea.

Foi possível observar correlação significativa entre a relação parte área e raiz com a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto (Tabela 3), cujas características são consideradas por Gomes e Paiva (2004) como as mais importantes para estimar o padrão de qualidade e sobrevivências das mudas. Essas características juntas proporcionaram correlação entre todas as características morfológicas avaliadas, indicando a importância de sua utilização em estudos de qualidade de mudas.

O índice de qualidade de Dickson é um índice ponderado das características morfológicas das mudas e foi desenvolvido estudando-se o comportamento de mudas de *Picea glauca* e *Pinus monficola*. Com base nos trabalhos realizados ficou estabelecido um valor mínimo de 0,20 como bom indicador para a qualidade dessas mudas (GOMES e PAIVA, 2004). Se

considerado esse valor para as mudas de *A. sellowiana* do presente estudo, apenas os tratamentos com a maior proporção de fibra de coco T5 (80% FC) e com maior proporção de casca de arroz *in natura* T25 (80% CAN) não apresentaram valor igual ou superior ao estabelecido como bom indicador.

Segundo Gomes e Paiva (2004) quanto maior o valor do IQD, melhor será o padrão de qualidade das mudas. Deste modo, substratos que apresentaram maior média para o IQD foram aqueles formulados com 40, 60 e 80% de composto orgânico e 20% de casca de arroz carbonizada, diferenciando estatisticamente entre os demais ( $p < 0,05$ , Tabela 6).

O índice de qualidade de Dickson pode variar em função da espécie, do manejo das mudas no viveiro, do tipo e proporção do substrato, do volume do recipiente e, principalmente, de acordo com a idade em que a muda foi avaliada (Caldeira et al., 2005; 2007). Vários estudos na literatura (CALDEIRA et al., 2008a; CALDEIRA et al., 2008b; SAIDELLES et al., 2009; TRAZZI et al., 2010) reforçam o que foi mencionado. Nesse sentido, apesar de determinados tratamentos apresentarem maiores médias para essa característica, não é possível afirmar que as mesmas, como as encontradas nesse estudo, garantam um bom crescimento das mudas após o seu plantio em campo, uma vez que o tempo de permanência das mudas no viveiro pode alterar a relação MSPA/MSR bem como o manejo de irrigação e adubação podem alterar as demais relações das características morfológicas.

#### 4. CONCLUSÕES

Os tratamentos formulados com composto orgânico especialmente as proporções de 60 e 80% proporcionaram maiores médias para as características morfológicas avaliadas.

Maiores proporções de lodo de esgoto proporcionaram maiores médias para o diâmetro do coleto, altura das mudas, matéria seca da raiz, matéria seca da parte aérea e matéria seca total de *Aegiphila sellowiana* quando adicionado aos resíduos fibra de coco, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*.

As mudas de *A. sellowiana* produzidas em substrato contendo apenas o lodo de esgoto apresentaram menores médias das características morfológicas avaliadas, quando associado aos resíduos.

De modo geral, o substrato comercial proporcionou as menores médias para as características morfológicas avaliadas.

Os tratamentos com 40, 60 e 80% de composto orgânico e 20% de casca de arroz carbonizada proporcionaram maior equilíbrio de biomassa com as maiores médias do índice de qualidade de Dickson das mudas.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATAIDE, G.M.; CASTRO, R. V. O.; SANTANA, R. C.; DIAS, B A S; CORREIA, A. C. G.; MENDES, A. F. N. . Efeito da densidade na bandeja sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 4, p. 21-26, 2010.

BERNARDINO, D. C. de S.; PAIVA, H. N. de; NEVES, J. C. de L.; GOMES, J. M.; MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 863-870, 2005.

BIRCHLER, T.; ROSE, R. W.; ROYO, A.; PARDOS, M. La planta ideal: revision del concepto, parámetros definitorios e implementacion practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 7, n. 1/2, p. 109-121, 1998.

BORDIN, I.; MISSIO, R. F.; CASSIMIRO, E. L. N.; CASTRO, A. M. C. E.; FEY, E. Desenvolvimento de mudas de pupunheira em Latossolo argiloso compactado artificialmente em subsuperfície. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.1, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006** – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?ano=todos&codlegitipo=3> Acesso em: 17 out. 2012.

CALDEIRA, M.V.W., SPATHELF, P., BARICHELO, L.R., VOGEL, H.L.M., SCHUMACHER, M.V. Effect of different doses of vermicompost on the growth of *Apuleia leiocarpa* (Vog) Macbr. seedlings. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v.3, p.11-17, 2005.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, Guarapuava, v. 3, p. 1 - 8, 2007.

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

CALDEIRA, M. V. W.; BLUM, H.; BALBINOT, R.; LOMBARDI, K. C. Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, São José dos Pinhais, v. 6, p. 191 - 202. 2008b.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de bio-sólido na composição de

substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n. 93 p. 15-22. 2012a.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. de O.; ALVES, A. F. A. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, p. 77-84, 2012b.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, p. 31-39, 2013.

CAMARGO, R.; MALDONADO, A. C. D.; SILVA, P. A.; COSTA, T. R. Biossólido como substrato na produção de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 1304-1310, 2010.

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

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola. **Revista Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CRUZ, C. A. F. E; PAIVA, H. N. de; GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms)Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 537-546, 2006.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.4, p.507-516, 2005.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 104 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

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

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais** (propagação sexuada). Viçosa: Editora UFV, p. 116, 2004. (Caderno didático, 72).

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.309-350, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.309-350, 2000.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A.C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v.11, n.2, p.187-96, 2005.

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

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M. A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BARRETO, L. P.; Características físicas e químicas de substratos a base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista árvore**, Viçosa , v.30, n.2, p.163-170, 2006.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. p 65-90. 2007.

NASCIMENTO FILHO, F. J. do; ATROCH, A. L.; CECON, P. R. Associação entre características da parte aérea e do sistema radicular em mudas de guaranazeiro por correlações canônicas. **Acta Amazônica**, Manaus, v.2, p. 241-244, 2012.

NÓBREGA, R. S. A.; BOAS, R. C. V.; NÓBREGA, J. C. A.; PAULA, A. M. de; MOREIRA, F. M. S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 239 - 246, 2007.

NÓBREGA, R. S. A.; ABRAHÃO, R.S; PAULA, A. M.; VILAS BOAS, R. C.; NOBREGA, J. C. A. ; MOREIRA, F. M. S. Parâmetros morfológicos de mudas de *Sesbania virgata* (Caz.) Pers e de *Anadenanthera peregrina* (L.) cultivadas em substrato fertilizado com composto de lixo urbano. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 597-607, 2008.

PERONI, L. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill exMaiden**. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2012.

PEZZOPANE, J. E. M.; CASTRO, F. da S.; PEZZOPANE, J. R. M; CECÍLIO, R. A. **Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo**. 1. ed. Alegre: CAUFES, v. 1. 178p. 2012.

PREVITALI, R. V. Z.; TUCCI, M. L. S.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. de M.; LAGO, A. M. M. A.. Efeito da compactação do substrato no crescimento de mudas de pupunheira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, p. 259-268, 2012.

R Core Team (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. Disponível em: <http://www.R-project.org/> Acesso em 05 jan. 2013

RAHMAN, K. M. M.; CHOWDHURY, M. A. K.; SHARMEEN, F.; SARKAR, A.; HYE, M. A.; BISWAS, G. C. Effect of zinc and phosphorus on yield of *Oryza sativa* (cv. BR-11). **Bangladesh Research Publications Journal**, Bangladesh, v.5, p.351-358, 2011.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Ceres, São Paulo, 343p .1991.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHIRMER, W. N.; SPERANDIO, H. V. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p. 1173 - 1186. 2009.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 637-644, 2010.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A.. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de plantas de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Embrapa Florestas, Colombo, v. 47, p. 99-114, 2003.

