



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa
Brasil

Kratz, Dagma; Wendling, Ivar; Nogueira, Antonio Carlos; de Souza, Paulo Vitor
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SUBSTRATOS RENOVÁVEIS
Revista Árvore, vol. 37, núm. 6, noviembre-diciembre, 2013, pp. 1103-1113
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48829909012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SUBSTRATOS RENOVÁVEIS¹

Dagma Kratz², Ivar Wendling³, Antonio Carlos Nogueira⁴ e Paulo Vitor de Souza⁵

RESUMO – A necessidade premente de aumento no número de mudas plantadas anualmente, bem como a crescente diminuição na disponibilidade de matérias-primas tradicionais para composição de substratos, tem levado à necessidade do desenvolvimento de estudos que visam à avaliação e disponibilização de novos materiais para sua composição técnica e economicamente eficientes. Em vista disso, este estudo objetivou analisar as propriedades físicas e químicas de substratos formulados com base em materiais renováveis e de grande disponibilidade (fibra de coco, casca de arroz carbonizada em diferentes granulometrias, biossólido e casca de pinus semidecomposta), bem como suas intercorrelações. Para tanto, foram formulados 41 substratos, os quais tiveram suas propriedades físicas e químicas avaliadas. Com base nos resultados, pôde-se concluir que, pelas suas propriedades físicas e químicas, uma série de materiais renováveis e, ou, resíduos agroindustriais e humanos se adéquam para serem utilizados como componentes na formulação de substratos para produção de mudas florestais, embora os conteúdos de alguns nutrientes em determinados substratos devam ser ajustados via adubação de base. Em vista do fato de as propriedades físicas serem mais decisivas na escolha de determinada formulação de substrato, entre os componentes e misturas avaliadas se pode concluir que os substratos formulados à base de fibra de coco e casca de arroz carbonizada se mostraram mais adequados.

Palavras-chave: Biossólido; Casca de arroz carbonizada; Fibra de coco.

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF RENEWABLE SUBSTRATES

ABSTRACT – The pressing need to increase the number of seedlings planted annually, as well as the increasing reduction in the availability of traditional raw materials for the composition of substrates have led to a need to develop studies aimed at evaluating and providing new materials for its composition, technical and economically efficient. In this view, the present study aimed to analyze the physical and chemical properties of substrates formulated based on renewable materials and high-availability (coconut fiber, rice hulls at different grain sizes, sludge and pine bark semidecomposta). For this, we formulated 41 substrates, which had their physical and chemical properties evaluated. Based on these results, we concluded that, by its physical and chemical properties, a number of renewable materials and agro-industrial and human waste, or is suitable for use as components in the preparation of substrates for production of forest seedlings, although content of some nutrients in certain substrates should be adjusted via basic fertilization. In view of the physical properties are more decisive in the choice of a particular formulation of substrate, because of its greater difficulty in relation to chemical changes after being in production vessels, among the evaluated components and mixtures can be concluded that the substrates formulated based coconut fiber and rice hulls have been more appropriate.

Keywords: Sewage sludge; Rice hulls; Coconut fiber.

¹ Recebido em 28.09.2011 aceito para publicação em 15.10.2013.

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, UFPR. E-mail: <dagkratz@yahoo.com.br>.

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, EMBRAPA. E-mail: <ivar@cnpf.embrapa.br>.

⁴ Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. E-mail: <nogueira@ufpr.br>.

⁵ Departamento de Horticultura e Silvicultura, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: <pvdsouza@ufrgs.br>.

1. INTRODUÇÃO

A principal função do substrato é sustentar a muda e fornecer condições adequadas para o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicial, assim como os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta. Esse substrato deve ser isento de sementes de plantas invasoras, pragas e fungos patogênicos, evitando-se, assim, a necessidade de sua desinfestação (GONÇALVES et al., 2000; HARTMANN et al., 2011).

As propriedades dos substratos são variáveis em função de sua origem, método de produção ou obtenção, proporções de seus componentes, entre outras características. Caso haja possibilidade, todo substrato utilizado no viveiro deverá ter suas propriedades analisadas, o que embasa melhor a formulação de misturas e adubações.

As propriedades químicas de um substrato são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes minerais presentes, os quais influenciam no desenvolvimento das mudas (CARNEIRO, 1995). Tendo em vista que a nutrição das plantas é facilmente manejada pelo viveirista mediante o uso de adubações, a quantificação do teor de nutrientes nos substratos só é realizada em casos especiais, quando houver interesse ou necessidade de quantificar os elementos presentes (KÄMPF, 2005). 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 modificadas através da irrigação e fertirrigação (MILNER, 2002).

O tipo de material e a proporção de cada um na composição do substrato variam de acordo com a disponibilidade local, custo e tipo de muda a ser produzida (GONÇALVES; POGGIANI, 1996). E ainda se deve lembrar de que a formulação deverá ser testada nas condições de cada local de produção e devidamente ajustada, caso haja necessidade.

A demanda por substratos está crescendo cada vez mais, visto a sua utilização em diversas áreas agrícolas, como na olericultura e florestal. Além do que, existe uma concorrência no mercado pelos materiais utilizados para a formulação destes, a exemplo da casca de pinus empregada na geração de energia e a casca de arroz utilizada para esse mesmo fim e na formação da cama de aviário e na cobertura de canteiros de cultivos.

A disponibilidade dos produtos é outro fator a ser levado em consideração, visto que ele deve ser abundante para conseguir atender à demanda de mercado. A maioria dos produtos utilizados no mercado atualmente apresenta grande oferta em locais específicos no país, aumentando, dessa forma, o seu custo quando transportados para regiões mais distantes. Dessa forma, estudos são necessários, visando ao fornecimento de novos produtos a serem utilizados como substratos, a fim de se apresentarem novas alternativas de formulação, como o uso de resíduos agroindustriais, industriais florestais e urbanos para a produção de mudas, pois grandes volumes desses produtos são gerados, representando um problema ambiental caso não sofram destinação final adequada.

Assim, objetivou-se neste estudo analisar as propriedades físicas e químicas de substratos formulados com base em materiais renováveis e de grande disponibilidade.

