

**JOSIELLE SANTOS REZENDE**

**USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS  
ALTERNATIVOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia como parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de  
concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título  
de “Mestre”.

Orientador:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marli Aparecida Ranal

**UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010**

**JOSIELLE SANTOS REZENDE**

**USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS  
ALTERNATIVOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia como parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de  
concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título  
de “Mestre”.

APROVADA em 06 de janeiro de 2010.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriane de Andrade Silva

UFU

Dr<sup>ª</sup>. Lilian Aparecida de Oliveira

UFU

Dr<sup>ª</sup>. Adriana Monteiro da Costa

EMBRAPA-Milho e Sorgo

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marli Aparecida Ranal  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

**UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010**

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico e agradeço essa minha conquista:

Ao grande Deus do Universo, representado por todos os seres espirituais que constroem, junto a mim, esse maravilhoso espetáculo da vida.

Em especial aos meus pais, Vera e Jovânio, à minha avó Joana e à minha irmã Michelle, por todos os esforços realizados em prol dessa conquista e por todo amor demonstrado.

À minha professora Dr<sup>a</sup>. Marli A. Ranal pela disposição em me orientar no desenvolvimento desse trabalho e por compartilhar comigo seu vasto conhecimento científico. Sou grata por todos os momentos que passamos juntas e sinto-me honrada por ter sido orientada por um ser que admiro tanto profissionalmente quanto espiritualmente.

Aos amigos Regina Batistella, Leonardo Araújo, Cleyton Alvarenga, Letícia Barbaresco, Lucélia Alves e Alberto Farnese por todo auxílio, apoio e tempo que me concederam durante a condução desse trabalho de pesquisa.

À Roberta Fusconi por toda a atenção.

Aos secretários, Cida e Eduardo, professores e coordenador do programa de pós-graduação em agronomia da Universidade Federal de Uberlândia pela a atenção e dedicação.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Adriane, Dr. Lílian e Dr. Adriana por terem aceito o convite e pelas valiosas sugestões e correções. Em especial à Dr. Adriane pelo auxílio na interpretação dos dados.

Ao professor Dr. Reginaldo de Camargo, funcionários do Departamento de Água e Esgoto (DMAE) da cidade de Uberlândia e Alírio Maldonado pela concessão de parte do material utilizado na pesquisa.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa.

À todos que com um sorriso, um abraço ou uma palavra me fazem feliz e melhor.

Em fim, para todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para que nosso trabalho fosse concluído.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                            | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| RESUMO.....                                                                                                                                                                | i      |
| ABSTRACT.....                                                                                                                                                              | ii     |
| CAPÍTULO 1.....                                                                                                                                                            | 1      |
| 1 Introdução Geral.....                                                                                                                                                    | 2      |
| 2 Referencial Teórico.....                                                                                                                                                 | 3      |
| 2.1 Substratos alternativos.....                                                                                                                                           | 3      |
| 2.1.1 Lodo de esgoto urbano.....                                                                                                                                           | 4      |
| 2.1.2 Composto orgânico.....                                                                                                                                               | 6      |
| 2.1.3 Bagaço de cana-de-açúcar.....                                                                                                                                        | 8      |
| 3 Referências.....                                                                                                                                                         | 10     |
| CAPÍTULO 2 - Uso de biossólido na composição de substratos e efeito no processo de emergência e desenvolvimento de plantas de girassol ( <i>Helianthus annuus</i> L.)..... | 13     |
| Resumo.....                                                                                                                                                                | 14     |
| Abstract.....                                                                                                                                                              | 15     |
| 1 Introdução.....                                                                                                                                                          | 16     |
| 2 Material e métodos.....                                                                                                                                                  | 18     |
| 2.1 Instalação do experimento.....                                                                                                                                         | 18     |
| 2.2 Características avaliadas.....                                                                                                                                         | 18     |
| 2.2.1 Medidas do processo de emergência.....                                                                                                                               | 19     |
| 2.2.2 Crescimento das plantas.....                                                                                                                                         | 20     |
| 2.3 Análise estatística.....                                                                                                                                               | 20     |
| 3 Resultados e discussão.....                                                                                                                                              | 22     |
| 3.1 Análises físico-químicas dos substratos.....                                                                                                                           | 22     |
| 3.2 Medidas do processo de emergência de plântulas.....                                                                                                                    | 30     |
| 4 Conclusões.....                                                                                                                                                          | 38     |
| 5 Referências.....                                                                                                                                                         | 39     |
| CAPÍTULO 3 - Lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar como substrato para a produção de mudas de <i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i> .....                      | 44     |
| Resumo.....                                                                                                                                                                | 45     |
| Abstract.....                                                                                                                                                              | 46     |
| 1 Introdução.....                                                                                                                                                          | 47     |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 2 Material e métodos.....                                     | 49 |
| 2.1 Obtenção do composto orgânico.....                        | 49 |
| 2.2 Instalação do experimento.....                            | 50 |
| 2.3 Características avaliadas.....                            | 50 |
| 2.3.1 Medidas do processo de emergência.....                  | 50 |
| 2.3.2 Crescimento das plantas.....                            | 52 |
| 2.4 Análise estatística.....                                  | 52 |
| 3 Resultados e discussão.....                                 | 53 |
| 3.1 Características microbiológicas do composto orgânico..... | 53 |
| 3.2 Características químicas dos substratos.....              | 53 |
| 3.3 Medidas do processo de emergência de plântulas.....       | 60 |
| 4 Conclusões.....                                             | 67 |
| 5 Referências.....                                            | 68 |

## RESUMO

REZENDE, JOSIELLE SANTOS. **Uso de resíduos orgânicos na composição de substratos alternativos para a produção de mudas.** 2010. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia).<sup>1</sup>

O uso dos resíduos orgânicos como componentes de substratos propicia a obtenção de materiais alternativos, de fácil e constante disponibilidade e baixo custo, auxiliando na minimização da poluição decorrente do acúmulo de resíduos no ambiente. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de substratos formulados com resíduos orgânicos para o processo de emergência e crescimento de plantas de *Brassica oleracea* var. *acephala* e *Helianthus annuus* L.. Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia-MG, utilizando-se bandejas multicelulares, sendo cada unidade experimental constituída por vinte e quatro células. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. No experimento com *Brassica oleracea* var. *acephala* foram avaliados seis tratamentos com quatro repetições. O primeiro tratamento, considerado controle, foi constituído pela mistura de substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita na proporção 1:1. Os demais tratamentos foram constituídos por doses crescentes do composto orgânico de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar (20, 40, 60 e 80%) em mistura ao substrato do tratamento controle, sendo o último tratamento constituído por 100% de composto. No experimento com *Helianthus annuus* L. foram avaliados quatro tratamentos com cinco repetições, sendo utilizado o mesmo tratamento controle com doses crescentes (20, 40 e 60%) de biossólido. As avaliações do processo de emergência foram realizadas a cada vinte e quatro horas, adotando-se como critério de emergência a exposição de qualquer parte da plântula na superfície do substrato. O crescimento foi avaliado mensurando-se a altura da parte aérea, o comprimento do sistema radicular e a massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas. O substrato contendo 20% de biossólido apresentou características químicas e físicas adequadas para o desenvolvimento das plântulas de girassol, embora o menor tempo médio ( $\bar{t} = 3,46$  dias), a menor incerteza ( $I = 1,38$  bits), a maior velocidade ( $\bar{v} = 0,88 \text{ dia}^{-1}$ ;  $VE = 7,15 \text{ plântulas dia}^{-1}$ ) e a maior sincronia ( $Z = 0,42$ ) de emergência, tenham sido obtidos no tratamento controle. A adição do composto orgânico de lodo e bagaço, em concentrações superiores a 30%, no substrato de cultivo, ocasionou o aumento do tempo inicial ( $t_i$ ), tempo médio ( $\bar{t}$ ) e tempo final ( $t_f$ ) de emergência das plântulas de couve, sendo observado decréscimo linear da velocidade média ( $\bar{v}$ ) e da velocidade de emergência de Maguire ( $VE$ ) com a adição do composto no substrato. Concluiu-se que o uso do biossólido e do composto orgânico de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar como componentes de substratos, até determinadas concentrações, é uma alternativa viável para o reaproveitamento dos resíduos.

Palavras-chave: lodo de esgoto; bagaço de cana; *Brassica oleracea* var. *acephala*; *Helianthus annuus* L.

---

<sup>1</sup>Orientador: Marli Aparecida Ranal – UFU

## ABSTRACT

REZENDE, JOSIELLE SANTOS. **Use of organic residues in the composition of alternative substrates for seedling production.** 2010. 69 p. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Plant Technology – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia).<sup>1</sup>

The use of organic residues as components of substrates allow obtaining alternative materials, easily obtained, constantly available and of low cost, aiding on the minimization of pollution resulting from residue accumulation in the environment. Therefore, this study evaluated the quality of substrates formulated with organic residues on the process of emergence and growth of *Brassica oleracea* var. *acephala* and *Helianthus annuus* L. The experiments were done in the greenhouse of the Instituto de Ciências Agrárias of Universidade Federal de Uberlândia (UFU), in the city of Uberlândia-MG, using multicelled trays, and each experimental unit consisted of twenty four cells. The experimental design was completely randomized. Six treatments, in four replications were used in the experiment with *Brassica oleracea* var. *acephala*. The first treatment, considered as the control, consisted of the mixture of the commercial substrate Plantmax<sup>®</sup> with vermiculite in the proportion 1:1. The other treatments were increasing doses of composted sewage sludge and sugar-cane bagasse (20, 40, 60 or 80%) mixed to the substrate of the control treatment, and the last treatment was 100% compost. Four treatments, in five replications, were evaluated in the *Helianthus annuus* L. experiment, where increasing doses of the biosolid (20, 40 or 60%) were added to the same control treatment. The evaluations of the emergence process were done every twenty four hours, adopting as emergence criterion the exposition of any seedling part on the substrate surface. Growth was evaluated by measuring the above ground height, the length of the root system and the dry matter mass of both parts. The substrate containing 20% biosolid presented adequate chemical and physical characteristics for sunflower development, although the minimum average time ( $\bar{t} = 3.46$  days), the least uncertainty ( $I = 1.38$  bits), the greatest velocity ( $\bar{v} = 0.88 \text{ day}^{-1}$ ;  $VE = 7.15$  seedlings  $\text{day}^{-1}$ ) and the greatest synchrony ( $Z = 0.42$ ) of emergence were obtained by the control treatment. Adding the sludge and bagasse organic compost to the substrate, in concentrations above 30%, caused an increase in initial time ( $t_i$ ), average time ( $\bar{t}$ ) and final time ( $t_f$ ) for collard seedlings emergence, and a linear decrease on the average velocity ( $\bar{v}$ ) and Maguire's emergence velocity ( $VE$ ) was observed with the addition of compost to the substrate. It can be concluded that the use of biosolid and the organic compost of sewage sludge and sugar-cane bagasse as substrate components, to a given proportion, is a viable alternative for the re-use of residues.