SOUZA, V. C. de; ANDRADE, L. A. de; BRUNO, R. L. A.; CUNHA, A. O.; SOUZA, A. P. de. Produção de mudas de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) em diferentes substratos. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n.2, p. 12-16, 2005.

STONE, L. F.; GUIMARAES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

TEDESCO, N.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V. Influência do vermicomposto na produção de mudas de caroba (*Jacarandá micrantha* Chamisso). **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.1, p.1-8, 1999.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.3, p. 621-630. 2012.

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

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

WENDLING, I.; GATTO, A. . **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. 1. ed. Viçosa - MG: Aprenda Fácil Editora, v. 1. 166p, 2002.

## **CAPÍTULO IV**

**CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM MUDAS  
DE *Aegiphila sellowiana* Cham PRODUZIDAS À BASE DE LODO DE  
ESGOTO RESÍDUOS ORGÂNICOS E VERMICULITA**

## RESUMO

Pouco se conhece sobre as exigências nutricionais das mudas de *Aegiphila sellowiana* e nesse sentido o presente estudo teve como objetivo determinar a concentração e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das mudas crescidas em diferentes substratos. O experimento consistiu na utilização da parte aérea das mudas crescidas em 26 tratamentos, obtidos a partir da mistura de lodo de esgoto com os resíduos (fibra de coco, palha de café *in natura*, composto orgânico, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*) e vermiculita nas proporções de 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80 (lodo de esgoto:resíduos), e uma testemunha, constituída por substrato comercial. O lodo de esgoto foi responsável pelos acúmulos de P, Ca, Mg e S nas mudas crescidas em tratamentos com fibra de coco, vermiculita, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*. Os maiores acúmulos de nutrientes da parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana* foram obtidos no tratamento com 40% de lodo de esgoto associado com 60% de composto orgânico. Os nutrientes acumularam na seguinte ordem decrescente: N>Ca>K>P>Mg>S.

**Palavras chave:** nutrição de mudas, biomassa, teor de nutrientes.

## ABSTRACT

Little is known about the nutritional requirements of seedlings *Aegiphila sellowiana* and accordingly the present study aimed to determine the concentration and accumulation of nutrients in shoots of seedlings grown on different substrates. The experiment consisted in the use of the seedlings grown in 26 treatments, obtained from the mixture of sewage sludge with waste (coconut fiber, fresh coffee straw, compost, rice hulls and bark rice in natura) and vermiculite in proportions of 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 and 20:80 (sewage sludge: waste) and a control consisting of commercial substrate. The sewage sludge was responsible for the accumulation of P, Ca, Mg and S in seedlings grown in treatments with coconut fiber, vermiculite, rice hulls and rice husk in nature. The highest accumulation of the aerial part of the seedlings *Aegiphila sellowiana* were obtained in the treatment with 40% sewage sludge associated with 60% of organic compost. Nutrients accumulated in the following descending :N> Ca> K> P> Mg> S.

Keywords: nutrition seedlings, biomass, nutrient content



## 1. INTRODUÇÃO

O substrato para a produção de mudas, formado por uma constituição mineral e orgânica, deve reunir características físicas e químicas que promovam boa aeração, retenção de água e disponibilidade de nutrientes que influenciarão o crescimento da planta.

As demandas nutricionais das plantas em relação ao crescimento vegetativo e reprodutivo são fatores que influenciam na recomendação de adubação de uma cultura (LAVIOLA et al., 2006) e que a composição química tanto quanto o acúmulo de nutrientes em folhas e frutos são informações imprescindíveis para conhecer as exigências nutricionais de uma planta. Estas informações podem servir como subsídio para estimar a quantidade dos nutrientes a ser fornecida às plantas por meio da adubação (LAVIOLA e DIAS, 2008).

Grande parte dos estudos sobre as exigências nutricionais das plantas são dedicados às espécies com valor econômico, especialmente eucalipto (GONÇALVES, 1995; TRIGUEIRO e GUERRINI 2003; COSTA, TONINI e SCHWENGBER, 2007; LEITE et al., 2011) *Pinus* (GONÇALVES, 1995; CHAVES e CORREA, 2003; DEDECEK et al., 2008) Teca (Barroso et al., 2005; TRAZZI, 2011; VIEIRA et al., 2011) espécie com potencial de utilização de óleo como o pinhão manso (LAVIOLA et al 2006, LAVIOLA e DIAS, 2008; OLIVEIRA et al., 2012).

Na literatura são escassos os estudos sobre recomendações nutricionais para mudas de espécies florestais nativas com destaque para o trabalho de Gonçalves et al. (2008), que avaliaram a exigências nutricionais de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), que em decorrência do trabalho recomendaram doses de N (50 a 200 mg dm<sup>-3</sup>); P (150 a 250 mg dm<sup>-3</sup>); K (50 mg dm<sup>-3</sup>); Ca (0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); Mg ( 0,2 a 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); e S (20 a 80 mg dm<sup>-3</sup>) para a produção das mudas. Gonçalves et al. (2013) avaliaram a nutrição de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. e encontraram níveis críticos referentes a N (16 a 17,3 g kg<sup>-1</sup>), P (1 a 1,5 g kg<sup>-1</sup>), K (5,7 a 7,1 g kg<sup>-1</sup>), Ca (10 a 14,4 g kg<sup>-1</sup>) e Mg (1,3 a 2,4 g kg<sup>-1</sup>) na parte aérea das mudas. Reis et al. (2012) avaliaram as exigencias nutricionais de enxofre e potássio em jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.) que foram de 30 mg dm<sup>-3</sup> de S e K. Lopes et al.

(2007) ressaltam que as recomendações, na maioria das vezes, são feitas considerando os exames visuais de deficiência ou toxidez. Não existem na literatura faixas de acúmulo para o sistema radicular e para a parte aérea (folhas, ramos e haste) das mudas que as qualifiquem como ideais nutricionalmente em cada estágio de desenvolvimento.

Pouco se conhece sobre as exigências nutricionais das espécies nativas. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo determinar o efeito de diferentes substratos na concentração e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana*, uma espécie com grande potencial de utilização em programas de recuperação de áreas degradadas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO**

Os substratos e os tratamentos estão detalhados no Capítulo I. A descrição da área experimental, bem como o delineamento experimental estão no Capítulo III.

### **2.2. ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO VEGETAL**

Ao final do ciclo de 120 dias (julho a novembro) das mudas no viveiro, foi realizada a análise química da parte aérea das mudas que consistiu em todo o material vegetal acima do nível do substrato. Para determinação dos teores dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S. As amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante. Depois foram trituradas em moinho de facas, com peneira de 30 mesh para facilitar o processo seguinte, de digestão nitroperclórica. As análises foram realizadas no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foram realizadas três repetições por tratamento.

A determinação de N foi realizada por digestão sulfúrica e destilação (Kjeldahl); e P, K, Ca, Mg e S por digestão nitroperclórica, e em seguida determinou-se o P e S por colorimetria, K por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, seguindo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA (1997).

Para o cálculo do acúmulo de nutrientes da parte aérea das mudas, foi levado em consideração os teores de nutrientes multiplicando-se por sua respectiva massa seca da parte aérea.

### **2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS**

Para a realização das análises de tecido vegetal, bem como a análise estatística dos dados foram utilizadas três repetições de seis plantas (unidades

amostrais) para cada tratamento. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), prosseguindo para o teste de Scott-Knott a fim de observar as diferenças entre as médias e Correlação de Pearson para verificar a correlação entre os atributos químicos disponíveis e os teores de macronutrientes na parte aérea e a correlação entre as características morfológicas e os teores de macronutrientes da parte aérea das mudas, utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2012).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. TEORES DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA

Na Tabela 1 são apresentados os efeitos dos substratos nos teores de nutrientes da parte aérea das mudas de *A. sellowiana*, onde a análise de variância revelou diferenças significativas entre os tratamentos.