2. MATERIALE MÉTODOS

Formulação dos substratos

Foram analisadas, além de um substrato comercial à base de casca de pinus semidecomposta (SC), misturas de diferentes componentes (biossólido (BIO), vermiculita média (VM), fibra de coco granulada (FC), granulometrias de casca de arroz carbonizada (CAC)), para a formulação dos substratos, compondo-se 41 tratamentos: 100 SC, 100 CAC, 100 CAC (0,5 - 1), 100 CAC (0,25-0,5), 50 CAC + 50 VM, 10 FC + 90 CAC (0,5 -1), 25 FC + 75 CAC (0,5-1), 10 FC + 90 CAC (0,25- 0,5), 25 FC + 75 CAC (0,25-0,5), 80 FC + 20 CAC, 70 FC + 30 CAC, 60 FC + 40 CAC, 50 FC + 50 CAC, 40 FC + 60 CAC, 30 FC + 70 CAC, 20 FC + 80 CAC, 50 BIO + 50 CAC, 40 BIO + 60 CAC, 30 BIO + 70 CAC, 20 BIO + 80 CAC, 10 BIO + 90 CAC, 50 BIO + 50 FC, 50 BIO + 40 FC + 10 CAC, 50 BIO + 30 FC + 20 CAC, 50 BIO + 20 FC + 30 CAC, 40 BIO + 50 FC + 10 CAC, 40 BIO + 40 FC + 20 CAC, 40 BIO + 30 FC + 30 CAC, 40 BIO + 20 FC + 40 CAC, 30 BIO + 50 FC + 20 CAC, 30 BIO + 40 FC + 30 CAC, 30 BIO + 30 FC + 40 CAC, 30 BIO + 20 FC + 50 CAC, 20 BIO + 50 FC + 30 CAC, 20 BIO + 40 FC + 40 CAC, 20 BIO + 30 FC + 50 CAC, 20 BIO + 20 FC + 60 CAC, 10 BIO + 50 FC + 40 CAC, 10 BIO + 40 FC + 50 CAC, 10 BIO + 30 FC + 60 CAC e 10 BIO + 20 FC + 70 CAC, em que os componentes apresentavam as características descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Análises física e química dos componentes utilizados para formulação de substratos. Densidade aparente (Da), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), água facilmente disponível (AFD), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e teor total de sais solúveis (TTSS).

Table 1 – Physical and chemical analysis of the components used to formulate substrates. Apparent density (Da), total porosity (Pt), macroporosity (Macro), microporosity (Micro), easily available water (AFD), hydrogenic potential (pH), electrical conductivity (CE), total content of soluble salts (TTSS).

| Componentes | Da | P t | Macro | Micro | AFD | pH | CE | TTSS |
|-----------------|--------------------|------|--------------------|-------|------|------|---------------------|-------------------|
| | kg m ⁻³ | % | (H ₂ O) | | | | mS cm ⁻¹ | g L ⁻¹ |
| CAC | 101,0 | 72,0 | 57,0 | 15,0 | 6,0 | 8,07 | 0,08 | 0,08 |
| CAC (0,5 - 1) | 200,0 | 85,0 | 21,0 | 64,0 | 45,0 | 8,11 | 0,23 | 0,38 |
| CAC (0,25-0,5) | 239,0 | 80,0 | 11,0 | 69,0 | 45,0 | 8,05 | 0,30 | 0,59 |
| BIO | 654,0 | 81,0 | 20,0 | 59,0 | 16,0 | 8,65 | 3,70 | 11,85 |
| FC ¹ | 61,0 | 95,9 | 45,3 | - | 18,6 | 5,73 | 3,00 | - |

CAC – Casca de arroz carbonizada; CAC (0,5 - 1) – Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,5 e 1 mm; CAC 0,25 - 0,5 mm - Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,25 - 0,5 mm; BIO – bio sólido; FC – Fibra de coco; e VM – Vermiculita média (granulometria ao redor de 2,1 a 4 mm).

¹ NOGUERA et al., 2000.

O bio sólido foi adquirido na Estação de Tratamento de Esgoto Atuba Sul da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada em Curitiba, a qual trata o esgoto pelo sistema anaeróbico. O bio sólido, depois de exposto ao ar livre por 24 h, passou por uma peneira de aço com malha de 10 mm para homogeneização das partículas.

A vermiculita média (granulometria ao redor de 2,1 a 4 mm), fibra de coco (granulometria em torno de 0,25 a 2 mm) e substrato comercial foram adquiridos em lojas de produtos agrícolas. A casca de arroz carbonizada foi adquirida *in natura*, em um moinho de beneficiamento de arroz, e passou pelo processo de carbonização, o qual consiste na combustão incompleta da casca de arroz sob alta temperatura e condições de baixa concentração de oxigênio, utilizando para tanto um carbonizador. Para obtenção das diferentes granulometrias de casca de arroz carbonizada, foram utilizadas três peneiras com malhas entre 1 e 2 mm, de 0,5 a 1 mm e de 0,25 a 0,5 mm.

Análise de substratos

A caracterização física e química dos substratos foi baseada na Instrução Normativa nº 17, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007), a partir da qual se determinaram a densidade aparente, porosidade total, macroporosidade, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica. A microporosidade, água facilmente disponível e teor total de sais solúveis, baseou-se na metodologia adotada por Fermino (2003).

A determinação dos macronutrientes fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre disponível nos substratos foi baseada na metodologia descrita por Nogueira e Souza (2005). Para o nitrogênio disponível, adaptou-se a metodologia descrita por Mulvaney (1996), em que as determinações do nitrogênio na forma amoniacal no substrato foram feitas utilizando KCl 2M como extrator. As extrações foram feitas adicionando-se substrato e extrator na proporção de 1:10. Após esse procedimento, a alíquota contendo substrato mais KCl 2M foi agitada por 30 min, em centrífuga a 200 rpm. Após a centrifugação, as amostras permaneceram em repouso até o dia seguinte, o que possibilita melhor decantação, sendo, então, separadas as alíquotas para análise, sem filtragem do material.

Para quantificação da matéria orgânica presente no substrato, utilizou-se o método gravimétrico, o qual consiste na queima do material em mufla a 500 °C, por 5 h.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, observou-se que a adição do bio sólido à casca de arroz carbonizada e fibra de coco aos substratos aumentou a densidade aparente, a microporosidade, a água facilmente disponível, a condutividade elétrica e o teor total de sais solúveis, enquanto diminuiu a porosidade total e a macroporosidade (Tabela 2). No entanto, a adição de fibra de coco à casca de arroz carbonizada diminuiu a densidade aparente, a porosidade total e a macroporosidade, aumentando

Tabela 2 – Resultados da análise física. Densidade aparente (Da), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e água facilmente disponível (AFD).