Keywords: Sewage sludge; sugar-cane bagasse; *Brassica oleracea* var. *acephala*; *Helianthus annuus* L.

---

<sup>1</sup> Supervisor: Marli Aparecida Ranal – UFU

## **CAPÍTULO 1**

## **1 INTRODUÇÃO GERAL**

A destinação final de resíduos orgânicos produzidos pela população urbana e rural é um grave problema que necessita de solução. A explosão populacional das últimas décadas, a sensibilidade do planeta Terra às ações do homem e a necessidade vital de se obter um ambiente em equilíbrio, impele os pesquisadores a buscarem alternativas para a reciclagem desses materiais. Uma das alternativas mais atrativas para o aproveitamento de resíduos orgânicos é a sua aplicação no meio agrícola. Diversas linhas de pesquisa, tanto no Brasil quanto no exterior, vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de aperfeiçoar e viabilizar esta prática.

Resíduo orgânico é todo produto de origem vegetal, animal, urbano ou industrial que apresente elevados teores de componentes orgânicos. Esses resíduos geralmente apresentam alto potencial para utilização agrícola, pois são constituídos por considerável percentual de matéria orgânica e por elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, desempenhando importante papel na produção agrícola e na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Esses resíduos, quando não aplicados diretamente no solo, podem ser utilizados na composição de substratos agrícolas para a produção de mudas de diversas espécies. Segundo Souza (2001), substratos alternativos podem ser utilizados para a produção de mudas e para o cultivo de plantas. Entretanto, o efeito desses substratos deve ser avaliado com o intuito de se descobrir composições benéficas e economicamente viáveis, capazes de proporcionarem desenvolvimento satisfatório das mudas, diminuindo os custos de produção e, principalmente, minimizando o impacto da inclusão dos resíduos no ambiente. Portanto, estudos devem ser realizados com o intuito de se caracterizar tais resíduos, uma vez que muitos desses materiais podem conter em sua composição elementos nocivos ao desenvolvimento das plantas e à saúde humana.

Sendo a utilização de resíduos orgânicos na composição de substratos uma das alternativas de disposição final desses materiais, dentro do enfoque de desenvolvimento sustentável, o presente trabalho teve por objetivos avaliar as características químicas e físicas de substratos alternativos e os efeitos destes nos processos de emergência e desenvolvimento de espécies vegetais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A necessidade de aumentar a escala de produção de mudas levou pesquisadores a investigarem a utilização de diversos resíduos com potencial para uso como componentes de substrato, atitude que vem ao encontro dos interesses conservacionistas e da autosustentabilidade desse empreendimento (KÄMPF, 2004).

Apesar da ausência de dados estatísticos sobre o volume total de substrato consumido anualmente no Brasil, é possível avaliar algumas das demandas atuais nos principais setores agrícolas que usam o sistema de recipientes. No setor florestal brasileiro, calcula-se que a demanda anual em substrato estaria em torno de 125 mil m<sup>3</sup> para a formação inicial das mudas em tubetes. Na sequência dos setores usuários de substratos, cita-se a fruticultura, com destaque especial para a formação de mudas cítricas, que sugere uma demanda acima de 100 mil m<sup>3</sup> de substrato por ano para o preenchimento de tubetes. Além desses setores, consideram-se igualmente importantes, as demandas referentes à produção de mudas de hortaliças e de cogumelos comestíveis. No setor da floricultura, o substrato é insumo indispensável na produção de mudas para transplante e na produção e manutenção de plantas envasadas, além das necessidades para a jardinagem e para o paisagismo (KÄMPF, 2004).

### **2.1 Substratos alternativos**

Os substratos para a produção de mudas podem ser definidos como sendo o meio adequado para sua sustentação e retenção de quantidades suficientes e necessárias de água, oxigênio e nutrientes, além de oferecer pH compatível, ausência de elementos químicos em níveis tóxicos e condutividade elétrica adequada. A fase sólida do substrato deve ser constituída por uma mistura de partículas minerais e orgânicas. O estudo do arranjo percentual desses componentes é importante, já que eles poderão ser fonte de nutrientes e atuarão diretamente sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Em decorrência do arranjo quantitativo e qualitativo dos materiais minerais e orgânicos empregados, as mudas serão influenciadas pelo suprimento de nutrientes, água disponível e oxigênio (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

O uso dos resíduos como componentes de substratos propicia a obtenção de materiais alternativos, de fácil e constante disponibilidade e baixo custo, auxiliando na minimização da poluição decorrente do acúmulo de resíduos no ambiente. Nesse

contexto, diversos materiais de origem vegetal e animal têm sido utilizados no preparo de compostos orgânicos para a produção de mudas, não existindo um material ou uma mistura de materiais considerada universalmente válida como substrato para todas as espécies (SCHMITZ et al., 2002).

A utilização dos resíduos orgânicos surge como uma alternativa para diminuir os custos com a adubação química. Dentre os materiais com alto potencial de utilização em viveiros, encontram-se resíduos como o bagaço de cana, as tortas, o lixo e os esgotos urbanos. Esses são, em geral, materiais ricos em sua composição química, sendo capazes de propiciar um bom desenvolvimento das plantas. Entretanto, na literatura são poucos os trabalhos que relatam a disponibilidade dos nutrientes oriundos desses materiais (SABONARO, 2006).

### **2.1.1 Lodo de esgoto urbano**

Os estudos com lodo de esgoto, subproduto gerado nas estações de tratamento de esgotos urbanos, indicam que ele possui macro e micronutrientes que exercem papel fundamental na produção agrícola, é rico em matéria orgânica, e atua como um condicionador do solo, melhorando a estrutura deste. Quando tratado e processado, o lodo recebe o nome de biossólido e adquire características que permitem sua utilização agrícola de maneira racional e ambientalmente segura. Atualmente, as perspectivas de desenvolvimento e a expectativa de incremento da produção de lodo pela ampliação da rede de coleta e tratamento de esgoto caracterizam a questão como um dos mais graves passivos ambientais urbanos no Brasil (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006).

Existem várias alternativas tecnicamente aceitáveis para o tratamento e disposição final do lodo de esgoto. A reciclagem agrícola é a forma de disposição final do lodo que pode ser considerada a mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais, desde que convenientemente aplicada, uma vez que apresenta o menor custo para a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes e tem se constituído em uma das formas mais utilizadas em diversos países (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006).

A regulamentação de uso agrícola do lodo deve estar condicionada a regras que definam a qualidade do material, cuidados na sua estabilização, desinfecção e normas de utilização, que incluam as restrições de uso. No Brasil os lodos são regulamentados pela Resolução CONAMA n ° 375 de 29 de agosto de 2006, baseada na norma americana USEPA 40 CFR 503 (1997) (PADOVANI, 2006).

Diversos estudos foram realizados utilizando o lodo de esgoto na agricultura e ótimos resultados foram comprovados. Uma das alternativas de uso deste material pode ser o fornecimento de nutrientes e matéria orgânica na composição de substratos para a formação de mudas de diversas espécies vegetais.

Comparando esterco bovino, biossólido e acículas de pinus, Morais et al. (1997) comprovaram que o melhor crescimento em diâmetro do colo e altura total para mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) na fase de viveiro foi obtido quando estas foram cultivadas em substrato contendo 70% de solo sem adubação e 30% de biossólido, seguido pelo tratamento com 70% de solo sem adubação e 30% de esterco bovino. Em relação à produção de matéria seca, os autores verificaram que esses mesmos tratamentos promoveram os maiores ganhos e concluíram que o uso do biossólido durante a fase de viveiro é uma alternativa viável como substrato orgânico para mudas dessa espécie.

Wachowicz (2002) verificou aumento significativo da biomassa das plantas de *Gypsophila paniculata* L. (véu-de-noiva) com a adição de lodo de esgoto e fósforo mineral no substrato de cultivo, havendo interação entre esses dois fatores. No tratamento sem adição de lodo e fósforo não houve formação de haste floral e a parte aérea remanescente teve seu crescimento significativamente reduzido. Segundo a autora, associada a outros caracteres como a altura e, especificamente para a *Gypsophila*, o número de ramificações primárias da haste, a quantidade de matéria verde é um fator indicativo de qualidade na comercialização de flores de corte em geral. A autora considerou bastante positiva a resposta da cultura ao fornecimento de lodo de esgoto, sendo que os maiores valores de massa de matéria verde de hastes florais foram observados nas maiores doses de lodo, não havendo diferença entre os níveis de fósforo fornecido.

O uso de biossólidos como componentes de substrato é uma alternativa viável para a disposição final deste resíduo, tendo em vista a economia de fertilizantes que esse material pode proporcionar, além do benefício ambiental. A quantidade de nutrientes no substrato aumenta com a elevação da percentagem de biossólido, exceto para K e Mn e, de acordo com as características apresentadas em trabalho avaliando os atributos físicos e químicos de substratos com diferentes doses de biossólido, foram considerados mais adequados para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais os substratos com 30 a 60% de biossólido no seu volume total (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

A utilização de lodo de esgoto higienizado como componente de substratos para a produção de mudas constitui uma ferramenta a ser utilizada na arborização urbana e recuperação de áreas degradadas. O uso do lodo de esgoto higienizado como insumo na produção de mudas de cássia (*Senna siamea* Lam.) mostrou-se uma opção viável, devido ao aporte significativo de nutrientes e matéria orgânica que o lodo conferiu, a um custo relativamente reduzido. Os incrementos em altura da espécie estudada foram relacionados aos acréscimos de matéria orgânica no substrato devido à adição de lodo de esgoto. Observou-se que os substratos mais ricos em composto orgânico propiciaram melhor crescimento das mudas, com boa formação do sistema radicular e melhor balanço nutricional (FAUSTINO et al., 2005).