Os teores de N na massa seca da planta considerados adequados para o crescimento normal das plantas podem variar de 20 a 50 g Kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA 1989; FURLANI, 2004). Os teores de N da parte aérea das mudas de *A. sellowiana* variaram de 12,54 a 32,42 g kg<sup>-1</sup>. Contudo, é possível afirmar que a maioria das mudas proporcionaram médias dos teores de N dentro da faixa considerado como ideal para o seu crescimento normal.

A maior média para o teor de N na parte aérea das mudas de *A. sellowiana* foi obtido no substrato formulado com 40% de fibra de coco (32,42 g kg<sup>-1</sup>) e seguido por 20% (29,57 g kg<sup>-1</sup>). Este resíduo puro contém quantidades intermediárias de N (6,5 g kg<sup>-1</sup>, Tabela 11 Capítulo II) quando comparado aos demais. Possivelmente, a maior concentração deste nutriente na parte aérea das mudas nestes substratos está associada à maior proporção de lodo de esgoto, tendência também encontrada para os demais tratamentos, com exceção da palha de café e casca de arroz *in natura*.

O lodo de esgoto é um resíduo rico em nitrogênio (BOEIRA, 2004; BETTIOL e FERNANDES, 2004), conforme já foi constatado neste estudo pela análise de macronutrientes nos resíduos puros (19,0 g kg<sup>-1</sup>, Tabela 8 Capítulo II), evidenciando a importância deste material na composição de substratos para a produção de mudas. Resultados semelhantes foram observados por Guedes e Poggiani (2003), ao verificarem que o lodo do esgoto proporcionou aumento nos teores foliares de N em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Por Trigueiro e Guerrini (2003), que encontraram maiores teores de N na parte aérea das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill em substratos com LE quando comparados com o substrato comercial. E por Bovi et al. (2007) que observaram aumento nos teores foliares de N em plantas de *Bactris gasipaes* Kunth decorrentes da melhoria da fertilidade com aplicação de lodo de esgoto.

Tabela 1. Médias e desvio padrão dos teores de nutrientes na parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana* produzidas em diferentes substratos

| Tratamento | Descrição       | N              | P              | K              | Ca             | Mg            | S             |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
|            |                 |                |                |                |                |               |               |
| 1          | 100% LE         | 26,09 c ± 0,62 | 4,81* e ± 0,23 | 6,31 d ± 0,49  | 11,22 b ± 0,73 | 3,10 g ± 0,17 | 2,13 b ± 0,13 |
| 2          | 80% LE /20% FC  | 29,57 b ± 0,10 | 7,62 c ± 0,23  | 6,78 c ± 0,81  | 10,65 b ± 1,49 | 4,07 e ± 0,10 | 2,66 a ± 0,11 |
| 3          | 60% LE /40% FC  | 32,42 a ± 1,71 | 10,50 a ± 0,69 | 8,96 b ± 0,02  | 10,87 b ± 1,31 | 3,77 f ± 0,07 | 2,63 a ± 0,05 |
| 4          | 40% LE /60% FC  | 26,51 c ± 0,66 | 10,32 a ± 0,75 | 12,05 a ± 2,23 | 9,61 b ± 1,17  | 3,61 f ± 0,36 | 2,27 b ± 0,06 |
| 5          | 20% LE /80% FC  | 20,96 e ± 2,97 | 9,51 b ± 0,72  | 8,99 b ± 1,50  | 9,16 b ± 0,85  | 4,41 e ± 0,42 | 2,00 b ± 0,07 |
| 6          | 80% LE /20% VER | 25,44 c ± 0,49 | 7,79 c ± 1,07  | 7,09 c ± 0,68  | 10,91 b ± 0,74 | 5,07 d ± 0,47 | 2,26 b ± 0,05 |
| 7          | 60% LE /40% VER | 22,14 d ± 0,89 | 6,73 d ± 1,45  | 6,86 c ± 0,68  | 10,19 b ± 0,75 | 7,97 a ± 0,59 | 2,14 b ± 0,12 |
| 8          | 40% LE /60% VER | 20,60 e ± 0,20 | 5,66 d ± 0,05  | 5,73 d ± 0,09  | 6,42 c ± 0,29  | 7,59 a ± 0,31 | 1,69 c ± 0,10 |
| 9          | 20% LE /80% VER | 18,33 f ± 0,44 | 5,94 d ± 0,06  | 6,48 d ± 0,56  | 6,23 c ± 0,17  | 7,01 b ± 0,43 | 1,38 d ± 0,14 |
| 10         | 80% LE /20% PCN | 17,03 f ± 1,65 | 4,60 e ± 1,30  | 6,96 c ± 1,34  | 9,29 b ± 2,38  | 2,95 g ± 0,60 | 1,44 d ± 0,50 |
| 11         | 60% LE /40% PCN | 17,98 f ± 0,70 | 5,87 d ± 0,08  | 7,40 c ± 0,47  | 10,80 b ± 0,21 | 2,92 g ± 0,32 | 1,37 d ± 0,12 |
| 12         | 40% LE /60% PCN | 18,68 f ± 0,07 | 4,47 e ± 0,17  | 5,93 d ± 0,69  | 10,10 b ± 0,29 | 3,17 g ± 0,08 | 1,51 d ± 0,18 |
| 13         | 20% LE /80% PCN | 19,61 e ± 0,32 | 5,11 e ± 0,24  | 6,82 c ± 0,74  | 10,12 b ± 0,03 | 4,13 e ± 0,23 | 1,39 d ± 0,04 |
| 14         | 80% LE /20% CO  | 21,32 d ± 0,16 | 5,96 d ± 0,79  | 6,85 c ± 0,53  | 12,64 a ± 0,79 | 3,46 f ± 0,29 | 1,66 c ± 0,19 |
| 15         | 60% LE /40% CO  | 22,16 d ± 0,58 | 6,69 d ± 0,17  | 7,26 c ± 0,49  | 10,89 b ± 0,76 | 3,53 f ± 0,30 | 1,67 c ± 0,11 |
| 16         | 40% LE /60% CO  | 23,00 d ± 0,68 | 6,78 d ± 0,55  | 6,60 c ± 0,46  | 11,29 b ± 0,18 | 4,86 d ± 0,19 | 1,80 c ± 0,06 |
| 17         | 20% LE /80% CO  | 21,58 d ± 1,65 | 5,74 d ± 0,28  | 6,24 d ± 0,45  | 11,09 b ± 0,28 | 5,90 c ± 0,17 | 1,73 c ± 0,06 |
| 18         | 80% LE /20% CAC | 19,12 f ± 1,14 | 5,63 d ± 0,36  | 5,68 d ± 0,12  | 10,47 b ± 0,76 | 2,89 g ± 0,25 | 1,61 c ± 0,08 |
| 19         | 60% LE /40% CAC | 20,36 e ± 0,11 | 6,14 d ± 0,28  | 6,22 d ± 0,25  | 10,89 b ± 1,85 | 3,13 g ± 0,21 | 1,94 c ± 0,15 |
| 20         | 40% LE /60% CAC | 20,34 e ± 0,23 | 6,25 d ± 0,08  | 6,27 d ± 1,22  | 12,18 a ± 0,43 | 3,04 g ± 0,04 | 1,83 c ± 0,10 |
| 21         | 20% LE /80% CAC | 17,39 f ± 1,13 | 4,51 e ± 0,10  | 6,00 d ± 0,26  | 10,13 b ± 0,95 | 2,88 g ± 0,14 | 1,70 c ± 0,14 |
| 22         | 80% LE /20% CAN | 17,88 f ± 0,42 | 5,19 e ± 0,46  | 5,58 d ± 0,39  | 11,60 a ± 0,38 | 2,91 g ± 0,18 | 1,88 c ± 0,11 |
| 23         | 60% LE /40% CAN | 20,86 e ± 0,36 | 6,05 d ± 0,15  | 6,07 d ± 0,51  | 12,36 a ± 1,17 | 3,71 f ± 0,04 | 2,32 b ± 0,09 |
| 24         | 40% LE /60% CAN | 27,86 c ± 0,69 | 9,11 b ± 0,03  | 7,63 c ± 0,38  | 11,99 a ± 0,44 | 3,47 f ± 0,13 | 2,55 a ± 0,22 |
| 25         | 20% LE /80% CAN | 26,78 c ± 1,79 | 10,30 a ± 0,11 | 7,58 c ± 0,47  | 10,62 b ± 0,23 | 4,17 e ± 0,09 | 2,61 a ± 0,04 |
| 26         | 100% SC         | 12,54 g ± 0,64 | 3,31 f ± 0,20  | 5,74 d ± 0,54  | 13,63 a ± 0,60 | 2,30 h ± 0,07 | 1,04 e ± 0,14 |
| F          |                 | **             | **             | **             | **             | **            | **            |
| CV(%)***   |                 | 20,40          | 30,27          | 21,61          | 16,69          | 36,77         | 23,80         |