Table 2 – Physical analysis results. Apparent density (Da), total porosity (Pt), macroporosity (Macro), microporosity (Micro) and easily available water (AFD).

| Tratamentos | Da | P t | Macro | Micro | AFD |
|----------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | (kg m ³) | | | % | |
| SC | 398 ± 5,72 | 79 ± 0,58 | 19 ± 0,58 | 60 ± 0,58 | 24 ± 0,58 |
| 50 CAC + 50 VM | 183 ± 1,69 | 72 ± 1,00 | 37 ± 1,53 | 35 ± 0,58 | 9 ± 0,58 |
| 10 FC + 90 CAC (0,5 -1) | 180 ± 2,04 | 85 ± 0,58 | 23 ± 3,06 | 62 ± 3,00 | 42 ± 3,00 |
| 25 FC + 75 CAC (0,5-1) | 174 ± 0,57 | 85 ± 0,58 | 24 ± 0,58 | 61 ± 1,00 | 41 ± 1,00 |
| 10 FC + 90 CAC (0,25- 0,5) | 237 ± 4,04 | 83 ± 0,00 | 10 ± 0,58 | 68 ± 0,58 | 42 ± 0,00 |
| 25 FC + 75 CAC (0,25-0,5) | 204 ± 3,24 | 83 ± 0,00 | 11 ± 0,58 | 72 ± 0,58 | 45 ± 0,58 |
| 80 FC + 20 CAC | 89 ± 1,73 | 85 ± 1,15 | 36 ± 2,00 | 49 ± 1,15 | 20 ± 0,58 |
| 70 FC + 30 CAC | 86 ± 0,19 | 84 ± 0,58 | 38 ± 0,58 | 46 ± 1,00 | 18 ± 0,00 |
| 60 FC + 40 CAC | 89 ± 1,22 | 86 ± 1,15 | 45 ± 2,00 | 41 ± 1,15 | 17 ± 0,58 |
| 50 FC + 50 CAC | 96 ± 0,39 | 88 ± 3,79 | 57 ± 3,79 | 33 ± 0,00 | 13 ± 0,58 |
| 40 FC + 60 CAC | 93 ± 1,49 | 90 ± 1,00 | 55 ± 1,53 | 35 ± 0,58 | 14 ± 0,58 |
| 30 FC + 70 CAC | 96 ± 0,32 | 90 ± 0,58 | 54 ± 1,00 | 36 ± 0,58 | 15 ± 0,00 |
| 20 FC + 80 CAC | 101 ± 0,91 | 89 ± 1,53 | 62 ± 2,08 | 27 ± 0,58 | 12 ± 0,58 |
| 50 BIO + 50 CAC | 389 ± 7,37 | 82 ± 2,08 | 36 ± 4,36 | 46 ± 2,52 | 15 ± 2,00 |
| 40 BIO + 60 CAC | 362 ± 11,93 | 84 ± 1,00 | 40 ± 2,89 | 44 ± 2,08 | 16 ± 1,73 |
| 30 BIO + 70 CAC | 289 ± 7,29 | 82 ± 1,00 | 50 ± 1,00 | 32 ± 1,73 | 10 ± 0,00 |
| 20 BIO + 80 CAC | 229 ± 2,73 | 86 ± 1,53 | 56 ± 1,73 | 30 ± 0,58 | 12 ± 0,58 |
| 10 BIO + 90 CAC | 184 ± 7,13 | 90 ± 0,58 | 65 ± 0,58 | 25 ± 0,00 | 10 ± 0,58 |
| 50 BIO + 50 FC | 338 ± 6,35 | 79 ± 0,58 | 15 ± 0,58 | 64 ± 1,00 | 23 ± 0,58 |
| 50 BIO + 40 FC + 10 CAC | 359 ± 6,43 | 79 ± 1,15 | 20 ± 1,53 | 59 ± 1,73 | 21 ± 1,53 |
| 50 BIO + 30 FC + 20 CAC | 375 ± 4,00 | 81 ± 0,58 | 23 ± 0,58 | 58 ± 0,58 | 20 ± 0,58 |
| 50 BIO + 20 FC + 30 CAC | 381 ± 6,43 | 78 ± 0,58 | 24 ± 1,00 | 54 ± 1,15 | 19 ± 1,15 |
| 40 BIO + 50 FC + 10 CAC | 298 ± 2,44 | 84 ± 0,58 | 21 ± 0,58 | 63 ± 1,15 | 23 ± 0,58 |
| 40 BIO + 40 FC + 20 CAC | 319 ± 2,88 | 85 ± 0,58 | 26 ± 4,04 | 59 ± 1,73 | 21 ± 1,73 |
| 40 BIO + 30 FC + 30 CAC | 319 ± 1,29 | 84 ± 0,00 | 30 ± 2,08 | 54 ± 2,65 | 19 ± 2,65 |
| 40 BIO + 20 FC + 40 CAC | 330 ± 0,30 | 84 ± 0,00 | 33 ± 1,00 | 51 ± 1,00 | 18 ± 1,00 |
| 30 BIO + 50 FC + 20 CAC | 238 ± 2,31 | 82 ± 0,58 | 26 ± 1,53 | 56 ± 1,53 | 21 ± 1,73 |
| 30 BIO + 40 FC + 30 CAC | 267 ± 3,90 | 84 ± 2,00 | 29 ± 1,15 | 55 ± 1,15 | 19 ± 1,00 |
| 30 BIO + 30 FC + 40 CAC | 270 ± 1,09 | 86 ± 0,00 | 39 ± 0,58 | 47 ± 0,58 | 17 ± 0,00 |
| 30 BIO + 20 FC + 50 CAC | 276 ± 3,16 | 86 ± 1,73 | 41 ± 1,53 | 45 ± 0,58 | 16 ± 0,00 |
| 20 BIO + 50 FC + 30 CAC | 218 ± 3,59 | 87 ± 1,00 | 36 ± 0,58 | 51 ± 1,53 | 19 ± 1,00 |
| 20 BIO + 40 FC + 40 CAC | 229 ± 6,22 | 87 ± 1,53 | 38 ± 1,53 | 49 ± 0,58 | 18 ± 0,00 |
| 20 BIO + 30 FC + 50 CAC | 213 ± 1,24 | 89 ± 2,31 | 45 ± 0,58 | 44 ± 2,08 | 17 ± 1,00 |
| 20 BIO + 20 FC + 60 CAC | 234 ± 4,89 | 89 ± 1,00 | 49 ± 1,00 | 40 ± 0,00 | 14 ± 0,00 |
| 10 BIO + 50 FC + 40 CAC | 163 ± 1,37 | 89 ± 1,15 | 44 ± 1,00 | 45 ± 1,53 | 17 ± 1,15 |
| 10 BIO + 40 FC + 50 CAC | 159 ± 3,40 | 91 ± 0,58 | 48 ± 0,58 | 43 ± 0,58 | 16 ± 0,00 |
| 10 BIO + 30 FC + 60 CAC | 170 ± 3,94 | 90 ± 2,08 | 51 ± 1,15 | 39 ± 1,00 | 15 ± 0,58 |
| 10 BIO + 20 FC + 70 CAC | 179 ± 5,48 | 89 ± 2,31 | 52 ± 2,31 | 37 ± 0,00 | 15 ± 0,58 |