A eficiência do uso de lodo de esgoto como componente de substratos para a produção de plantas ornamentais já foi demonstrada para crisântemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.), boca-de-leão (*Antirrhinum majus* L.), lírio (*Lilium* L.), gerânio (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey), girassol (*Helianthus annuus* L.) e begônia (*Begonia semperflorens* Hook.), sendo verificado aumento linear na produção de matéria seca e altura das plantas de begônia cultivadas em vasos com substratos contendo composto de lodo de esgoto e resíduos de poda. O lodo, submetido ou não ao processo físico (calor) de redução de patógenos, pode ser utilizado como componente de substratos para produção de mudas de vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don). O aumento da concentração de lodo no substrato de cultivo permite a obtenção de mudas mais vigorosas, melhorando caracteres, tais como altura, número e diâmetro de flores, área foliar, produção de matéria fresca e seca (ALMEIDA et al., 2005).

Cunha et al. (2006), utilizando lodo de esgoto como substrato, verificaram aumento significativo na altura e no diâmetro do colo de mudas de acácia, em relação aos valores encontrados em mudas desenvolvidas em substrato sem adição desse resíduo. O substrato composto por lodo proporcionou maior desenvolvimento das mudas de acácia australiana (*Acacia mangium* Willd.) e acácia (*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.), que acumularam mais N e Ca. Segundo os autores, esses resultados concordam com outros estudos que têm apontado benefícios do uso do lodo de esgoto na composição de substratos para mudas de diferentes espécies vegetais na fase de viveiro.

### **2.1.2 Composto orgânico**

Composto orgânico é o material resultante da decomposição de restos vegetais e ou animais, sendo que o processo da compostagem consiste em amontoar esses resíduos e, mediante tratamentos químicos ou não, acelerar a sua decomposição, adotando um controle sistemático da temperatura e da umidade (GOMES; SILVA, 2004).

Na seleção de materiais para uso como componentes ou misturas de substratos, busca-se a obtenção de algumas propriedades, como a relação entre as características de aeração e drenagem, o que permite o equilíbrio entre a retenção e a liberação da água e dos nutrientes; a adequação nos valores de pH e salinidade, para otimizar a absorção de água e nutrientes pela raiz; a baixa densidade, importante para diminuir os custos de transporte; a ausência de propágulos de doenças, pragas e plantas invasoras, para evitar o uso de defensivos agrícolas, e a homogeneidade, disponibilidade e manutenção da qualidade do material (KÄMPF, 2004). Dessa forma, diversos materiais podem ser utilizados como substratos para o cultivo de espécies vegetais; porém, em algumas situações, pode ser interessante realizar misturas desses para que se possa atingir as melhores condições químicas e físicas para o crescimento das plantas (GRASSI FILHO; SANTOS, 2004).

Um bom substrato deve apresentar características físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento da espécie vegetal, sendo difícil encontrar em um único componente todas as propriedades ideais. A forma mais eficiente de atingir este grau é por meio da compostagem, sendo necessário o substrato, após esse processo, apresentar estabilidade química e biológica. O composto resultante do processo de compostagem apresentará melhores condições químicas, físicas e biológicas, atuando efetivamente na melhoria das propriedades favoráveis ao crescimento das plantas, com efeito nos processos microbianos, na aeração, na estrutura, na capacidade de retenção de água e na regulação da temperatura do solo, além do fornecimento de nutrientes (TRINDADE et al., 2001).

Moraes Neto et al. (2001) estudaram o efeito de diferentes substratos no crescimento de mudas de espécies nativas como *Croton urucurana* Baill. (Sangra da água), *Guazuma ulmifolia* Pers. (Mutambo), *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (Canafístula), *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. (Feijão cru), *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl. (Ipê roxo) e *Genipa americana* L. (Jenipapo). Os autores verificaram que os substratos contendo 60 a 80% de húmus de minhoca, ou composto orgânico de gado suplementado com 20 a 40% de casca de arroz carbonizada,

apresentaram excelentes características físicas, o que resultou na produção de mudas de excelente qualidade, com sistema radicular bem desenvolvido.

A viabilidade técnica e econômica de diferentes substratos no crescimento em altura de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill em tubetes é maior utilizando-se a mistura de 80% de composto orgânico e 20% de moinha de carvão, por produzir boa muda com menor custo, sendo os melhores resultados quanto à sobrevivência, à altura média e à qualidade das mudas dessa espécie, obtidos nos tratamentos com predominância de composto orgânico. O tratamento contendo Plantmax<sup>®</sup> suplementado com composto orgânico e contendo Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita suplementados com composto orgânico, moinha de carvão e terra de barranco propiciaram melhor crescimento das mudas dessa espécie (GOMES; SILVA, 2004).

Houve incremento em altura de planta e biomassa da parte aérea, de raízes e total, em mudas de caroba (*Jacaranda micrantha* Cham.), à medida que se aumentou as doses de material orgânico no substrato (TEDESCO et al., 1999). Estes resultados corroboram os obtidos por Alves e Passoni (1997), em trabalho desenvolvido com composto orgânico ou vermicomposto oriundos de lixo domiciliar, no qual constataram que, mesmo em doses elevadas ou até na substituição total do solo por estes produtos, não ocorreram problemas na germinação ou no desenvolvimento das mudas de oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch).

### **2.1.3 Bagaço de cana-de-açúcar**

No norte do Estado do Rio de Janeiro, o uso do substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira, advindo de misturas utilizando bagaço de cana moído, tem sido utilizado com êxito para a produção de mudas de cana-de-açúcar, eucalipto, goiabeira e citros. Os resultados demonstram que este tipo de substrato é adequado para essa finalidade, pois confere às mudas qualidades morfofisiológicas semelhantes ou superiores às alcançadas com o uso de substratos comerciais (SERRANO et al., 2006).

O bagaço de cana-de-açúcar, a casca de coco e a torta de filtro de usina mostraram possibilidades de uso em mistura para o preparo de blocos prensados para a produção de mudas de *Saccharum* L., sendo que o sistema de blocos prensados finlandeses e o de blocos preparados com bagaço de cana-de-açúcar e torta de filtro de usina, misturados, respectivamente, nas proporções de 70 e 30%, (v:v), foram os mais adequados para a produção de mudas dessa espécie (MORGADO et al., 2000).

Schiavo e Martins (2002), com o objetivo de avaliarem o crescimento de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) produzidas em blocos prensados, conduziram um experimento no qual verificaram que os resíduos da indústria açucareira, bagaço e torta de filtro de cana-de-açúcar, inoculados com fungo micorrízico arbuscular, podem ser utilizados como substrato para a produção de mudas dessa espécie.

Mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) responderam positivamente à utilização do bagaço de cana combinado com torta de filtro no substrato de cultivo, embora tenha ocorrido clorose durante a fase inicial de viveiro (LELES et al., 1998). Mudanças de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) e aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) produzidas no mesmo substrato, na proporção volumétrica de 3:2, apresentaram o esperado crescimento em altura, diâmetro do colo, área foliar e massa seca da parte aérea e raiz (BARROSO, 1998).

O substrato composto pela mistura de bagaço de cana com torta de filtro (3:2; v:v) e substrato comercial, ambos fertilizados com adubo de liberação lenta, conferiram maior crescimento e melhor estado nutricional às mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* O. Deg.), comprovado pelos teores de nutrientes associados ao ótimo crescimento, o que permitiu aos autores sugerirem esse substrato para a produção de mudas dessa cultura (SERRANO et al., 2006).

Esses resultados obtidos por diferentes autores, utilizando diferentes espécies, mostram que diversos materiais orgânicos e inorgânicos têm sido utilizados na formulação de substratos para a produção de mudas, havendo necessidade de se determinar os mais apropriados para cada espécie vegetal, de forma a se obter um substrato com características químicas e físicas satisfatórias para o bom desenvolvimento das mudas. Um fator importante que deve ser observado é a disponibilidade desses materiais em cada região de cultivo, dando-se prioridade para materiais de baixo custo e abundantes na região, razão pela qual geralmente se utilizam resíduos industriais como o bagaço de cana, a casca de arroz carbonizada, o esterco bovino e a cama-de-frango na composição de substratos orgânicos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. C. A.; FANHANI, J. C.; D'OLIVEIRA, P. S. Utilização de lodo de esgoto como componente de substrato para o cultivo de Vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don). **Cesumar**, Maringá, v. 7, n. 1, p. 41-48, 2005.
- 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.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades físicas e químicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.
- BARROSO, D. G. Efeito da adubação em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiaenifolia* Benth.) e aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.) produzidas em substrato constituído por resíduos agroindustriais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 433-441, 1998.
- CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G.M.; AMARAL, J.F.T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.
- FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 278-282, 2005.
- GOMES, J. M.; SILVA, A. R. Os substratos e sua influência na qualidade de mudas. In: BARBOSA, J. G.; MARTINEZ, H. E. P.; PEDROSA, M. W.; SEDIYAMA, M. A. N. (Ed.) **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa: UFV, 2004. p.190-225.
- 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, n. 6, p. 1069-1076, 2004.
- GRASSI FILHO, H.; SANTOS, C. H. Importância da relação entre os fatores hídricos e fisiológicos no desenvolvimento de plantas cultivadas em substratos. In: BARBOSA, J. G.; MARTINEZ, H. E. P.; PEDROSA, M. W.; SEDIYAMA, M. A. N. (Ed.) **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa: UFV, 2004. p.78-91.

KÄMPF, A. Evolução e perspectivas do crescimento do uso de substratos no Brasil. In: BARBOSA, J. G.; MARTINEZ, H. E. P.; PEDROSA, M. W.; SEDIYAMA, M. A. N.(Ed.) **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa: UFV, 2004. p.03-10.

LELES, P. S. S.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G. Comportamento de mudas de *Hymenaea courbaril* L. var. *Stibocarpa* (Haime) e *Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr. produzidas sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 11-19, 1998.

MORAES NETO, S. P.; GONÇALVES, J. L. M.; TAKAKI, M. Produção de mudas de seis espécies arbóreas, que ocorrem nos domínios da floresta atlântica, com diferentes substratos de cultivo e níveis de luminosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p. 277-287, 2001.