LE- Lodo de Esgoto; FC- Fibra de Coco; PCN- Palha de Café *in natura*; CO- Composto Orgânico à base de palha de café *in natura* e esterco bovino; CAN- Casca de arroz *in natura*; SC- Substrato Comercial à base de casca de pinus e vermiculita \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação

No presente estudo, o substrato comercial proporcionou a menor média para o teor de N da parte aérea das mudas ( $12,54 \text{ g kg}^{-1}$ ) entre os substratos formulados, o que pode estar vinculado ao seu baixo teor no substrato ( $6,6 \text{ g kg}^{-1}$ ) e também pela não utilização de lodo de esgoto nesse tratamento. Houve correlação positiva entre os teores de nitrogênio e teores de potássio (0,52), fósforo (0,78), e enxofre (0,88) (Tabela 2). Segundo Ruan, Wu e Härdter, 1999) a correlação entre nitrogênio e potássio está relacionada com as funções enzimáticas, pela função do potássio na ativação da enzima redutase do nitrato.

Os teores de P na massa seca da planta considerados adequados para o crescimento normal das plantas podem variar de 1,0 a  $1,5 \text{ g Kg}^{-1}$  e teores acima de  $3,0 \text{ g Kg}^{-1}$  pode-se observar sintomas de toxidez (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA 1989; FURLANI, 2004). Nesse sentido, as mudas produzidas em todos os substratos formulados estão com teores de P numa faixa de toxicidade para a planta. No presente estudo todos os substratos formulados proporcionaram valores acima do considerado como adequado para o P disponível, mesmo esse nutriente não correlacionando com os seus teores na parte aérea das mudas.

Semelhante ao N, os teores de P na parte aérea das mudas de *A. sellowiana* foram maiores nos tratamentos formulados a partir de fibra de coco nas proporções 40 e 60%, além do substrato composto com 80% de CAN, não havendo diferença significativa entre estes tratamentos ( $p > 0,05$ , Tabela 1). A menor média do teor desse nutriente na parte aérea das mudas foi observada no tratamento T26 (100% SC) com  $3,31 \text{ g kg}^{-1}$ . Em contrapartida, esse mesmo tratamento proporcionou a maior média para o teor de P disponível entre os substratos (Capítulo II Tabela 2), o que explica a sua não correlação com seus teores na parte aérea das mudas (Tabela 2). Isso pode estar relacionado com outra variável como a água disponível, em que todos os substratos formulados com fibra de coco proporcionaram os maiores valores para esta característica, contribuindo para a disponibilidade dos nutrientes na solução dos substratos. Semelhante ao presente estudo, Trigueiro e Guerrini (2003) afirmaram que os maiores teores de P encontrados nos substratos com lodo de esgoto não influenciaram a concentração desse nutriente na parte aérea das mudas *Eucalyptus grandis* Hillex Maiden.

No presente estudo os teores de P correlacionaram com os teores de K (0,77) e de S (0,77) na parte aérea das mudas (Tabela 2). Segundo Dechen e Nachtigall (2007), o fósforo e potássio desempenham papel de importância na realização da fotossíntese, por isso a correlação entre os mesmos.

Os teores de K na massa seca da planta considerados adequados para o crescimento normal das plantas podem variar de 10 a 30 g Kg<sup>-1</sup> e teores abaixo de 8,0 g Kg<sup>-1</sup> pode-se observar sintomas de deficiência (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA 1989; FURLANI, 2004). Com base nisso, as mudas produzidas nos tratamentos com 40, 60 e 80% de fibra de coco apresentaram teores de K em uma faixa adequada e os demais tratamentos apresentaram médias na faixa de deficiência.

De forma semelhante ao ocorrido com P, as maiores médias para os teores de K da parte aérea das mudas de *A. sellowiana* foram registrados nos tratamentos formulados com fibra de coco (Tabela 1). O substrato com 60% de FC (T4) foi superior aos demais (12,05 g kg<sup>-1</sup>), havendo diferença significativa entre os demais tratamentos ( $p < 0,05$ ). Com exceção dos tratamentos formulados com fibra de coco e palha de arroz *in natura*, os demais tratamentos proporcionaram maiores médias para os teores de K da parte aérea com proporções de lodo de esgoto entre 80 e 60%.

Trazzi (2011) observou que os maiores teores de K no substrato, fornecidos pela casca de arroz carbonizada ou fibra de coco triturada, influenciaram na concentração deste nutriente na parte aérea das mudas de *Tectona grandis* L., corroborando com o estudo Rocha et al. (2013), que encontraram maior média para o teor de K no substrato formulado com 80% de casca de arroz carbonizada, contrariamente ao presente estudo na qual os substratos formulados com fibra de coco que proporcionaram as maiores médias para os teores de K na parte aérea das mudas não proporcionaram os maiores teores de K disponíveis. Trigueiro e Guerrini (2003) verificaram que em mudas de eucalipto que se desenvolveram em substratos com maior quantidade de Ca, ou seja, na presença de lodo de esgoto, apresentaram menor concentração de K na parte aérea devido ao efeito antagônico entre esses nutrientes. No presente estudo isso não pode ser verificado, apesar da correlação negativa e não significativa entre o Ca e o K.