SC - Substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita; BIO - Biossólido; VM - Vermiculita média; FC - Fibra de coco; e CAC - Casca de arroz carbonizada.

a microporosidade, a água facilmente disponível, a condutividade elétrica e o teor total de sais solúveis (Tabelas 2 e 3). Em adição à fibra de coco, a menor granulometria de casca de arroz carbonizada (0,25 -

0,5 mm) proporcionou aumento na densidade aparente, na microporosidade, na água facilmente disponível e no teor total de sais solúveis, enquanto diminuiu a porosidade total e a macroporosidade (Tabela 2).

Tabela 3 – Resultados da análise química: matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), teor total de sais solúveis (TTSS), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), nitrogênio disponível (N disp) e enxofre (S).

Table 3 – Chemical analysis results: organic matter (MO), Hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC), total content of soluble salts (TTSS), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P), nitrogen available (N) and sulfur (S).

| Tratamentos | MO | pH | CE | TTSS | K | Ca | Mg | P | N disp | S |
|----------------------------|-------|------------------|---------------------|-------------------|------|-----------------------|-------|--------|---------------------|---------|
| | % | H ₂ O | mS cm ⁻¹ | g L ⁻¹ | | cmol dm ⁻³ | | | mg dm ⁻³ | |
| SC | 48,55 | 5,47 ± 0,09 | 1,53 ± 0,06 | 5,86 ± 0,18 | 1,36 | 14,46 | 6,45 | 577,75 | 23,39 | 1705,59 |
| 50 CAC + 50 VM | 7,05 | 7,92 ± 0,10 | 0,06 ± 0,00 | 0,09 ± 0,01 | 1,07 | 1,89 | 3,21 | 66,85 | 19,71 | 3,58 |
| 10 FC + 90 CAC (0,5 -1) | 26,25 | 7,75 ± 0,08 | 0,38 ± 0,00 | 0,54 ± 0,01 | 3,64 | 1,01 | 0,55 | 146,00 | 20,45 | 25,39 |
| 25 FC + 75 CAC (0,5-1) | 25,42 | 7,47 ± 0,00 | 0,49 ± 0,01 | 0,65 ± 0,01 | 3,55 | 1,69 | 0,70 | 174,00 | 23,39 | 43,32 |
| 10 FC + 90 CAC (0,25- 0,5) | 27,26 | 7,77 ± 0,04 | 0,41 ± 0,00 | 0,70 ± 0,01 | 4,00 | 1,44 | 0,76 | 147,25 | 20,69 | 24,59 |
| 25 FC + 75 CAC (0,25-0,5) | 26,22 | 7,33 ± 0,02 | 0,62 ± 0,01 | 1,00 ± 0,03 | 4,36 | 2,14 | 0,71 | 212,75 | 31,97 | 28,23 |
| 80 FC + 20 CAC | 15,25 | 6,23 ± 0,08 | 1,09 ± 0,02 | 1,12 ± 0,05 | 3,55 | 2,94 | 0,79 | 312,75 | 106,01 | 62,42 |
| 70 FC + 30 CAC | 15,68 | 6,39 ± 0,02 | 0,96 ± 0,04 | 1,21 ± 0,05 | 3,11 | 3,44 | 0,86 | 267,75 | 97,92 | 55,64 |
| 60 FC + 40 CAC | 18,39 | 6,70 ± 0,03 | 0,73 ± 0,03 | 0,90 ± 0,03 | 2,18 | 2,85 | 0,60 | 206,05 | 70,71 | 45,17 |
| 50 FC + 50 CAC | 19,83 | 7,12 ± 0,08 | 0,54 ± 0,03 | 0,63 ± 0,04 | 2,69 | 2,61 | 0,56 | 193,50 | 62,37 | 52,56 |
| 40 FC + 60 CAC | 20,59 | 7,00 ± 0,06 | 0,62 ± 0,00 | 0,76 ± 0,01 | 2,23 | 1,69 | 0,45 | 209,90 | 29,27 | 48,56 |
| 30 FC + 70 CAC | 21,63 | 7,06 ± 0,02 | 0,62 ± 0,01 | 0,74 ± 0,02 | 1,95 | 1,16 | 0,34 | 190,45 | 24,12 | 69,20 |
| 20 FC + 80 CAC | 21,89 | 7,59 ± 0,02 | 0,36 ± 0,01 | 0,41 ± 0,01 | 1,30 | 1,11 | 0,44 | 83,50 | 21,18 | 73,51 |
| 50 BIO + 50 CAC | 62,81 | 8,75 ± 0,12 | 2,74 ± 0,02 | 8,78 ± 0,15 | 0,55 | 2,80 | 14,34 | 18,65 | 31,48 | 926,21 |
| 40 BIO + 60 CAC | 61,80 | 8,88 ± 0,06 | 2,34 ± 0,20 | 6,90 ± 0,47 | 0,65 | 3,01 | 15,94 | 13,75 | 30,25 | 904,65 |
| 30 BIO + 70 CAC | 54,08 | 8,79 ± 0,25 | 1,67 ± 0,01 | 4,34 ± 0,10 | 0,74 | 2,90 | 11,55 | 10,70 | 27,80 | 841,50 |
| 20 BIO + 80 CAC | 51,70 | 9,06 ± 0,04 | 1,25 ± 0,01 | 2,67 ± 0,06 | 0,97 | 2,31 | 8,14 | 27,55 | 26,82 | 285,76 |
| 10 BIO + 90 CAC | 43,18 | 9,13 ± 0,01 | 0,85 ± 0,03 | 1,48 ± 0,04 | 0,90 | 1,44 | 3,08 | 27,80 | 26,82 | 96,00 |