MORAIS, S. M. J.; ATAIDE, P. R. V.; GARCIA, D. C.; KURTZ, F. C.; OLIVEIRA, O. S.; WAZLAWICK, L. F. Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos. **Sanare**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 44-49, 1997.

MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S.; BARROSO, D. G. Resíduos agroindustriais como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 709-712, 2000.

PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

SABONARO, D. Z. **Utilização de composto de lixo urbano na produção de mudas de espécies arbóreas nativas com dois níveis de irrigação**. 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), inoculadas com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*, em substrato agro industrial. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 519-523, 2002.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KAMPF, 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.

SERRANO, L. A. L.; SILVA, C. M. M.; OGLIARI, J.; CARVALHO, A. J. C.; MARINHO, C. S.; DETMANN, E. Utilização de substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira para produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 487-491, 2006.

SOUZA, F. X. **Materiais para formulação de substratos na produção de mudas e no cultivo de plantas envasadas**. 2001. Fortaleza: Embrapa - CNPAT, 21 p. (Documentos, 43).

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

TRINDADE, A. V.; MUCHOVEJ, R. M. C.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. B. Crescimento e nutrição de mudas de *Eucalyptus grandis* em resposta a composto orgânico ou adubação mineral. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 278, p. 181-194, 2001.

WACHOWICZ, C. M. **Desenvolvimento e nutrição mineral de *Gypsophila paniculata* L. cultivada em substratos com lodo de esgoto alcalinizado e adubação fosfatada**. 2002. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

## **CAPÍTULO 2**

### **USO DE BIOSSÓLIDO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS E EFEITO NO PROCESSO DE EMERGÊNCIA E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.).**

## RESUMO

REZENDE, JOSIELLE SANTOS. **Uso de biossólido na composição de substratos e efeito no processo de emergência e desenvolvimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2010. 28 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia).<sup>1</sup>

A potencialidade do uso do biossólido na agricultura se baseia na presença de matéria orgânica e de nutrientes essenciais às plantas, em sua composição. Esse resíduo, quando não aplicado diretamente no solo, pode ser utilizado na composição de substratos agrícolas para a produção de mudas de diversas espécies. Sendo assim, os objetivos do trabalho foram avaliar os atributos físicos e químicos de substratos contendo biossólido misturado ao substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita e avaliar o efeito de doses crescentes de biossólido na emergência e desenvolvimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivar Helio 250. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições. O primeiro tratamento, considerado controle, foi constituído pela mistura de substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita na proporção 1:1. Os demais tratamentos foram compostos por doses crescentes do biossólido (20, 40 e 60%) em mistura ao substrato do tratamento controle. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia-MG, utilizando-se bandejas multicelulares, sendo cada unidade experimental constituída por vinte e quatro células. As avaliações do processo de emergência foram realizadas a cada vinte e quatro horas, adotando-se como critério de emergência a exposição de qualquer parte da plântula na superfície do substrato. O crescimento foi avaliado mensurando-se a altura da parte aérea, o comprimento do sistema radicular e a massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas. O substrato contendo 20% de biossólido apresentou características químicas e físicas adequadas para o desenvolvimento das plantas, embora o menor tempo médio ( $\bar{t} = 3,46$  dias), a menor incerteza ( $I = 1,38$  bits), a maior velocidade ( $\bar{v} = 0,88 \text{ dia}^{-1}$ ;  $VE = 7,15 \text{ plântulas dia}^{-1}$ ) e a maior sincronia ( $Z = 0,42$ ) de emergência, tenham sido obtidos no tratamento controle. O aumento do tempo de emergência foi proporcional ao aumento das doses de biossólido no substrato, concluindo-se que a adição de doses superiores a 20% de biossólido no substrato de cultivo, restringe significativamente o processo de emergência das plântulas de girassol.

Palavras-chave: lodo de esgoto; substrato alternativo; *Helianthus annuus* L.

---

<sup>1</sup>Orientador: Marli Aparecida Ranal – UFU.

## ABSTRACT

REZENDE, JOSIELLE SANTOS. **Use of organic biosolid in the composition of substrates and effect in the emergence process and development of sunflower (*Helianthus annuus* L.). seedlings.** 2010. 28 p. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Plant Technology – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

The potential use of biosolid in agriculture is based on the presence of organic matter and essential nutrients for the plants in its composition. This residue, when not applied directly to the soil, can be used in the composition of agricultural substrates for seedling production. Therefore, this study evaluated the physical and chemical attributes of substrates containing biosolid mixed into the commercial substrate Plantmax<sup>®</sup> and vermiculite and evaluate the effect of increasing biosolid doses in the emergence and development of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivar Helio 250 seedlings. The experimental design was completely randomized, with four treatments and five repetitions. The first treatment, considered as the control, consisted of the mixture of Plantmax<sup>®</sup> and vermiculite in the proportion 1:1. The other treatments consisted of increasing doses (20, 40 or 60%) of the biosolid mixed into the substrate of the control treatment. The experiment was done in the greenhouse of the Instituto de Ciências Agrárias of Universidade Federal de Uberlândia (UFU), in the city of Uberlândia-MG, using multicelled trays, and each experimental unit consisted of twenty four cells. The evaluations of the emergence process were done every twenty four hours, adopting as emergence criterion the exposition of any seedling part on the substrate surface. Growth was evaluated by measuring the above ground height, the length of the root system and the dry matter mass of both parts. The substrate containing 20% biosolid presented adequate chemical and physical characteristics for sunflower development, although the minimum average time ( $\bar{t} = 3.46$  days), the least uncertainty ( $I = 1.38$  bits), the greatest velocity ( $\bar{v} = 0.88 \text{ day}^{-1}$ ;  $VE = 7.15 \text{ seedlings day}^{-1}$ ) and the greatest synchrony ( $Z = 0.42$ ) of emergence were obtained by the control treatment. The increase in emergence time was proportional to the increasing biosolid doses to the substrate. It can be concluded that the addition of more than 20% biosolid in the growth substrate significantly restricts the emergence process of sunflower seedlings.

Keywords: sewage sludge; alternative substrate; *Helianthus annuus* L.

---

<sup>1</sup>Supervisor: Marli Aparecida Ranal – UFU.

## 1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto corresponde a um subproduto das estações de tratamento de esgotos (ETE) de cidades e indústrias, o qual, após devidamente tratado e seco, passa a ser denominado biossólido (MELO et al., 2001). A composição química do biossólido é muito variável, pois depende da procedência do esgoto e do tipo de tratamento que o resíduo recebe na ETE (DIAS, 2005).

A crescente demanda da sociedade por melhores condições ambientais leva à ampliação dos serviços de saneamento e a um expressivo incremento na produção de biossólido em todo o mundo (SOARES, 2005). Com o aumento na produção desse resíduo e diante dos problemas ambientais que podem ser causados por seu acúmulo, torna-se cada vez mais necessário utilizá-lo em outras atividades, de forma econômica e sem agressões ao meio ambiente (VIEIRA; CARDOSO, 2003).

Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final dividida entre incineração, disposição em aterros sanitários e uso agrícola (PROSAB, 2001). A potencialidade do uso do lodo de esgoto na agricultura se baseia na presença de matéria orgânica e de nutrientes essenciais às plantas em sua composição. Esses componentes provocam alterações positivas nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tornando-o mais propício à atividade agrícola. Desta forma, a reciclagem agrícola do biossólido vem se apresentando como a alternativa de maior retorno ambiental e econômico para sua disposição final, proporcionando também economia de energia e recursos naturais à medida que diminui o uso de fertilizantes minerais (DIAS, 2005).

Entretanto, existem algumas limitações para o uso do biossólido na agricultura. A Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente.

Como o uso que se faz do girassol (*Helianthus annuus* L.) é dos frutos (cipselas), esta cultura pode ser uma alternativa interessante para o uso de biossólido na agricultura. A cultura do girassol vem se destacando cada vez mais como fonte de energia renovável em função da crescente demanda dos setores industrial e comercial por fontes viáveis de biodiesel, o que a torna em importante alternativa econômica nas regiões produtoras de grãos (CARVALHO, 2003).

Considerando a importância da cultura do girassol na agricultura brasileira, a crescente demanda por serviços de saneamento básico, o que consequentemente leva a um expressivo aumento na produção de biossólido e o constante interesse agrônomo de se dispor de uma fonte de nutrientes e matéria orgânica de menor custo, os objetivos do presente trabalho foram (1) avaliar os atributos físicos e químicos de substratos contendo biossólido misturado ao substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita, (2) avaliar o efeito de doses crescentes de biossólido na emergência e desenvolvimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivar Helio 250 e, (3) determinar a melhor proporção do biossólido para, em mistura com Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita, constituir um meio de crescimento adequado para o desenvolvimento das plantas de girassol.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Instalação do experimento**

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia-MG, no período de 30 de abril a 14 de maio de 2008, utilizando-se a cultivar de girassol Helio 250.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições. O primeiro tratamento, considerado controle, foi constituído pela mistura na proporção 1:1 do substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita (100% PV). Os outros três tratamentos foram compostos por doses crescentes do biossólido (20, 40 e 60%) em mistura ao substrato do tratamento controle.

O biossólido utilizado foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgotos Aclimação da cidade de Uberlândia, estabilizado por meio de um processo anaeróbio segundo metodologia descrita por Maldonado (2004). Isso garantiu a obtenção de um material isento de patógenos humanos, atendendo assim aos critérios mínimos exigidos pela Resolução n° 375 do CONAMA, para o uso desse resíduo em áreas agrícolas. Foram realizadas análises físico-químicas dos substratos utilizados nos tratamentos, no Laboratório de Análises de Solo e Planta do Instituto Agrônomo de Campinas, com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização desses substratos como meio de crescimento das plantas.

A semeadura foi realizada colocando-se uma cipsela de girassol por célula, a 1 cm de profundidade, no dia 30 de abril de 2008, em bandejas multicelulares de poliestireno expandido com 128 células piramidais, sendo cada unidade experimental constituída por 24 células. As bandejas foram mantidas sob condições de casa de vegetação e a irrigação foi efetuada manualmente, sendo os intervalos de irrigação controlados conforme as condições ambientais prevalentes. As médias das temperaturas máxima e mínima durante o período experimental foram de  $33,60 \pm 3,18$  e  $16,63 \pm 1,98^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, e a irradiância média foi de  $155,90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm 49,10$  (média  $\pm$  desvio padrão).