Tabela 2. Correlação entre os atributos químicos disponíveis dos substratos e os teores de nutrientes da parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana*, potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), condutividade elétrica (CE) e teor total de sais solúveis (TTSS), teor de nitrogênio (TN), teor de fósforo (TP), teor de potássio (TK), teor de cálcio (TCa), teor de magnésio (TMg), teor de enxofre (TS)

|      | pH                  | P                   | K                   | Ca                  | Mg                  | CE                  | TTSS                | TN                 | TP                  | TK                  | TCa                | TMg                | TS     |
|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------|
| pH   | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| P    | 0,28 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| K    | 0,77**              | 0,28 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| Ca   | -0,47*              | 0,49*               | -0,30 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                     |                     |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| Mg   | 0,16 <sup>ns</sup>  | 0,57**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,30 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                     |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| CE   | -0,27 <sup>ns</sup> | 0,51**              | -0,01 <sup>ns</sup> | 0,62**              | 0,33 <sup>ns</sup>  | 1,00**              |                     |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| TTSS | -0,39*              | 0,43*               | -0,19 <sup>ns</sup> | 0,67**              | 0,32 <sup>ns</sup>  | 0,76**              | 1,00**              |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| TN   | -0,29 <sup>ns</sup> | -0,32 <sup>ns</sup> | -0,17 <sup>ns</sup> | -0,30 <sup>ns</sup> | -0,34 <sup>ns</sup> | 0,09 <sup>ns</sup>  | 0,12 <sup>ns</sup>  | 1,00**             |                     |                     |                    |                    |        |
| TP   | -0,24 <sup>ns</sup> | -0,32 <sup>ns</sup> | -0,16 <sup>ns</sup> | -0,39*              | -0,31 <sup>ns</sup> | 0,10 <sup>ns</sup>  | -0,15 <sup>ns</sup> | 0,78**             | 1,00**              |                     |                    |                    |        |
| TK   | -0,15 <sup>ns</sup> | -0,23 <sup>ns</sup> | 0,02 <sup>ns</sup>  | -0,34 <sup>ns</sup> | -0,21 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup>  | -0,11 <sup>ns</sup> | 0,52**             | 0,77**              | 1,00**              |                    |                    |        |
| TCa  | -0,14 <sup>ns</sup> | 0,53**              | 0,02 <sup>ns</sup>  | 0,59**              | -0,08 <sup>ns</sup> | 0,56**              | 0,57**              | 0,03 <sup>ns</sup> | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,12 <sup>ns</sup> | 1,00**             |                    |        |
| TMg  | 0,04 <sup>ns</sup>  | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,09 <sup>ns</sup> | -0,34 <sup>ns</sup> | 0,43*               | -0,25 <sup>ns</sup> | -0,19 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup>  | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,60**            | 1,00**             |        |
| TS   | -0,42*              | -0,33 <sup>ns</sup> | -0,33 <sup>ns</sup> | -0,23 <sup>ns</sup> | -0,49*              | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,02 <sup>ns</sup>  | 0,88**             | 0,77**              | 0,41*               | 0,13 <sup>ns</sup> | 0,08 <sup>ns</sup> | 1,00** |

Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo (p>0,05).

Os substratos formulados a base de casca de arroz *in natura* nas proporções de 20, 40 e 60% propiciaram as maiores médias para os teores de Ca (Tabela 1) da parte aérea das mudas de *A. sellowiana* não diferindo estatisticamente dos substratos formulados com 20% de composto orgânico (T14), 60% de casca de arroz carbonizada (T20) e 100% de substrato comercial (T26).

Os teores de Ca na massa seca da planta considerados adequados para o crescimento normal das plantas podem variar de 10 a 50 g Kg<sup>-1</sup> e plantas deficientes apresentam teores abaixo de 8,0 g Kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA 1989; FURLANI, 2004).

De modo geral, houve pouca variação nos teores de Ca da parte aérea das mudas, independente do substrato e das proporções dos componentes, indicando que qualquer associação destes resíduos com o LE é capaz de oferecer este nutriente às plantas. A exceção é evidenciada pelos substratos compostos por maiores proporções de vermiculita (60 e 80%), nos quais foram registrados os menores valores de Ca na parte aérea (T8 e T9, Tabela 1), havendo diferença significativa com os demais tratamentos (p<0,05). A vermiculita não contém Ca (Tabela 11, Capítulo II) e por isso as mudas crescidas em substratos formulados com altas proporções deste componente podem apresentar deficiência deste nutriente.

Severino et al. (2008) encontraram para a mamoneira (*Ricinus communis* L) valor entre 2,0 a 7,05 g kg<sup>-1</sup> para os teores de Ca da parte aérea das mudas e concluíram que os teores no tecido das plantas não correlacionaram com os teores dos nutrientes do substrato. Contrariamente ao presente estudo que teve variação entre as médias de 6,23 a 13,63 g kg<sup>-1</sup> de Ca para as mudas de *A. sellowiana*, os teores disponíveis do substrato influenciaram os teores do tecido vegetal como é descrito na Tabela 2, da mesma forma que relatam Marques et al. (2004) em que a omissão desse nutriente proporcionou decréscimo do mesmo no tecido das mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.). Diferentemente do presente estudo, Camargo et al (2013) verificaram para mudas de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) efeito negativo para o teor de Ca nas folhas dessa espécie. Da mesma forma que Backes et al. (2009) não obtiveram elevação nos teores de P e Ca em mamoneira, aos 50 dias após a emergência quando da adição de até

32 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. Verificou-se ainda correlação entre teores de Ca com teores disponíveis de P (0,59), CE (0,56) e TTSS (0,57).

Os teores de Mg na planta podem variar de 1 a 10 g Kg<sup>-1</sup> de massa seca da planta, com teores de 3 a 5 g Kg<sup>-1</sup> considerados adequados para o crescimento normal das plantas e as plantas deficientes apresentam teores abaixo de 3,0 g Kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA 1989; FURLANI, 2004). Nesse sentido, a maioria das médias das plantas estão dentro da faixa considerada como ideal, com exceção das mudas cultivadas nos substratos a base de vermiculita.

O teor de Mg na parte aérea das mudas variou de 2,30 a 7,97 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 1). As maiores médias de Mg foram registradas nas mudas em substratos formulados com 40 e 60% de vermiculita, não havendo diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ , Tabela 1). O substrato comercial proporcionou a menor média do teor desse nutriente para as mudas no presente estudo, de forma contrária ao observado por Trigueiro e Guerrini (2003) em que os mesmos observaram que o substrato comercial proporcionou uma das maiores médias para Mg (2,5 g Kg<sup>-1</sup>).

O teor de magnésio na parte aérea das mudas apresentou correlação positiva com os teores disponíveis desse nutriente nos substratos (0,43) (Tabela 2), o que pode explicar os altos teores desse nutriente na parte aérea das mudas, já que os mesmos substratos proporcionaram altos teores desse nutriente e correlação negativa com os teores de Ca da parte aérea (-0,60), apesar de não ter ocorrido correlação negativa entre os teores disponíveis de Ca e Mg dos substratos. Barroso et al (2005), relataram que existe uma relação competitiva entre esses nutrientes, e verificaram altos teores de Mg na parte aérea de teca com a omissão de Ca. Contrariamente ao presente estudo, Rocha et al. (2013), não observaram diferenças significativas dos teores de Mg nas mudas crescidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada para a produção de mudas de eucalipto.

Os teores de S na planta podem variar de 1 a 5 g Kg<sup>-1</sup> de matéria seca da planta, com teores de 1 a 3 g Kg<sup>-1</sup> considerados adequados para o crescimento normal das plantas e teores abaixo de 1,0 g Kg<sup>-1</sup> podem-se observar sintomas de deficiência (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA 1989;

FURLANI, 2004). Tomando como base a afirmação dos autores todas as médias dos teores de S da parte aérea das mudas estão dentro da faixa considerada como adequada.

Os tratamentos formulados com 20 e 40% de fibra de coco e 60 e 80% de casca de arroz *in natura* proporcionaram as maiores médias para os teores de S (Tabela 1) da parte aérea das mudas. Trigueiro e Guerrini (2003) observaram menores teores de S nos tratamentos formulados com o substrato comercial com  $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ , Rocha et al. (2013) também encontraram a menor média para o substrato comercial com  $0,9 \text{ g kg}^{-1}$  corroborando com o presente estudo em que o substrato comercial proporcionou a menor média para o teor de S da parte aérea das mudas com  $1,04 \text{ g kg}^{-1}$  inferior ao encontrado pelos autores anteriormente citados.