| 50 BIO + 50 FC | 62,38 | 8,81 ± 0,13 | 2,66 ± 0,05 | 8,58 ± 0,25 | 1,75 | 3,49 | 18,41 | 26,30 | 59,67 | 1274,32 |
| 50 BIO + 40 FC + 10 CAC | 65,88 | 8,96 ± 0,02 | 2,72 ± 0,08 | 9,24 ± 0,13 | 1,58 | 3,33 | 17,30 | 25,20 | 53,30 | 1349,79 |
| 50 BIO + 30 FC + 20 CAC | 64,73 | 8,91 ± 0,05 | 2,66 ± 0,14 | 8,90 ± 0,50 | 1,32 | 3,48 | 17,70 | 16,40 | 52,32 | 1143,39 |
| 50 BIO + 20 FC + 30 CAC | 64,91 | 8,89 ± 0,01 | 2,61 ± 0,08 | 9,09 ± 0,48 | 1,03 | 3,18 | 16,16 | 15,00 | 57,22 | 1015,55 |
| 40 BIO + 50 FC + 10 CAC | 62,02 | 8,67 ± 0,36 | 2,34 ± 0,13 | 6,98 ± 0,35 | 1,55 | 3,21 | 17,54 | 21,55 | 40,06 | 910,81 |
| 40 BIO + 40 FC + 20 CAC | 60,44 | 8,34 ± 0,02 | 2,12 ± 0,16 | 6,48 ± 0,57 | 1,25 | 3,33 | 16,50 | 39,75 | 57,96 | 963,18 |
| 40 BIO + 30 FC + 30 CAC | 58,82 | 8,31 ± 0,07 | 2,35 ± 0,19 | 7,13 ± 0,57 | 1,20 | 2,84 | 13,99 | 28,65 | 49,13 | 909,27 |
| 40 BIO + 20 FC + 40 CAC | 60,28 | 8,35 ± 0,03 | 2,26 ± 0,14 | 6,85 ± 0,39 | 1,21 | 2,91 | 14,49 | 14,40 | 46,68 | 804,53 |
| 30 BIO + 50 FC + 20 CAC | 55,99 | 8,21 ± 0,02 | 1,99 ± 0,04 | 4,91 ± 0,16 | 2,00 | 3,19 | 11,96 | 34,95 | 43,74 | 733,68 |
| 30 BIO + 40 FC + 30 CAC | 56,61 | 8,19 ± 0,05 | 1,92 ± 0,07 | 5,11 ± 0,17 | 1,95 | 3,09 | 11,58 | 35,55 | 39,81 | 764,48 |
| 30 BIO + 30 FC + 40 CAC | 58,63 | 8,89 ± 0,08 | 2,03 ± 0,01 | 5,30 ± 0,05 | 1,43 | 2,88 | 11,45 | 35,75 | 47,66 | 727,52 |
| 30 BIO + 20 FC + 50 CAC | 57,94 | 9,01 ± 0,01 | 1,98 ± 0,05 | 5,26 ± 0,09 | 1,17 | 2,58 | 10,53 | 22,35 | 40,80 | 519,58 |
| 20 BIO + 50 FC + 30 CAC | 49,57 | 8,81 ± 0,02 | 1,93 ± 0,04 | 4,58 ± 0,03 | 2,01 | 3,34 | 9,89 | 147,75 | 41,78 | 454,89 |
| 20 BIO + 40 FC + 40 CAC | 51,04 | 8,90 ± 0,03 | 1,85 ± 0,03 | 4,38 ± 0,14 | 1,70 | 2,86 | 11,33 | 125,20 | 41,29 | 360,93 |
| 20 BIO + 30 FC + 50 CAC | 51,29 | 9,01 ± 0,07 | 1,65 ± 0,05 | 3,66 ± 0,08 | 1,73 | 2,68 | 8,46 | 84,70 | 44,23 | 575,03 |
| 20 BIO + 20 FC + 60 CAC | 48,62 | 9,04 ± 0,04 | 1,70 ± 0,00 | 4,02 ± 0,09 | 1,16 | 2,48 | 7,59 | 135,20 | 40,80 | 396,35 |
| 10 BIO + 50 FC + 40 CAC | 50,12 | 7,76 ± 0,16 | 1,34 ± 0,06 | 2,45 ± 0,12 | 2,18 | 2,78 | 6,25 | 157,00 | 44,72 | 216,14 |
| 10 BIO + 40 FC + 50 CAC | 44,79 | 8,12 ± 0,07 | 1,24 ± 0,01 | 2,21 ± 0,03 | 2,13 | 2,69 | 7,36 | 211,40 | 34,67 | 214,60 |
| 10 BIO + 30 FC + 60 CAC | 48,90 | 8,32 ± 0,06 | 1,23 ± 0,02 | 2,28 ± 0,06 | 1,68 | 2,60 | 6,93 | 153,70 | 33,69 | 272,82 |
| 10 BIO + 20 FC + 70 CAC | 45,76 | 8,51 ± 0,06 | 1,12 ± 0,04 | 2,10 ± 0,10 | 1,41 | 1,98 | 7,38 | 166,65 | 61,14 | 189,34 |

SC - Substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita; BIO - Biossólido; VM - Vermiculita média; FC - Fibra de coco; e CAC - Casca de arroz carbonizada.

Avaliando a correlação entre propriedades (Tabela 4), observou-se que a densidade aparente do substrato é característica inversamente relacionada à porosidade total ($R = -0,58^{**}$) e macroporosidade ($R = -0,55^{**}$),

enquanto a microporosidade apresenta correlação positiva ($R = 0,46^{**}$), confirmando a ideia de que substratos densos apresentam maior microporosidade em relação à macroporosidade.

Tabela 4 – Correlações entre as propriedades físicas e químicas dos substratos. Densidade aparente (Da), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), água facilmente disponível (AFD), matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), teor total de sais solúveis (TTSS), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), nitrogênio (N) e enxofre (S).