### **2.2 Características avaliadas**

### 2.2.1 Medidas do processo de emergência

As avaliações do processo de emergência foram realizadas a cada 24 horas, adotando-se como critério a exposição de qualquer parte da plântula na superfície do substrato. Foi avaliado o tempo para a primeira ( $t_i$ ) e última ( $t_f$ ) emergência de plântulas, expresso em dias. O tempo final ( $t_f$ ) foi determinado após a estabilização dos eventos. Por segurança, após a última emergência, o experimento continuou sendo avaliado por tempo igual ao maior intervalo entre dois registros.

Foram calculadas ainda as **porcentagens de emergência ( $E$ )**; o **tempo médio de emergência**, calculado pela expressão proposta por Labouriau (1983),  $\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$ , onde

$t_i$ : tempo entre o início do experimento e a  $i$ -ésima observação (dia);  $n_i$ : número de plântulas que emergem no tempo  $t_i$ ;  $k$ : último tempo de emergência de plântulas; o **coeficiente de variação do tempo ( $CV_t$ )**, proposto por Ranal e Santana (2006), que mede o grau de dispersão da emergência ao redor do tempo médio, sendo calculado a partir do tempo médio e do desvio padrão do tempo, usando a expressão  $CV_t = (s_t / \bar{t})100$ , onde  $s_t$ : desvio padrão do tempo e  $\bar{t}$ : tempo médio de emergência. A

variância do tempo foi calculada pela expressão  $s_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (t_i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}$ , na qual  $\bar{t}$ : tempo

médio de emergência;  $t_i$ : tempo entre o início do experimento e a  $i$ -ésima (dia) observação;  $n_i$ : número de plântulas que emergem no tempo  $t_i$ ;  $k$ : último tempo de emergência de plântulas. O desvio padrão foi obtido pela expressão  $s_t = \sqrt{s_t^2}$ , onde  $s_t^2$ : variância do tempo de emergência; a **velocidade média de emergência ( $\bar{v}$ )**

(LABOURIAU, 1970), calculada como  $\bar{v} = \frac{1}{\bar{t}}$ , onde  $\bar{t}$ : tempo médio de emergência; a

**incerteza ( $I$ )**, proposta por Labouriau e Valadares (1976) para analisar a incerteza associada à distribuição da frequência relativa de emergência como  $I = -\sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i$ ,

sendo  $f_i = n_i / \sum_{i=1}^k n_i$ , onde  $f_i$ : frequência relativa de emergência,  $n_i$ : número de plântulas emergidas no dia  $i$  e  $k$ : último dia de observação; a **sincronia (Z)** do processo de emergência, calculada pela expressão  $Z = \sum C_{n_i,2} / N$ , sendo  $C_{n_i,2} = n_i(n_i - 1) / 2$  e  $N = \sum n_i(\sum n_i - 1) / 2$ , onde  $C_{n_i,2}$ : combinação de plântulas emergidas no tempo  $i$ , duas a duas e  $n_i$ : número de plântulas emergidas no tempo  $i$  (RANAL; SANTANA, 2006) e a **velocidade de emergência (VE)**, proposta por Maguire (1962), cuja expressão matemática associa número de plântulas emergidas e tempo, sendo dada pela expressão

$$VE = \frac{\text{número de plântulas emergidas}}{\text{dias até a primeira contagem}} + \dots + \frac{\text{número de plântulas emergidas}}{\text{dias até a última contagem}}.$$

Para cada tratamento foram gerados gráficos das distribuições das frequências relativas de emergência em relação ao tempo, como um indicativo da distribuição da emergência e da homogeneidade do processo.

### 2.2.2 Crescimento das plantas

O crescimento foi avaliado com base em duas plantas de cada unidade experimental, mensurando-se a altura da parte aérea (distância da superfície do substrato até o meristema apical caulinar), o comprimento do sistema radicular (distância da base do caule até a extremidade da raiz) e a massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. As avaliações foram realizadas 15 dias após a semeadura, período posterior ao registro da última emergência, utilizando-se paquímetro manual de precisão 0,05 mm e balança analítica.

Após a medição, as duas plantas de cada unidade experimental foram separadas em raiz e parte aérea, sendo acondicionadas em sacos de papel previamente secos em estufa e de massa conhecida. A secagem foi feita a 70°C até massa constante.

### 2.3 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk para a normalidade dos resíduos da ANOVA e de Levene para a homogeneidade entre as variâncias. Quando essas duas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise

de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. A falta de normalidade ou homogeneidade (ou ambas) levou à realização de testes não-paramétricos, como o teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn para comparações binárias, a 0,05 de significância.

Os resultados do processo de emergência e do crescimento das plantas foram submetidos a análises de regressão, a 0,05 de significância, para comparar os efeitos das doses de biossólido sobre as características avaliadas, testando-se os modelos linear e quadrático, sendo escolhido para explicar os resultados o modelo significativo e que apresentou o maior valor para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análises físico-químicas dos substratos

As propriedades químicas, geralmente utilizadas internacionalmente para a caracterização de um substrato são o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a salinidade e o teor percentual de matéria orgânica nele presente. Entre as propriedades físicas mais utilizadas, destacam-se a densidade, a porosidade, o espaço de aeração e a capacidade de retenção de água do substrato (SCHMITZ et al., 2002).

A condutividade elétrica (CE) indica a concentração de sais ionizados na solução e auxilia na estimativa da salinidade do substrato (SODRÉ et al., 2005). O aumento da salinidade não é desejável, pois a alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, uma vez que reduz o potencial osmótico, retendo água, além da ação dos íons sobre o protoplasma das células vegetais (AMORIM et al., 2002). As plantas variam em sua tolerância à salinidade e ao estresse hídrico. Para Cavins et al. (2000), um substrato com condutividade elétrica entre 2,0 e 3,5 dS m<sup>-1</sup> em extrato saturado apresenta salinidade adequada para a maioria dos cultivos, não devendo esta exceder 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

Os teores de cloreto e sódio no substrato contendo a maior dose de biossólido testado no presente trabalho, foram aproximadamente cinco (227,9 mg L<sup>-1</sup>) e 10 vezes (128,2 mg L<sup>-1</sup>) maiores, respectivamente, que os teores de cloreto (41,2 mg L<sup>-1</sup>) e sódio (10,5 mg L<sup>-1</sup>) observados no tratamento controle (Tabela 1). Por meio da análise desses dados, observa-se que o biossólido utilizado contém expressiva quantidade de sais que contribuíram para o acréscimo da condutividade elétrica do meio de cultivo.

TABELA 1. Condutividade elétrica (CE) e teores de sódio e cloreto dos substratos de cultivo formulados com diferentes porcentagens de biossólido.

| Tratamento                                   | <sup>1</sup> CE    | Na <sup>+</sup>    | Cloreto |
|----------------------------------------------|--------------------|--------------------|---------|
|                                              | dS m <sup>-1</sup> | mg L <sup>-1</sup> |         |
| 100% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita (PV) | 1,1                | 10,5               | 41,2    |
| 80% PV + 20% biossólido                      | 3,3                | 54,5               | 68,2    |
| 60% PV + 40% biossólido                      | 4,2                | 81,1               | 103,3   |
| 40% PV + 60% biossólido                      | 5,1                | 128,2              | 227,9   |

<sup>1</sup>Método de extração: 1:1,5 (Holanda). Método de extração: Na e cloreto: ICP-OES.

A condutividade elétrica dos substratos avaliados no presente trabalho aumentou em função do aumento das doses de biossólido devido à alta concentração de sais na constituição desse resíduo. Observou-se que, com exceção do tratamento controle composto pelo substrato comercial Plantmax® e vermiculita e do tratamento com a menor dose de biossólido, os demais apresentaram condutividade elétrica acima do considerado ideal, indicando excesso de sais solúveis nesses substratos (Tabela 1). Desta forma, acredita-se que a condutividade elétrica foi um fator que limitou o desenvolvimento das plantas de girassol.

Guerrini e Trigueiro (2004) estudando os atributos físicos e químicos de substratos com diferentes doses de biossólido, observaram que a maioria dos substratos que continham esse resíduo apresentaram condutividade elétrica acima do considerado ideal. Ghini et al. (2002) e Boeira et al. (2002) também relatam aumento da condutividade elétrica devido à incorporação de biossólido no solo de cultivo.

O pH dos substratos avaliados no presente trabalho, como pode ser observado na Tabela 2, não teve grandes variações e todos os substratos apresentaram valores mínimos superiores a 5,0, valor considerado ideal, segundo Baumgarten (2002), para substratos comerciais. Resultados semelhantes foram encontrados por Faustino et al. (2005) que, avaliando a viabilidade do uso de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam., encontraram valores de pH entre 5,4 e 5,8 nos substratos que continham lodo. Cunha et al. (2006) também encontraram valores de pH entre 5,1 e 5,8 ao avaliarem o desenvolvimento de mudas de *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis* em substratos contendo lodo de esgoto.

TABELA 2. pH e teores de macronutrientes dos substratos de cultivo formulados com diferentes porcentagens de biossólido.

| Tratamento                              | pH  | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | P    | K     | S     | Ca    | Mg    |
|-----------------------------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                         |     | mgL <sup>-1</sup>              |                                |      |       |       |       |       |
| 100% Plantmax®<br>+<br>Vermiculita (PV) | 5,0 | 42,6                           | 3,7                            | 0,6  | 50,5  | 101,9 | 37,0  | 81,3  |
| 80% PV<br>+<br>20% biossólido           | 5,4 | 32,6                           | 120,7                          | 0,7  | 140,7 | 486,8 | 101,9 | 127,3 |
| 60% PV<br>+<br>40% biossólido           | 5,6 | 23,7                           | 174,7                          | 1,9  | 183,7 | 669,7 | 118,9 | 119,7 |
| 40% PV<br>+<br>60% biossólido           | 5,1 | 11,8                           | 195,4                          | 12,5 | 237,1 | 787,5 | 173,8 | 106,7 |

<sup>1</sup> Método de extração: 1:1,5 (Holanda). Métodos de determinação: N-(amoniacoal e nitrato): destilação; K, Ca, Mg, P, S: ICP-OES

Com relação ao pH, os substratos devem apresentar valores dentro de uma faixa considerada ideal para o cultivo de plantas, pois valores inadequados, além de influenciarem na disponibilidade de nutrientes, estão relacionados a desequilíbrios fisiológicos nas espécies vegetais. A faixa de pH ideal para substratos formulados com materiais e misturas de base orgânica é de 5,2 a 5,5, e de 6,0 a 7,0 para substratos de base mineral (KÄMPF, 2000).