Não houve correlação significativa entre os teores de nutrientes e as características morfológicas das mudas como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Correlação entre os teores de nutriente da parte aérea das mudas e as características morfológicas das mudas de *Aegiphila sellowiana*, Diâmetro do coleto (D), altura da parte aérea (H), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação altura/diâmetro (H/D), relação massa seca da parte aérea/massa seca radicular (MSPA/MSR), teor de nitrogênio (TN), teor de fósforo (TP), teor de potássio (TK), teor de cálcio (TCa), teor de magnésio (TMg), teor de enxofre (TS).

|              | D                  | H                   | MSR                 | MSPA               | MST                | H/D                 | MSPA/<br>MSR        | IQD                | TN                 | TP                  | TK                  | TCa                | TMg                | TS     |
|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------|
| D            | 1,00**             |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| H            | 0,90**             | 1,00**              |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| MSR          | 0,61**             | 0,47*               | 1,00**              |                    |                    |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| MSPA         | 0,87**             | 0,83**              | 0,45*               | 1,00**             |                    |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| MST          | 0,90**             | 0,84**              | 0,65**              | 0,97**             | 1,00**             |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| H/D          | 0,37 <sup>ns</sup> | 0,72**              | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,41*              | 0,37 <sup>ns</sup> | 1,00**              |                     |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| MSPA/<br>MSR | 0,46*              | 0,57**              | -0,28 <sup>ns</sup> | 0,70**             | 0,52**             | 0,47*               | 1,00**              |                    |                    |                     |                     |                    |                    |        |
| IQD          | 0,83**             | 0,64**              | 0,86**              | 0,79**             | 0,90**             | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00**             | 1,00**             |                     |                     |                    |                    |        |
| TN           | 0,26 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,24 <sup>ns</sup> | 0,23 <sup>ns</sup> | -0,02 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup>  | 0,24 <sup>ns</sup> | 0,78**             | 1,00**              |                     |                    |                    |        |
| TP           | 0,23 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup>  | 0,19 <sup>ns</sup>  | 0,18 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup>  | 0,05 <sup>ns</sup>  | 0,22 <sup>ns</sup> | 0,52**             | 0,77**              | 1,00**              |                    |                    |        |
| TK           | 0,10 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup>  | 0,19 <sup>ns</sup>  | 0,09 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> | -0,09 <sup>ns</sup> | -0,05 <sup>ns</sup> | 0,23 <sup>ns</sup> | 0,03 <sup>ns</sup> | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,12 <sup>ns</sup> | 1,00**             |                    |        |
| TCa          | 0,03 <sup>ns</sup> | -0,09 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup>  | 0,05 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup> | -0,33 <sup>ns</sup> | -0,11 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup>  | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,60**            | 1,00**             |        |
| TMg          | 0,09 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup>  | -0,05 <sup>ns</sup> | 0,25 <sup>ns</sup> | 0,19 <sup>ns</sup> | 0,26 <sup>ns</sup>  | 0,38 <sup>ns</sup>  | 0,06 <sup>ns</sup> | 0,88**             | 0,77**              | 0,41*               | 0,13 <sup>ns</sup> | 0,08 <sup>ns</sup> | 1,00** |
| TS           | 0,20 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup>  | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,19 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup> | 0,04 <sup>ns</sup>  | 0,07 <sup>ns</sup>  | 0,21 <sup>ns</sup> | TN                 | TP                  | TK                  | TCa                | TMg                | TS     |

Teste t: \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo (p>0,05).

### 3.2.ACÚMULO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA

Na Tabela 4 são apresentados os efeitos dos substratos formulados com diferentes concentrações de lodo de esgoto no acúmulo de nutrientes da parte aérea das mudas de *A. sellowiana*, onde a análise de variância revelou diferenças significativas entre os tratamentos.

A maior média para o acúmulo de nitrogênio da parte aérea das mudas foi verificada no substrato formulados a partir de 60% de composto orgânico (120,70 g kg<sup>-1</sup>) devido ao fato desse mesmo tratamento proporcionar maior média para a massa seca da parte aérea das mudas. Semelhante ao estudo de Rocha et al. (2013) que encontraram maiores média de biomassa aérea para mudas crescidas no substrato com 100% de lodo de esgoto e maior acúmulo de N na parte aérea das mudas de eucalipto. Com um valor muito superior ao encontrado por Trigueiro e Guerrini (2003) com a maior média de 34 g kg<sup>-1</sup> para as mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas em substrato comercial não se diferenciando do tratamento com 50/50% casca de arroz carbonizada/ lodo de esgoto. No presente estudo a média de acúmulo de N para as mudas cultivadas em substrato comercial (11,66 g kg<sup>-1</sup>) foi bem inferior ao dos autores anteriormente citados, uma vez que para a massa seca da parte aérea também foi verificado inferioridade de (0,930 g kg<sup>-1</sup> contra 1,230 g kg<sup>-1</sup>).

Os tratamentos formulados com 60 e 80% de CO que proporcionaram as maiores médias para o acúmulo dos teores de N não proporcionaram o maior valor para a concentração desse nutriente nos tecidos das mudas. Na ocasião as maiores médias foram observadas nos tratamentos com 20 e 40% de fibra de coco. Esse fato pode ser explicado conforme Rocha et al. (2004), que observaram diluição das quantidades de N em uma maior biomassa, ou seja, a absorção de N não se manteve proporcional à formação de biomassa ao longo do tempo, decorrente da velocidade de crescimento maior do que a absorção de N.

Tabela 4. Médias e desvio padrão dos acúmulos de nutrientes na parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana* produzidas em diferentes substratos