Table 4 – Correlations between the physical and chemical properties of the substrates. Apparent density (Da), total porosity (Pt), macroporosity (Macro) and micro (Micro), easily available water (AFD), organic matter (MO), hydrogen potential (pH), electrical conductivity (CE), total content of soluble salts (TTSS), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P), nitrogen (N) and sulfur (S).

| | Da | P t | Macro | Micro | AFD | MO | pH | CE | TTSS |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| P T | -0,58 ** | 1,00 ** | | | | | | | |
| Macro | -0,55 ** | 0,67 ** | 1,00 ** | | | | | | |
| Micro | 0,46 ** | -0,46 ** | -0,97 ** | 1,00 ** | | | | | |
| AFD | 0,07 ns | -0,19 ns | -0,73 ** | 0,81 ** | 1,00 ** | | | | |
| MO | 0,80 ** | -0,29 ns | -0,20 ns | 0,13 ns | -0,31 ns | 1,00 ** | | | |
| pH | 0,49 ** | -0,01 ns | 0,06 ns | -0,07 ns | -0,24 ns | 0,71 ** | 1,00 ** | | |
| CE | 0,82 ** | -0,30 * | -0,36 * | 0,33 * | -0,18 ns | 0,91 ** | 0,57 ** | 1,00 ** | |
| TTSS | 0,90 ** | -0,44 ** | -0,45 ** | 0,39 * | -0,11 ns | 0,89 ** | 0,52 ** | 0,97 ** | 1,00 ** |
| K | -0,44 * | 0,08 ns | -0,44 * | 0,52 * | 0,81 ** | -0,70 ** | -0,56 ** | -0,55 ** | -0,56 ** |
| Ca | 0,46 * | -0,17 ns | -0,26 ns | 0,23 ns | -0,06 ns | 0,27 ns | -0,37 * | 0,27 ns | 0,34 * |
| Mg | 0,83 ** | -0,20 ns | -0,28 ns | 0,25 ns | -0,25 ns | 0,89 ** | 0,67 ** | 0,95 ** | 0,95 ** |
| P | -0,37 ns | 0,16 ns | -0,05 ns | 0,12 ns | 0,28 ns | -0,60 ** | -0,83 ** | -0,50 ** | -0,48 ** |
| N | -0,10 ns | 0,09 ns | -0,05 ns | 0,08 ns | -0,18 ns | -0,07 ns | -0,22 ns | 0,22 ns | 0,13 ns |
| S | 0,88 ** | -0,33 ns | -0,39 ns | 0,32 ns | -0,15 ns | 0,74 ** | 0,30 ns | 0,85 ** | 0,91 ** |

* e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente; e ns não significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

Quanto à água facilmente disponível, verificou-se amplitude de variação de 6% (casca de arroz carbonizada) a 45% (25/75 – fibra de coco/casca de arroz carbonizada 0,25 - 0,5 mm), em que os substratos formulados a partir da casca de arroz carbonizada peneirada apresentaram valores superiores aos demais substratos estudados (Tabelas 1 e 2).

Fica claro também que a água facilmente disponível é maior com o aumento da microporosidade ($R = 0,81^{**}$) e menor com o aumento da macroporosidade ($R = -0,73^{**}$), sendo fator importante na definição da frequência e volume de irrigações necessárias para produção de mudas (Tabela 4). Os substratos com maior teor de água facilmente disponível são também aqueles com maior teor de microporos, sendo neste trabalho aqueles à base de biossólido e fibra de coco (Tabela 2).

Quanto à matéria orgânica, os maiores teores foram observados nos substratos à base de biossólido, apresentando esses valores variando de 43,18 a 65,88%, seguido do substrato comercial com 48,55%, enquanto os substratos à base de casca de arroz carbonizada e fibra de coco exibiram os menores teores, variando de 15,25 a 26,92% (Tabela 3). O teor de matéria orgânica

apresentou correlação positiva com a densidade aparente ($R = 0,80^{**}$) e a salinidade ($R = 0,89^{**}$), visto que os substratos com maiores teores de biossólido apresentaram maior teor de matéria orgânica em relação aos substratos à base de casca de arroz carbonizada e fibra de coco (Tabela 3).

Na Tabela 4, observa-se que o pH apresentou correlação negativa com o potássio ($R = -0,56^{**}$), cálcio ($R = -0,37^{*}$) e fósforo ($R = -0,83^{**}$), enquanto o magnésio ($R = 0,67^{**}$), condutividade elétrica ($R = 0,57^{**}$) e teor total de sais solúveis ($R = 0,52^{**}$); e o pH teve correlação positiva, sendo maior naqueles substratos à base de biossólido.

Os resultados das análises de nutrientes indicaram que a presença do componente biossólido proporcionou aumento na concentração de cálcio, magnésio e enxofre e diminuição na concentração de fósforo e potássio (Tabela 3).

A casca de arroz carbonizada apresentou baixa concentração de todos os elementos analisados, em comparação com os demais substratos; quando adicionada aos demais componentes, ocasionou diminuição de todos os nutrientes e, conseqüentemente, redução na condutividade elétrica (Tabela 3).

Observou-se que os maiores teores de fósforo são encontrados nos substratos com maiores proporções de fibra de coco, seguida de casca de arroz carbonizada. A adição de biossólido ocasionou decréscimo na concentração de fósforo nos substratos formulados, denotando a baixa concentração desse elemento naquele material (Tabela 3).

No que se refere à concentração de nitrogênio disponível, observou-se que o aumento nas proporções de fibra de coco nos substratos proporcionou pequeno aumento na concentração desse elemento, seguido dos componentes casca de arroz carbonizada e biossólido.

Quanto à concentração de enxofre, o substrato comercial e aqueles formulados à base de biossólido apresentaram as maiores concentrações desse elemento, em comparação com os substratos à base de fibra de coco e casca de arroz carbonizada (Tabela 4).

As correlações entre as propriedades físicas e os teores de nutrientes apresentaram baixa significância, conforme verificado na Tabela 4, indicando que as propriedades físicas não interferiram nas características nutricionais, resultados similares aos observados por Wendling et al. (2007).

4. DISCUSSÃO

No que se refere à densidade aparente, verificou-se que, segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996), nenhum dos substratos analisados ultrapassou o limite máximo ($> 500 \text{ kg m}^{-3}$), porém a maioria apresentou densidade abaixo da recomendada ($< 250 \text{ kg m}^{-3}$) (Tabela 4). Para Martínez (2002), a densidade indica o peso do substrato, fator considerado importante para o transporte, para a manipulação dentro do viveiro e, ainda, para a estabilidade das plantas. Deve-se lembrar de que substratos muito leves não apresentam bom suporte para as plantas, assim como substratos muito densos podem prejudicar o crescimento radicular das mudas, através da impedância mecânica (DE BOODT; VERDONCK, 1972). Entretanto, substratos com densidade entre 100 e 300 kg m^{-3} são indicados para uso em bandejas alveoladas e tubetes de pequeno volume (KÄMPF, 2005).