O nitrogênio é o mais valioso constituinte do lodo de esgoto para seu uso na produção de mudas, sendo que a recomendação da quantidade de lodo a ser aplicada é normalmente feita tomando-se como base os teores desse elemento no lodo e os requerimentos da cultura para este nutriente (SANEPAR, 1997).

Analisando os teores de macronutrientes, observa-se que houve aumento na concentração destes nos substratos contendo biossólido, com exceção do nitrogênio na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), cujo teor foi maior no substrato controle, composto por Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita (Tabela 2). Pôde-se observar que o substrato à base de Plantmax<sup>®</sup> fornece nitrogênio (N) em maior concentração na forma de nitrato, sendo que 92% do N no substrato controle se apresentou nesta forma e apenas 8% na forma N amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). Em contraposição, nos substratos contendo biossólido o nitrogênio apresentou-se em maior concentração na forma amoniacal, observando-se diminuição no teor de N nitrato à medida que se aumentou as doses de biossólido no substrato. Trabalhos revelam que os teores de N amoniacal são cerca de quinze vezes maiores que os teores de N nitrato em biossólidos aplicados em solo cultivado com milho (VIEIRA; CARDOSO, 2003). Maior concentração de nitrogênio na forma amoniacal também foi observada em biossólidos utilizados no cultivo da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) (MALDONADO, 2005).

De acordo com Tsutiya (2001), o biossólido contém cerca de 1 a 6% de nitrogênio (base seca) na forma orgânica e inorgânica, sendo esta última composta pelo nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e nítrico na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Em geral, como são ricos em nitrogênio, os biossólidos podem ser utilizados como fertilizantes nitrogenados com grande eficiência. Segundo o autor, para os lodos digeridos anaerobicamente, como o lodo utilizado no presente trabalho, cerca de 30 a 60% do total de nitrogênio está presente na forma N amoniacal.

São as formas inorgânicas de nitrogênio que estão prontamente disponíveis para os vegetais, sendo que a disponibilidade desse elemento para as plantas depende da taxa de mineralização da matéria orgânica, que é governada pela quantidade de N disponível

na mesma e também pela presença de microrganismos, umidade e outras condições que tornam o processo mais rápido e favorável (KIEHL, 1999). O nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) apresenta a grande vantagem de ser retido pelas micelas do solo carregadas negativamente. Desta forma, a perda do elemento por lixiviação é menor, sendo o nitrogênio amoniacal um dos produtos da decomposição da matéria orgânica que é significativamente absorvido pelas plantas (ANDREOLI et al., 2001). Ao contrário, o íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é um dos mais móveis e está sujeito à lixiviação e à movimentação junto aos fluxos de água no solo (ARMSTRONG, 2006).

No lodo, a concentração de fósforo é menor que a de nitrogênio, mas as mudas necessitam de quantidades menores deste elemento em relação ao nitrogênio para seu desenvolvimento (FAUSTINO et al., 2005). No presente trabalho, o teor de fósforo do substrato controle foi menor, quando comparado com os teores dos substratos contendo biossólido, nos quais se observou um acréscimo diretamente proporcional ao aumento das doses do resíduo. No substrato contendo a maior dose de biossólido o teor de fósforo foi aproximadamente vinte vezes maior que o teor desse elemento no substrato controle, evidenciando a capacidade do biossólido em fornecer fósforo ao meio de cultivo (Tabela 2). Resultados semelhantes foram relatados por Guerrini e Trigueiro (2004) e Faustino et al. (2005) que, estudando os atributos químicos de substratos com diferentes doses de biossólido, observaram aumento dos teores de fósforo à medida que se aumentava a dose de biossólido no substrato.

Conforme os dados apresentados na Tabela 2, os teores de potássio, assim como os teores de fósforo, aumentaram à medida que se aumentou as doses de biossólido no substrato, sendo que no substrato contendo a maior dose de biossólido o teor de K foi de  $237,1 \text{ mg L}^{-1}$ , valor quatro vezes superior ao encontrado no substrato controle, no qual o teor do elemento foi de  $50,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Em trabalho realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam., observou-se aumento dos teores desse nutriente nos substratos contendo biossólido (FAUSTINO et al., 2005). Esses resultados diferem dos encontrados por Guerrini e Trigueiro (2004) que, estudando os atributos químicos de substratos com diferentes doses de biossólido, observaram redução dos teores de potássio à medida que se aumentava as doses de biossólido no substrato.

Nos biossólidos, a concentração de potássio geralmente é muito baixa ( $\leq 15 \text{ mg dm}^{-3}$ ), pois esse elemento é bastante solúvel em água, o que acarreta perda desse nutriente na solução. Entretanto, mesmo apresentando baixos teores de potássio, 100%

deste nutriente é considerado assimilável pelas plantas (TSUTIYA, 2001). Utilizando diferentes espécies vegetais, Tsutiya (2001), Oliveira et al. (1995), Silva et al. (2001) e Melo e Marques (2000) concluíram que lodos de esgoto não são boas fontes de potássio para a maioria das culturas de interesse agrônomo. Portanto, sua utilização, seja na composição de substratos ou como fertilizante na agricultura, fica dependente da complementação com outras fontes desse nutriente.

Segundo Andreoli et al. (1999), dos três macronutrientes secundários, cálcio, magnésio e enxofre, o primeiro está presente nos lodos essencialmente na forma mineral e as aplicações desse resíduo podem suprir as necessidades de magnésio e enxofre para a maioria das culturas agrícolas. No presente trabalho os teores desses três macronutrientes foram menores no substrato controle e maiores nos substratos que continham biossólido (Tabela 2). Resultados semelhantes foram relatados por Guerrini e Trigueiro (2004) e Faustino et al. (2005) que observaram aumentos nos teores desses macronutrientes nos substratos compostos por biossólido.

Quando o lodo é aplicado em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio, geralmente as necessidades de micronutrientes das plantas também são supridas (TSUTIYA, 2001). Os teores de micronutrientes, menores no substrato controle, aumentaram à medida que se aumentou as doses de biossólido nos substratos, exceto para o boro que manteve teores entre 0,1 e 0,2 mg L<sup>-1</sup> em todos os substratos, conforme pode ser observado na Tabela 3. Aumentos significativos nos teores de sódio, zinco, cobre, manganês e ferro foram observados em substratos compostos por biossólido e teores menores desses micronutrientes foram detectados em substratos que não continham esse resíduo (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

TABELA 3. Teores de micronutrientes dos substratos de cultivo formulados com diferentes porcentagens de biossólido.

| Tratamento                                   | B                  | Cu   | Fe   | Mn  | Zn   |
|----------------------------------------------|--------------------|------|------|-----|------|
|                                              | mg L <sup>-1</sup> |      |      |     |      |
| 100% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita (PV) | 0,1                | 0,01 | 0,1  | 0,5 | 0,04 |
| 80% PV + 20% biossólido                      | 0,2                | 0,2  | 0,3  | 1,3 | 1,3  |
| 60% PV + 40% biossólido                      | 0,1                | 0,3  | 2,1  | 1,4 | 2,1  |
| 40% PV + 60% biossólido                      | 0,2                | 1,7  | 34,7 | 2,1 | 9,9  |

Método de extração: B, Cu, Fe, Mn, Zn: ICP-OES.

A principal limitação a ser observada durante a avaliação da possibilidade da utilização de biossólidos em áreas agrícolas se refere à presença de poluentes, sendo que biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não devem ser destinados ao uso agrícola. Os metais pesados exercem efeitos negativos no crescimento das plantas e afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo, inibindo a decomposição do material orgânico, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação (TSUTIYA, 2001). Dessa forma, a utilização de biossólidos na agricultura está condicionada aos limites máximos de metais estabelecidos pela legislação de cada país para uso na agricultura. No Brasil, estes limites são apresentados na Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006, baseada na Norma Norte Americana USEPA 40 CFR Part 503 (1997).

As quantidades de metais pesados oriundos do biossólido utilizado no presente trabalho são muito baixas (Tabela 4), em comparação com os limites de metais pesados adotados pela Resolução CONAMA nº 375, exceto para o níquel que apresentou teores superiores aos estabelecidos por essa Resolução. É importante destacar que o níquel é um dos metais que vêm ocorrendo em altas concentrações nos biossólidos brasileiros (OLIVEIRA, 1995). Todos os substratos avaliados apresentaram teores superiores desse elemento, sendo importante salientar que o teor superior também foi observado no substrato controle, composto pelo substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> mais vermiculita. O teor de níquel no substrato controle foi de 609,8 mg Kg<sup>-1</sup>, valor bem próximo do registrado para o substrato contendo 20% de biossólido que foi de 651,2 mg Kg<sup>-1</sup> (Tabela 4).

TABELA 4. Teores de metais pesados dos substratos de cultivo formulados com diferentes porcentagens de biossólido e limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/06.

| Tratamento                                      | Cd                  | Cr    | Ni    | Pb    |
|-------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|
|                                                 | mg Kg <sup>-1</sup> |       |       |       |
| 100% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita (PV)    | 0,6                 | 438,2 | 609,8 | 6,8   |
| 80% PV + 20% biossólido                         | 2,1                 | 347,5 | 651,2 | 43,2  |
| 60% PV + 40% biossólido                         | 2,8                 | 373,3 | 747,9 | 55,7  |
| 40% PV + 60% biossólido                         | 4,7                 | 208,3 | 754,2 | 105,4 |
| Limites de metais pesados estabelecidos por lei | 39                  | 1000  | 420   | 300   |

Teor Total: Cd, Cr, Ni, Pb. Extração nítrico-perclórico e determinação: ICP-OES.