| Tratamento | Descrição       | g kg <sup>-1</sup> |                |                |                |                |               |
|------------|-----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|            |                 | N                  | P              | K              | Ca             | Mg             | S             |
| 1          | 100% LE         | 52,26 e ± 1,23     | 9,63 *g ± 0,47 | 12,64 g ± 0,98 | 22,48 e ± 1,46 | 6,21 h ± 0,35  | 4,28 e ± 0,26 |
| 2          | 80% LE /20% FC  | 49,58 f ± 0,17     | 12,79 f ± 0,38 | 11,38 g ± 1,35 | 17,86 f ± 2,49 | 6,83 h ± 0,17  | 4,45 e ± 0,19 |
| 3          | 60% LE /40% FC  | 31,58 i ± 1,66     | 10,23 g ± 0,67 | 8,73 h ± 0,02  | 10,59 g ± 1,28 | 3,67 i ± 0,06  | 2,56 h ± 0,05 |
| 4          | 40% LE /60% FC  | 21,44 j ± 0,53     | 8,35 h ± 0,60  | 9,75 h ± 1,80  | 7,77 h ± 0,94  | 2,92 i ± 0,29  | 1,84 i ± 0,05 |
| 5          | 20% LE /80% FC  | 7,52 m ± 1,07      | 3,41 j ± 0,26  | 3,23 j ± 0,54  | 3,29 i ± 0,30  | 1,58 j ± 0,15  | 0,71 k ± 0,02 |
| 6          | 80% LE /20% VER | 40,32 g ± 0,78     | 12,35 f ± 1,69 | 11,24 g ± 1,08 | 17,30 f ± 1,17 | 8,03 g ± 0,75  | 3,59 g ± 0,08 |
| 7          | 60% LE /40% VER | 41,24 g ± 1,66     | 12,53 f ± 2,70 | 12,79 g ± 1,27 | 18,99 f ± 1,39 | 14,86 c ± 1,10 | 3,99 f ± 0,23 |
| 8          | 40% LE /60% VER | 33,48 i ± 0,32     | 9,21 g ± 0,09  | 9,30 h ± 0,14  | 10,44 g ± 0,47 | 12,34 d ± 0,51 | 2,74 h ± 0,16 |
| 9          | 20% LE /80% VER | 23,74 j ± 0,57     | 7,69 h ± 0,07  | 8,39 h ± 0,72  | 8,06 h ± 0,23  | 9,08 f ± 0,56  | 1,79 i ± 0,18 |
| 10         | 80% LE /20% PCN | 37,00 h ± 3,59     | 9,99 g ± 2,83  | 15,11 f ± 2,90 | 20,18 e ± 5,17 | 6,42 h ± 1,31  | 3,13 g ± 1,08 |
| 11         | 60% LE /40% PCN | 46,84 f ± 1,81     | 15,28 e ± 0,22 | 19,29 e ± 1,21 | 28,14 c ± 0,56 | 7,62 g ± 0,83  | 3,57 g ± 0,31 |
| 12         | 40% LE /60% PCN | 55,07 e ± 0,22     | 13,19 f ± 0,50 | 17,50 e ± 2,02 | 29,79 c ± 0,86 | 9,36 f ± 0,25  | 4,45 e ± 0,54 |
| 13         | 20% LE /80% PCN | 48,09 f ± 0,78     | 12,54 f ± 0,59 | 16,73 f ± 1,82 | 24,83 d ± 0,08 | 10,12 f ± 0,57 | 3,40 g ± 0,11 |
| 14         | 80% LE /20% CO  | 69,31 d ± 0,53     | 19,36 d ± 2,56 | 22,26 d ± 1,72 | 41,08 b ± 2,56 | 11,24 e ± 0,96 | 5,42 d ± 0,62 |
| 15         | 60% LE /40% CO  | 88,57 c ± 2,31     | 26,74 c ± 0,67 | 29,04 c ± 1,94 | 43,55 b ± 3,03 | 14,13 c ± 1,20 | 6,68 c ± 0,43 |
| 16         | 40% LE /60% CO  | 120,70 a ± 3,58    | 35,60 a ± 2,89 | 34,66 a ± 2,43 | 59,26 a ± 0,95 | 25,52 b ± 1,00 | 9,46 a ± 0,33 |
| 17         | 20% LE /80% CO  | 109,31 b ± 8,36    | 29,07 b ± 1,43 | 31,64 b ± 2,28 | 56,19 a ± 1,40 | 29,92 a ± 0,87 | 8,80 b ± 0,32 |
| 18         | 80% LE /20% CAC | 55,05 e ± 3,29     | 16,20 e ± 1,03 | 16,35 f ± 0,35 | 30,15 c ± 2,20 | 8,33 g ± 0,72  | 4,64 e ± 0,23 |
| 19         | 60% LE /40% CAC | 51,57 e ± 0,27     | 15,55 e ± 0,70 | 15,75 f ± 0,64 | 27,59 c ± 4,68 | 7,94 g ± 0,52  | 4,91 d ± 0,37 |
| 20         | 40% LE /60% CAC | 37,51 h ± 0,43     | 11,52 f ± 0,15 | 11,57 g ± 2,24 | 22,45 e ± 0,80 | 5,62 h ± 0,07  | 3,39 g ± 0,18 |
| 21         | 20% LE /80% CAC | 19,22 k ± 1,24     | 4,98 i ± 0,11  | 6,63 h ± 0,28  | 11,20 g ± 1,05 | 3,18 i ± 0,15  | 1,88 i ± 0,16 |
| 22         | 80% LE /20% CAN | 43,37 g ± 1,01     | 12,58 f ± 1,12 | 13,53 g ± 0,94 | 28,14 c ± 0,92 | 7,07 h ± 0,43  | 4,57 e ± 0,26 |
| 23         | 60% LE /40% CAN | 36,59 h ± 0,63     | 10,61 g ± 0,26 | 10,65 g ± 0,89 | 21,69 e ± 2,04 | 6,51 h ± 0,07  | 4,07 f ± 0,15 |
| 24         | 40% LE /60% CAN | 15,85 k ± 0,39     | 5,18 i ± 0,02  | 4,34 i ± 0,22  | 6,82 h ± 0,25  | 1,97 j ± 0,08  | 1,45 j ± 0,13 |
| 25         | 20% LE /80% CAN | 5,00 m ± 0,33      | 1,92 j ± 0,02  | 1,42 j ± 0,09  | 1,98 i ± 0,04  | 0,78 k ± 0,02  | 0,49 k ± 0,01 |
| 26         | 100% SC         | 11,66 l ± 0,59     | 3,08 j ± 0,18  | 5,34 i ± 0,50  | 12,68 g ± 0,55 | 2,14 j ± 0,07  | 0,97 k ± 0,13 |
| F          |                 | **                 | **             | **             | **             | **             | **            |
| CV(%)***   |                 | 62,91              | 61,96          | 59,84          | 65,83          | 78,04          | 58,41         |

LE- Lodo de Esgoto; FC- Fibra de Coco; PCN- Palha de Café *in natura*; CO- Composto Orgânico à base de palha de café *in natura* e esterco bovino; CAN- Casca de Arroz *in natura*; SC- Substrato Comercial à base de casca de pinus e vermiculita \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. \*\*Significativo (p<0,05); \*\*\*Coeficiente de variação.

As maior média para o acúmulo de P na parte aérea das mudas ocorreu no tratamento com 60% de CO sendo superior estatisticamente aos demais e seguido pelos tratamentos com 40 e 80% de CO . Possivelmente a utilização de esterco bovino na formulação do composto orgânico foi um dos responsáveis pelo fornecimento de nutrientes e acúmulo dos mesmos na parte aérea das mudas o que também foi verificado por Cunha et al. (2006) que encontraram maiores acúmulos de P em *Acacia mangium* Willd e *Acacia auriculiformis* A.Cunn. ex Benth nas mudas crescidas no substrato com esterco bovino.

A menor média para o acúmulo de P foi encontrada no substrato comercial e a medida que se reduziu as proporções de lodo de esgoto foi observada diminuição do acúmulo de P na parte aérea das mudas. Contrariamente ao encontrado por Trigueiro e Guerrini (2003), em que o acúmulo de P na parte aérea das mudas dos tratamentos com lodo de esgoto foram significativamente inferiores ao do substrato comercial.

Acúmulo de K (Tabela 4) foi semelhantes ao de P em que os tratamentos formulados a partir do composto orgânico com 60 e 80% proporcionaram as maiores médias. Neves et al. (2007) avaliaram o crescimento, a nutrição mineral e o nível crítico foliar de K em mudas de umbuzeiros cultivadas num Latossolo Vermelho distroférico, em função da adubação potássica, verificaram que o acúmulo de K na parte aérea das mudas de umbuzeiro foi influenciado pela adubação potássica. No presente estudo o teor de potássio do substrato não propiciou correlação com seus teores no tecido da planta, no qual os tratamentos com maior massa seca da parte aérea proporcionaram o maior acúmulo para esse nutriente.

O acúmulo de Ca na parte aérea das mudas (Tabela 4), foram maiores nos tratamentos com 60% e 80% de CO sendo superior aos demais estatisticamente. Os teores de Ca do tecido das mudas estão correlacionados com os teores disponíveis desse nutriente no substrato, fato que explica o maior acúmulo desse nutriente na parte aérea das mudas de forma geral em maiores proporções de lodo de esgoto. Augusto et al. (2007), utilizando sistema de fertirrigação semanal em comparação com água residuária, ambos usando irrigação de subsuperfície em mudas de *Eucalyptus grandis* encontraram



valores de acúmulos de nutrientes inferiores ao do presente estudo em ambos os sistemas de fertirrigação.

O acúmulo de Mg (Tabela 4) na parte aérea das mudas de *A. sellowiana* teve grande entre as médias dos substratos formulados. Semelhantemente ao Ca os teores disponíveis de Mg correlacionaram os teores do mesmo no tecido da parte aérea das mudas. O tratamento com 80% de CO proporcionou a maior média juntamente com o substrato comercial para os teores de Mg disponível no substrato e para o acúmulo de Mg na parte aérea com 29.92 g kg<sup>-1</sup>.