Neste estudo, a densidade aparente do substrato comercial foi de 398 kg m^{-3} , enquanto Wendling et al. (2007) observaram densidade de 180 kg m^{-3} e Scivittaro et al. (2007), de 315 kg m^{-3} , denotando que o substrato comercial em questão apresenta variações em suas

características físicas e químicas, o que está diretamente ligado à maneira de seu preparo. Essa variação das propriedades de um substrato formulado a partir dos mesmos componentes tem repercussão direta na produção de mudas, conforme verificado por Grave et al. (2007), em que mudas de *Luehea divaricata* produzidas em dois substratos comerciais à base de casca de pinus apresentaram diferentes produtividades.

Noguera et al. (2000), analisando as propriedades físicas e químicas de turfa e fibra de coco, comprovaram que esses elementos apresentam características parecidas. Dessa forma, a fibra de coco tem potencial para substituir a turfa, visto que esse material não é renovável. Apresenta porosidade total média de 95,9%, macroporosidade de 45,3%, água facilmente disponível de 18,6% e pH 5,73; esses valores são parecidos com os substratos analisados neste estudo, com maior concentração de fibra de coco (NOGUERA et al., 2000).

Guerrini e Trigueiro (2004) encontraram resultados semelhantes aos observados neste estudo, em que o acréscimo de biossólido à casca de arroz carbonizada ocasionou aumento na microporosidade e capacidade de retenção de água. Segundo esses autores, a utilização de altas doses de casca de arroz carbonizada torna-se inviável, em virtude do alto consumo de água para irrigação. Schmitz et al. (2002) observaram que a adição de casca de arroz carbonizada à turfa reduziu os problemas com excesso de umidade apresentados por esse material orgânico.

Conforme os valores indicados como adequados para porosidade total por Gonçalves e Poggiani (1996), os substratos são, em sua maioria, considerados adequados, estando estes na faixa de 75 a 85%, assim como para a recomendação de Carrijo et al. (2002) (acima de 85%) (Tabela 2). Essa característica, segundo Kämpf (2005), é de fundamental importância para o crescimento das plantas, visto que a alta concentração de raízes formadas nos recipientes exige elevado fornecimento de oxigênio e rápida remoção do gás carbônico formado. Dessa forma, o substrato deve ser suficientemente poroso, a fim de permitir trocas gasosas eficientes, evitando falta de oxigênio para respiração das raízes e para atividade dos microrganismos no meio.

A correlação negativa apresentada entre a densidade aparente com a porosidade total e a macroporosidade corrobora os resultados observados por Wendling et al. (2007) e Guerrini e Trigueiro (2004), ao correlacionarem as propriedades dos substratos.

Quanto à macroporosidade, apenas os substratos contendo acima de 50% de casca de arroz carbonizada combinada com fibra de coco mais de 70% de casca de arroz carbonizada combinada com biossólido 20/20/60, 10/40/50, 10/30/60 e 10/20/70 (biossólido/fibra de coco/casca de arroz carbonizada) tiveram valores considerados altos (acima de 50%) por Gonçalves e Poggiani (1996). No entanto, estão próximos da faixa considerada adequada (35 - 45%) (Tabela 2).

Quanto à microporosidade, os substratos com 10/90, 25/75 (fibra de coco/casca de arroz carbonizada 0,5 - 1 mm), 10/90, 25/75 (fibra de coco/casca de arroz carbonizada 0,25 - 0,5 mm) e aqueles formulados com doses acima de 40% de biossólido, combinado com fibra de coco e casca de arroz carbonizada, apresentaram alta microporosidade (acima de 55%), segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996) (Tabela 2). Segundo Gonçalves et al. (2000), substratos com maior microporosidade (maior capacidade de retenção de água) requerem maior rigor no controle da irrigação, com o intuito de evitar o encharcamento.

No que se refere ao substrato comercial, verificaram-se valores de macro e microporosidade muito diferentes aos encontrados por Wendling et al. (2007), os quais observaram 48,4 e 31,0% de macro e microporosidade, respectivamente.

A maior microporosidade apresentada nos substratos à base de casca de arroz carbonizada peneirada corrobora os resultados de Fermino (2003), que citou que o tamanho das partículas tem influência determinante sobre o volume de água e ar do substrato, em que altas proporções de partículas maiores tornam o meio com alta macroporosidade, enquanto partículas menores fecham os poros, aumentando a capacidade de retenção de água e diminuindo a macroporosidade. Com base nos resultados de macro e microporosidade, observou-se que os substratos estudados se enquadraram, em sua maioria, como adequados, com base no proposto por Gonçalves e Poggiani (1996).

Zanetti et al. (2003) observaram que o aumento da granulometria de substratos comerciais à base de fibra de coco diminuiu o teor de água disponível, proporcionada pela rápida drenagem em materiais com maior granulometria. Nesses casos, segundo esses autores, deve-se priorizar maior frequência de irrigação, para evitar prejuízos em vista de possíveis ocorrências

de estresse hídrico. Segundo De Boodt e Verdonck (1972), o teor de água facilmente disponível para as plantas deve ser de 20 a 30%. A partir dessa recomendação, a maioria dos substratos estudados está localizada dentro da faixa considerada ideal ou, então, próxima a ela (Tabela 2).

Em relação ao pH, observa-se que, segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996), apenas o substrato comercial 80/20 e 70/30 (fibra de coco/casca de arroz carbonizada) está dentro da faixa adequada (5,5-6,5) (Tabela 3), enquanto conforme a recomendação de Kämpf (2000) (5,2 e 5,5) apenas o substrato comercial apresentou pH adequado. Segundo Valeri e Corradini (2000), em substratos com pH abaixo de 5,0 pode ocorrer a deficiência de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro, enquanto em pH acima de 6,5 são esperadas deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre. Salienta-se que, no momento da preparação dos substratos, o pH pode ser ajustado pela aplicação de soluções ácidas ou pela mistura de componentes de pH mais baixo.

Resultados semelhantes foram observados por Lacerda et al. (2006), em que os substratos com maior pH (8,1 - 9,1) apresentaram maiores valores de condutividade elétrica (1,53 - 2,87 dS m⁻¹), à base de resíduo de sisal.

Verifica-se na Tabela 3 que o aumento da dose de biossólido acarreta aumento na condutividade elétrica e no teor total de sais solúveis. Segundo Martinez (2002), a salinidade inicial do substrato pode afetar o crescimento das plantas, em que valores de condutividade elétrica acima de 3,5 mS cm⁻¹ são considerados excessivos para a maioria das espécies.