Alguns fertilizantes utilizados na agricultura, tanto orgânicos como inorgânicos, possuem metais pesados em sua composição. A presença desses elementos no solo ou em substratos não significa que estes estarão disponíveis para as plantas. A quantidade de metal pesado biodisponível para absorção pelas raízes das plantas é somente uma pequena porcentagem do conteúdo total aplicado (PADOVANI, 2006). O fato da presença de metais pesados no solo não causar danos às plantas e animais, pode estar associado à formação de complexos estáveis com ácidos húmicos ou à formação de óxidos e hidróxidos, o que causa redução na disponibilidade desses elementos tóxicos (MIYAZAWA, et al., 1999).

A matéria orgânica é um componente fundamental dos substratos, cuja finalidade básica é aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes para as mudas (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004). Um dos principais efeitos da matéria orgânica sobre os atributos físicos do meio de cultivo, está associado ao grau de agregação, que conseqüentemente, afeta a densidade, porosidade, aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (BARBOSA et al., 2002). Resultados de pesquisas indicam que o lodo de esgoto, além de ser um resíduo rico em nitrogênio, fósforo e micronutrientes, apresenta alta concentração de matéria orgânica (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006).

Conforme pode ser observado na Tabela 5, os teores de matéria orgânica são maiores nos substratos contendo biossólido, o que caracteriza esse resíduo como uma fonte de matéria orgânica. A utilização do lodo de esgoto higienizado como insumo na produção de mudas de *Senna siamea* mostrou-se uma opção viável para a produção de mudas, devido ao aporte significativo de nutrientes e matéria orgânica que o lodo confere, a um custo relativamente reduzido (FAUSTINO et al., 2005).

Vários autores, dentre eles Secco (2007), relatam correlação positiva entre o aumento dos teores de matéria orgânica e o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC). Esse efeito não foi observado no presente trabalho, no qual ocorreu redução da CTC à medida que aumentaram os teores de matéria orgânica fornecidos pelo biossólido. Porém, todos os substratos apresentaram CTC superior à faixa ideal de 120 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> estabelecida por Penningsfeld (1983) para o cultivo em recipientes.

TABELA 5. Caracterização física, capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de matéria orgânica (MO) dos substratos de cultivo formulados com diferentes porcentagens de biossólido.

| Tratamento                                          | CTC <sup>1</sup>                   | %MO <sup>2</sup> | %cinza <sup>2</sup> | CRA 10 <sup>3</sup> | Porosidade total <sup>2</sup> | Volume de ar <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                                                     | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | %m/m             |                     | %v/v                |                               |                           |
| 100% Plantmax <sup>®</sup><br>+<br>Vermiculita (PV) | 353,9                              | 39,9             | 60,1                | 60,7                | 82,4                          | 21,7                      |
| 80% PV<br>+<br>20% biossólido                       | 343,9                              | 47,8             | 52,2                | 57,6                | 80,0                          | 22,4                      |
| 60% PV<br>+<br>40% biossólido                       | 329,3                              | 53,5             | 46,5                | 61,4                | 77,1                          | 15,8                      |
| 40% PV<br>+<br>60% biossólido                       | 317,7                              | 59,1             | 40,9                | 67,8                | 72,2                          | 4,4                       |

<sup>1</sup>Capacidade de troca catiônica: Método descrito na IN 17 de 21/05/2007. <sup>2</sup>% de matéria orgânica (MO), % de cinzas, porosidade total e volume de ar, calculados pelo método European Standard: EM 13041 determination of physical properties. <sup>3</sup>Capacidade de retenção de água (CRA10): Mesa de tensão a 10 cm de coluna d'água (10kPa). Método descrito na IN 17 de 21/05/2007.

A avaliação da qualidade de um substrato baseia-se na sua caracterização física e química. As propriedades físicas são de grande importância, uma vez que após o acondicionamento do substrato no recipiente, torna-se bastante difícil alterá-las (VERDONCK, 1983). Entre as características físicas importantes na determinação da qualidade de um substrato, destacam-se a densidade, a porosidade total, o espaço de aeração e a retenção de água (BOSA et al., 2003).

Os caracteres físicos dos substratos avaliados estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que à medida que se eleva a dose de biossólido, ocorre aumento da capacidade de retenção de água, diminuição da porosidade total e do volume de ar dos substratos. Trabalhos demonstram que o aumento da quantidade de biossólido nas misturas ocasiona diminuição na porosidade total, mesmo com a elevação proporcionada em microporosidade, e aumento da capacidade de retenção de água (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

O substrato deve ser suficientemente poroso a fim de permitir trocas gasosas eficientes, favorecendo a respiração das raízes e a atividade dos microorganismos do meio. Essa característica é importante pois o pequeno volume da embalagem leva a uma alta concentração de raízes exigindo elevado suprimento de oxigênio e rápida remoção

do gás carbônico (KÄMPF, 2000). Uma outra característica importante dos substratos é a capacidade de retenção de água, descrita por Kämpf (2000) como sendo o máximo volume de água retido pelo substrato no recipiente, após drenagem natural. Em substratos com partículas muito pequenas, como a matéria orgânica bem humificada, a dificuldade de drenagem é considerável (PICOLOTTO et al., 2007).

O substrato ideal deve ter de 75 a 85% de seu volume em poros (KÄMPF, 2000). Dessa forma, os valores atribuídos à porosidade total, avaliada no presente trabalho, comparados com os valores obtidos para o substrato controle e, segundo informações de Kämpf (2000), permitiram considerar mais adequados para o desenvolvimento das plantas de girassol os substratos com doses de até 40% de biossólido.

Acredita-se que a porosidade total e o volume de ar dos substratos contendo doses superiores a 20% de biossólido foram fatores que limitaram o desenvolvimento das plantas de girassol. O volume de ar do meio de cultivo diminuiu em função do aumento das doses de biossólido, sendo que no tratamento contendo a menor dose do resíduo o volume de ar foi igual a 22,4% v/v e no tratamento com a maior quantidade de biossólido esse valor foi marcadamente reduzido para 4,4% v/v (Tabela 5). Certamente esse fator contribuiu para o desencadeamento do fenômeno de hipoxia, que será discutido posteriormente, prejudicando assim o desenvolvimento das plantas.

A adição de biossólido no substrato de cultivo proporcionou alterações químicas desejáveis devido ao fornecimento de macro e micronutrientes em concentrações benéficas. Em contrapartida, a porosidade e o volume de ar, atributos físicos importantes dentro do sistema de produção de espécies vegetais em recipientes, foram negativamente afetados devido a redução do número de poros e volume de ar em função do aumento das doses de biossólido no substrato de cultivo.

Em substratos com altas doses de biossólidos, observa-se alta densidade e, conseqüentemente, redução da proporção de macroporos, fato este que dificulta a aeração dos substratos, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

### **3.2 Medidas do processo de emergência de plântulas**

Os resultados obtidos mostraram que há variabilidade suficiente entre os tratamentos para gerar diferenças significativas a 0,05 de significância, para quase todas

as características do processo de emergência (Tabelas 6,7 e 8). Das medidas avaliadas, apenas o tempo para a primeira emergência ( $t_i$ ) não mostrou diferença significativa entre os tratamentos. O  $t_i$  ocorreu entre 2 e 2,4 dias após a semeadura e prolongou-se por um período entre 4,8 e 12,4 dias ( $t_f$ ).

TABELA 6. Medidas de tempo do processo de emergência de plântulas de *Helianthus annuus* L. cultivar Helio 250 submetidas a diferentes porcentagens de biossólido no substrato de cultivo.

| Tratamentos                     | $t_i$ (dia)    | $t_f$ (dia)            | $\bar{t}$ (dia)        | CVt (%)                |
|---------------------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 100% Plantmax®+vermiculita (PV) | 2,2 ± 0,4472 a | 4,8 ± 0,4472 a         | 3,46 ± 0,1795 a        | 19,5522 ± 3,76548 a    |
| 80% PV + 20% de biossólido      | 2,4 ± 0,5477 a | 10,4 ± 2,7018 b        | 4,69 ± 0,3239 ab       | 41,1596 ± 14,6823 b    |
| 60% PV + 40% de biossólido      | 2,2 ± 0,4472 a | 11,8 ± 1,9235 b        | 5,68 ± 0,6669 bc       | 44,9179 ± 7,93679 b    |
| 40% PV + 60% de biossólido      | 2,0 ± 0,0000 a | 12,4 ± 1,6733 b        | 7,12 ± 1,6270 c        | 43,2022 ± 7,25885 b    |
| $W (P)$                         | 0,789 (0,0003) | <b>0,9702</b> (0,7501) | <b>0,8792</b> (0,0666) | <b>0,9788</b> (0,9008) |
| $F (P)$                         | 5,188 (0,0108) | <b>2,767</b> (0,0757)  | <b>2,296</b> (0,1167)  | 3,643 (0,0356)         |
| $H (P)$                         | 2,375 (0,4983) |                        |                        |                        |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey ou Dunn a 0,05 de probabilidade;  $t_i$ : tempo para a primeira emergência;  $t_f$ : tempo para a última emergência;  $\bar{t}$ : tempo médio de emergência; CVt: coeficiente de variação do tempo; W: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ( $P > 0,05$ ); F: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ( $P > 0,05$ ); H: estatística do teste de Kruskal-Wallis; valores em negrito indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ); P: probabilidade.

No tratamento controle, todas as plântulas emergiram até o quinto dia após o início do processo de emergência, diferindo dos tratamentos que continham biossólido, nos quais o processo de emergência se estendeu até aproximadamente o 12º dia. Dessa forma, o tempo médio de emergência no tratamento controle foi menor que nos demais tratamentos, não diferindo estatisticamente apenas do tratamento que continha a menor dose de biossólido (Tabela 6). O período em que houve maior frequência de emergência, expresso pelo tempo médio ( $\bar{t}$ ), ocorreu entre 3,46 e 7,12 dias. O coeficiente de variação desta medida foi alto ( $19,55 \leq CVt \leq 43,20\%$ ), caracterizando o processo de emergência das plântulas como heterogêneo em relação ao tempo, indicando alta dispersão ao redor do tempo médio de emergência. O tratamento controle apresentou o menor CVt, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 6).

Ocorreu decréscimo gradativo na porcentagem (E) e na velocidade média de emergência ( $\bar{v}$ ) das plântulas de girassol, sendo evidente que a velocidade média e a velocidade de Maguire (VE) foram restringidas pela adição do biossólido no substrato de cultivo (Tabela 7).