De forma semelhante ao acúmulo de P, K, Ca e Mg os teores de S foram estatisticamente superiores aos demais nos tratamentos formulados por composto orgânico em que o 60% de CO proporcionou a maior média com 9,46 g kg<sup>-1</sup> desse nutriente na parte aérea das mudas. O substrato comercial proporcionou uma das menores médias de acúmulo, devido as baixas médias de massa seca proporcionada por esse tratamento. O que também foi verificado por Trazzi (2011) que observou que acúmulo de todos os nutrientes analisados foram superiores nos tratamentos com lodo de esgoto, devido à maior produção de massa seca, bem como a alta disponibilidade de nutrientes observada nesses substratos e por Rocha (2013) que verificaram maior média para o S e demais macronutrientes no substrato com 100% lodo de esgoto.

No presente estudo pode-se constatar a ordem decrescente de acúmulo da parte aérea dos macronutrientes N>Ca>K>P>Mg>S. Já Wallau, Soares e Camargos (2008) encontraram os acúmulos de N>Ca>K>S>Mg>P para mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King).

#### 4. CONCLUSÕES

Os substratos formulados com fibra de coco proporcionaram maiores médias de N, P, K e S nos tecidos vegetais da parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana*.

Os maiores acúmulos de nutrientes da parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana* foram obtidos no tratamento com 40% de lodo de esgoto associado com 60% de composto orgânico.

O lodo de esgoto foi responsável pelos acúmulos de P, Ca, Mg e S nas mudas crescidas em tratamentos com fibra de coco, vermiculita, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura*.

A utilização de palha de café *in natura* proporcionou aumento nos acúmulos de P, K, Ca e Mg na parte aérea das mudas de *Aegiphila sellowiana*.

Os nutrientes acumularam em maior quantidade na seguinte ordem N>Ca>K>P>Mg>S.

O Ca e Mg disponível dos substratos correlacionou-se positivamente com os seus respectivos teores nos tecidos da parte aérea das mudas de *A. sellowiana*.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. G.; KIHIL, T. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, p. 90-98, 2009.

BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. Assis, M. M. de; PEREIRA, R. de C.; MENDONÇA, Reis, A. V. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n.5, p. 671-679, 2005.

CAMARGO, R.; MALDONADO, A. C. D.; SILVA, P. A.; SOUZA, M. F.; FRANCA, M. S. . Diagnose foliar em mudas de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) produzidas com biossólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 283-290, 2013.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. **Embrapa Meio Ambiente**, Jaguariúna, 2004. (Comunicado Técnico, 24)

BOEIRA, R. C. Uso do lodo de esgoto como fertilizante orgânico: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. **Embrapa Meio Ambiente**, Jaguariúna, 3p. 2004. (Comunicado Técnico, 12)

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G. I ; COSTA, E. A. D. da ; BERTON, R. S.; SPIERING, S. H.; VEGA, F. V. A.; CEMBRANELLI, M. A. R.; MALDONADO, C. A. B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 153-166, 2007.

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

CHAVES, R, de Q.; CORREA, G. F. Micronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 769-778, 2003.

COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; SCHWENGBER, J. A. M. Aspectos sobre nutrição e adubação do eucalipto - Fundamentos para pesquisas em Roraima. **Embrapa Roraima**, Boa Vista, 36p. 2007 (Série Documentos).

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS; ALVAREZ; BARROS; FONTES; CANTARUTTI e NEVES (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. p 92-132. 2007.

DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; LIMA, L. C. S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L. aos 22 anos: estado nutricional das plantas. **Floresta**, Curitiba, v. 38, p. 351-359, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212 p. 1997.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p. 40-75, 2004.

GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da mata atlântica**. Documentos Florestais, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L. ; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenathera macrocarpa* (Beth.) Brenan.) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 1029-1040, 2008.

GONCALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Nutrição de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. sob diferentes doses de N, P, K, Ca e Mg. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 23, p. 273-286, 2013.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação nos teores de nutrientes em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 63, p. 13-23, 2003.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V.; V. H. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.22, p.33-47, 2006.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1969-1975, 2008.

LEITE, F. P.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. ; NEVES, J. C. L.; VILLANI, E. M. A. Nutrient relations during an *Eucalyptus* cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 949-959, 2011.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. da. Nutrição mineral de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e substratos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 835-843, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 254p. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafos, 201 p.1989.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Potafos, 308 p.1997.

MARQUES, T. C. L. L. S. M. ; CARVALHO, J. G. de ; LACERDA, M. P. C.; MOTA, P. E. F. da. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v. 10, n.2, p. 31-47, 2004.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; FERREIRA, E. V. de O.; PEREIRA, N. V.; NEVES, V. B. F. Efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de umbuzeiro. **Agrária**, Recife v. 2, p. 200-207, 2007.

OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MELO, P. C. Resposta do pinhão-mansão à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.593–598, 2012.

R Core Team (2012). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012 Disponível em:<http://www.R-project.org/> Acesso em 05 jan. 2013

REIS, B. E.; PAIVA, H. N.; BARROS, T. C.; FERREIRA, A. L.; CARDOSO, W. C. Crescimento e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.) em resposta à adubação com potássio e enxofre. **Ciência Florestal**, Curitiba, v. 22, p. 385-392, 2012.

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

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, p. 27-35, 2013.

RUAN, J.; WU, X.; HARDTER, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of diffents types of tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 79, p. 47-52, 1999.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. de L. S. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SAMPAIO, L. R. Crescimento e teor de macronutrientes em mudas de mamoneira cultivadas em cinco substratos orgânicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, p. 120-125, 2008.

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

TRAZZI, P. A. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Tectona grandis* Linn.** f.84. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo. 2011.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; MARCOLAN, A. L. MENDES, A. M. Efeito de fósforo e potássio no crescimento de teca (*Tectona grandis* L.) em solo de baixa fertilidade no Estado de Rondônia. **Embrapa Rondônia**, Porto Velho, 3p. 2011.

WALLAU, R. L. R.; SOARES, A. P.; CAMARGOS, S. L. . Concentração e acúmulo de macronutrientes em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Cáceres, v. 6, p. 1-12, 2008.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos de origem vegetal possuem características individuais distintas, que auxiliam e são capazes de promover melhorias nas propriedades físicas e químicas dos substratos. No entanto, é ideal que sejam utilizados em associação, para melhorar algumas características físicas e químicas, como densidade global, macroporosidade, microporosidade, teor totais de sais solúveis, potássio disponível e pH.

A utilização de alguns componentes na formulação dos substratos como fibra de coco, vermiculita, casca de arroz carbonizada e casca de arroz *in natura* proporcionaram resultados abaixo do desejado, devido o menor crescimento morfométrico das mudas de *Aegiphila sellowiana*.

A utilização de lodo de esgoto associado aos resíduos orgânicos proporcionaram diferenças importantes no crescimento das mudas em relação ao substrato comercial. De maneira geral, as maiores médias para as características morfológicas das mudas foram obtidas nos substratos com maiores proporções de lodo de esgoto, sendo uma alternativa viável para a produção de mudas, economia de fertilizantes, além do benefício ambiental.

O substrato comercial não mostrou-se eficiente na produção de mudas de *A. sellowiana*, visto que as médias das características morfológicas foram aquém dos substratos com lodo de esgoto. Nesse sentido, o potencial de utilização de resíduos deve ser levado em consideração no desenvolvimento de um substrato, o que pode resultar em melhores resultados de crescimento das mudas além de economia por parte do produtor.

A não correlação entre as características morfológicas e os nutrientes sugere que os resultados de crescimento das mudas podem estar relacionados com a associação entre as características físicas e químicas ideais dos substratos.