Baseado na classificação de Röber e Schaller (1985), observou-se que o substrato comercial apresentou salinidade extremamente alta (5,86 g L⁻¹), e parte dos substratos contendo biossólido apresentou salinidade considerada tóxica (> 7,0 g L⁻¹), extremamente alta (5,0 a 7,0 g L⁻¹), muito alta (4,0 a 5,0 g L⁻¹) e alta (2,0 a 4,0 g L⁻¹). Já os substratos que continham apenas fibra de coco e casca de arroz carbonizada tiveram salinidade dentro da faixa considerada baixa (< 1,0 g L⁻¹) e normal (1,0 a 2,0 g L⁻¹) (Tabela 4). No que se refere ao substrato comercial, cabe ressaltar que o substrato comercial recebeu adubação química no momento de sua fabricação.

Guerrini e Trigueiro (2004) observaram resultados semelhantes, em que apenas nas doses inferiores a 20% de biossólido combinado com casca de arroz carbonizada a condutividade elétrica ficou dentro da faixa considerada adequada (1 mS cm^{-1}). Maas et al. (2010) verificaram que a adição de biossólido ao substrato comercial aumentou a condutividade elétrica do substrato, resposta que, segundo esses autores, está diretamente ligada à alta concentração de micronutrientes do biossólido.

Deve-se, contudo, ressaltar que a salinidade presente no momento do cultivo poderá ser maior do que a analisada, caso ocorram adubações de base e ao longo do cultivo. Se não houver adubações, deve-se enfatizar que a salinidade cai consideravelmente em poucos dias, em consequência da lixiviação pela água de irrigação.

No tocante à concentração de nutrientes nos substratos à base de biossólido, verificaram-se resultados semelhantes aos encontrados por Guerrini e Trigueiro (2004) e por Nóbrega et al. (2007), em que o acréscimo de biossólido aos substratos ocasionou aumento da concentração de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre e na quantidade de matéria orgânica. No entanto, neste estudo o biossólido apresentou baixa concentração de fósforo, comprovando, dessa forma, ser um material heterogêneo e que sua composição varia segundo as características dos esgotos e a sua forma de tratamento.

Segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996), a maioria dos substratos analisados apresenta baixa concentração de potássio ($< 1,5 \text{ mol}_e \text{ dm}^{-3}$). Apenas os substratos contendo concentrações de até 70% de casca de arroz carbonizada combinada com fibra de coco apresentaram níveis adequados de potássio ($3,0 - 10,0 \text{ mol}_e \text{ dm}^{-3}$). Observou-se também que os substratos formulados com diferentes granulometrias de casca de arroz carbonizada apresentaram maior concentração desse elemento, em comparação com a casca de arroz carbonizada em sua forma original.

A concentração de cálcio foi adequada apenas para o substrato comercial, provavelmente porque ele recebeu adubação química no momento de sua fabricação, e os demais substratos analisados apresentaram baixa concentração ($< 10 \text{ mol}_e \text{ dm}^{-3}$), segundo Gonçalves e Poggiani (1996) (Tabela 3).

Os substratos formulados a partir de 20% de biossólido apresentaram altos níveis de magnésio ($> 10 \text{ mol}_e \text{ dm}^{-3}$) e doses inferiores a 20% de biossólido combinado com fibra de coco/casca de arroz carbonizada, e o substrato comercial enquadrou-se na faixa considerada adequada ($5 - 10 \text{ mol}_e \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 3). Entretanto, os tratamentos formulados com apenas fibra de coco/casca de arroz carbonizada mostraram baixos níveis de magnésio ($< 5 \text{ mol}_e \text{ dm}^{-3}$), segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996) (Tabela 3).

A concentração de fósforo foi adequada apenas no substrato comercial em razão, possivelmente, da adubação química no momento de sua fabricação, em que os demais substratos analisados apresentaram baixa ($< 200 \text{ mg dm}^{-3}$) e média ($200 - 400 \text{ mg dm}^{-3}$) concentrações, segundo Gonçalves e Poggiani (1996).

5. CONCLUSÕES

Em vista do fato de as propriedades físicas serem mais decisivas na escolha de determinada formulação de substrato, entre os componentes e misturas avaliados se pode concluir que os substratos formulados à base de fibra de coco e casca de arroz carbonizada se mostraram mais adequados em relação aos substratos à base de biossólido.

5. REFERENCIAS

- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995.
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra de casca de coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.4, p.533-535, 2002.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in: Floriculture. **Acta Horticulturae**, v.26, n.1, p.37-44, 1972.
- FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização de física de substratos**. 89f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. 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, 2000. p.309-350.

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

GRAVE, F. et al. Crescimento de plantas jovens de açoita-cavalo em quatro diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v.17, n.4, p.289-298, 2007.

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**, v.28, n.6, p.1069-1076, 2004.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 8.ed. Boston: Prentice-Hall, 2011. 915p.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.). **Substratos para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.139-145.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2.ed. Guaíba: Agrolivros, 2005. p.45-72.

LACERDA, M. R. B. et al. 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**, v.30, n.2, p.163-170, 2006.

MAAS, K. D. B. et al. Efeito de doses de biossólido em substrato para produção de mudas: pH e condutividade elétrica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS-FERTBIO 2010, 29., 2010, Guarapari. **Resumo expandido...** Guarapari: 2010.

MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A. M. C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2002. p.53-76.

MILNER, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. In: FURLANI, A. M. C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2002. p.45-51.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 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.

MULVANEY, R. L. Nitrogen: Inorganic forms. In: SPARKS, D. L. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: SSA Book, 1996. p.1123-1184.

NÓBREGA, R. S. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*/Raddi). **Revista Árvore**, v.31, n.2. p.239-246, 2007.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. (Ed.). **Manual de laboratórios**: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.

NOGUERA, P. A. et al. Coconut coir waste, a new viable ecologically - Friendly peat substitute. **Acta Horticulturae**, v.517, p.279-286, 2000.

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**, v.32, n.6, p.937-944, 2002.

SCIVITTARO, W. B. et al. **Caracterização física de substratos elaborados a partir de resíduos agroindustriais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58).

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de Eucalyptus e Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.167-189.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.209-220, 2007.

ZANETTI, M. et al. Características físicas de substratos para produção de mudas cítricas sob telado. **Laranja**, v.24, n.2, p.507-518, 2003.