TABELA 7. Capacidade e velocidade de emergência de plântulas de *Helianthus annuus* L. cultivar Helio 250 submetidas a diferentes porcentagens de biossólido no substrato de cultivo.

| Tratamentos                    | <i>E</i> (%)           | $\bar{v}$ (dia <sup>-1</sup> ) | <i>VE</i> (plântula dia <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| 100% Plantmax+vermiculita (PV) | 99,16 ± 1,86 a         | 0,8892 ± 1,3501 a              | 7,15 ± 0,3911 a                         |
| 80% PV + 20% de biossólido     | 94,16 ± 6,31 a         | 0,2198 ± 0,0159 ab             | 5,53 ± 0,3962 b                         |
| 60% PV + 40% de biossólido     | 85,83 ± 13,37 ab       | 0,1780 ± 0,0226 b              | 4,45 ± 0,9068 bc                        |
| 40% PV + 60% de biossólido     | 72,50 ± 15,75 b        | 0,1456 ± 0,0292 b              | 3,34 ± 0,9550 c                         |
| <i>W</i> ( <i>P</i> )          | <b>0,9042</b> (0,0514) | 0,5214 (0,0001)                | <b>0,965</b> (0,6469)                   |
| <i>F</i> ( <i>P</i> )          | <b>3,113</b> (0,0558)  | 6,871 (0,0035)                 | <b>1,328</b> (0,3003)                   |
| <i>H</i> ( <i>P</i> )          |                        | <b>16,006</b> (0,0011)         |                                         |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey ou Dunn a 0,05 de probabilidade; *E*: porcentagem de emergência;  $\bar{v}$ : velocidade média de emergência; *VE*: velocidade de emergência; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ( $P > 0,05$ ); *F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ( $P > 0,05$ ); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis; valores em negrito indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ); *P*: probabilidade.

Conceitualmente incerteza é uma medida da distribuição das frequências relativas de germinação e emergência no tempo. Essa medida expressa a incerteza de predição do evento. Quando todas as sementes colocadas para germinar o fizerem junto, a frequência relativa será máxima num mesmo intervalo de tempo e, pela expressão matemática, o valor de *I* será igual a zero (SANTANA; RANAL, 2006). Nesse caso, pode-se dizer que o processo foi concentrado no tempo e, portanto, estima-se que houve sincronia. Entretanto, como a germinação e consequentemente a emergência não são perfeitamente sincronizadas, o valor de *I* igual a zero é apenas teórico.

Considerando que a concentração máxima da emergência no tempo ocorreria quando o *I* fosse igual ou próximo de zero, os valores apresentados pelos tratamentos para a medida de incerteza ( $2,32 \leq I \leq 2,76$  bits), exceto para o tratamento controle ( $I = 1,38$  bits), mostram que nesta escala de grandeza a frequência de emergência das plântulas foi baixa num mesmo intervalo de tempo, podendo-se concluir que o processo de emergência tornou-se mais assíncrono com a adição de biossólido no substrato (Tabela 8).

A incerteza depende da amplitude de variação do tempo entre a primeira e a última emergência. Considerando que o número de plântulas emergidas sejam similares, quanto maior a amplitude de tempo necessária para que o processo ocorra, mais baixos serão os valores de frequência relativa de emergência em cada observação e maior será o valor de *I*, indicando a distribuição do processo no tempo e a menor chance de

sincronia. Isso significa que no tratamento controle a emergência foi a mais sincronizada, independentemente do número total de plântulas que emergiram.

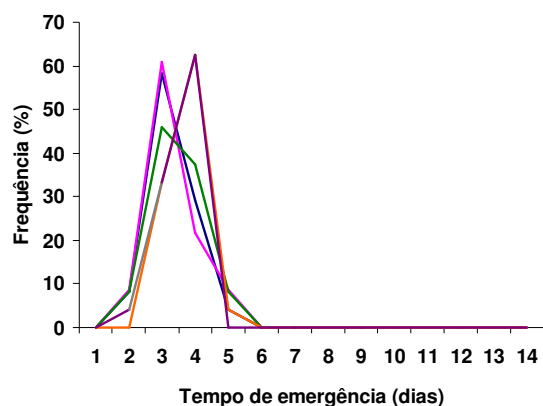
TABELA 8. Incerteza e sincronia de emergência de plântulas de *Helianthus annuus* L. cultivar Helio 250 submetidas a diferentes porcentagens de biossólido no substrato de cultivo.

| Tratamentos                    | <i>I</i> (bit)        | <i>Z</i>              |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 100% Plantmax+vermiculita (PV) | 1,38 ± 0,2292 a       | 0,4234 ± 0,0607 a     |
| 80% PV + 20% de biossólido     | 2,32 ± 0,3907 b       | 0,2127 ± 0,0684 b     |
| 60% PV + 40% de biossólido     | 2,72 ± 0,2942 b       | 0,1354 ± 0,0414 b     |
| 40% PV + 60% de biossólido     | 2,76 ± 0,2261 b       | 0,1191 ± 0,0394 b     |
| <i>W</i> ( <i>P</i> )          | <b>0,938</b> (0,2357) | <b>0,954</b> (0,4463) |
| <i>F</i> ( <i>P</i> )          | <b>1,003</b> (0,4170) | <b>0,828</b> (0,4979) |
| <i>H</i> ( <i>P</i> )          |                       |                       |

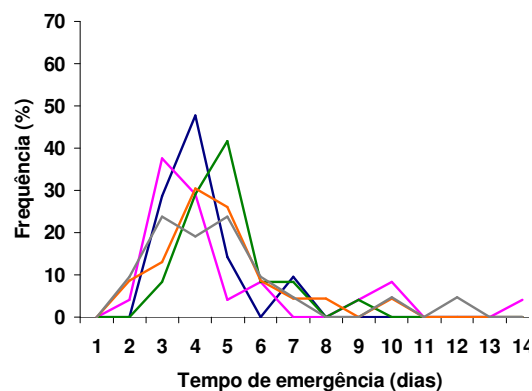
Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey ou Dunn a 0,05 de probabilidade; *I*: incerteza; *Z*: sincronia; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ( $P > 0,05$ ); *F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ( $P > 0,05$ ); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis; valores em negrito indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ); *P*: probabilidade.

A sincronia do processo de emergência, calculada pelo *Z*, foi maior no tratamento controle, diferenciando-se dos demais que não apresentaram diferença estatística entre si. O valor da medida de sincronia (*Z*) só é produzido quando a emergência de plântulas é simultânea, sendo, por isso, o indicador da sincronia. A sincronia (*Z*) para os tratamentos nos quais se utilizou o biossólido, mostrou valores baixos e mais próximos de zero, indicando falta de sobreposição da emergência de plântulas no tempo, ou seja, indicou a assincronia do processo (Tabela 8). Essa falta de sincronia também pode ser observada pela distribuição da frequência relativa de emergência, em função do tempo, dos quatro tratamentos avaliados (Figura 1).

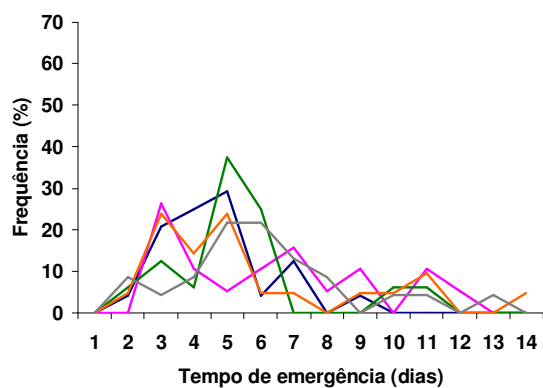
**A.** 100% Plantmax + vermiculita (PV)



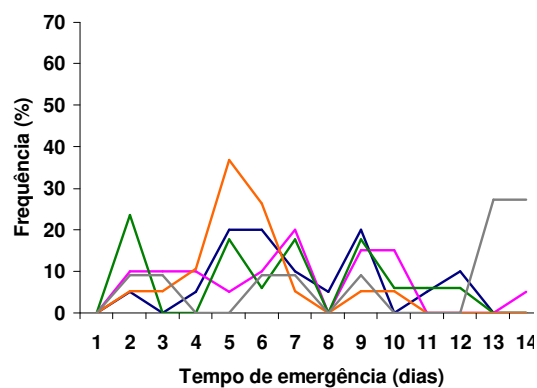
**B.** 80% PV + 20% biossólido



**C.** 60% PV + 40% biossólido



**D.** 40% PV + 60% biossólido



— R1 — R2 — R3 — R4 — R5<sup>\*</sup>

\*R1 = repetição 1

\*R2 = repetição 2

\*R3 = repetição 3

\*R4 = repetição 4

\*R5 = repetição 5

FIGURA 1. Distribuição da frequência relativa de emergência de plântulas de *Helianthus annuus* L. cultivar Helio 250, cultivadas em substrato contendo 0 (A), 20 (B), 40 (C) e 60% (D) de biossólido.

Para a maioria das variáveis avaliadas, os melhores resultados foram observados no tratamento controle e foram tornando-se menos satisfatórios à medida que se aumentou a porcentagem de biossólido no substrato (Figura 2). Provavelmente esses resultados estão relacionados com a capacidade do biossólido de reter maior quantidade de água no substrato, o que desencadeou o fenômeno de hipoxia, prejudicando, dessa forma, a emergência e o desenvolvimento das plântulas.

A hipoxia sofrida pelo sistema radicular em plantas sob excesso de água no solo provoca queda imediata na respiração das raízes, tanto em plantas tolerantes como nas plantas sensíveis (LIAO; LIN, 2001). Tal condição causa inibição da atividade metabólica e, conseqüentemente, da produção de ATP, que restringe o suprimento de energia para o crescimento das raízes, reduzindo o desenvolvimento geral da planta (DIAS-FILHO, 2005).

Pires et al. (2002), estudando as adaptações morfo-fisiológicas da soja em solo inundado, observaram que os principais efeitos da inundação do solo foram verificados nas raízes das plantas, onde ocorreu a morte da raiz principal e o crescimento das raízes adventícias. As espécies sensíveis ao estresse de inundação desenvolvem sintomas, os quais resultam, principalmente, de distúrbios causados pela hipoxia nas raízes. Além disso, a falta de oxigênio reduz o crescimento da parte aérea e das raízes, provoca escurecimento dos ápices radiculares e alterações nas organelas celulares (RODRIGUES et al., 1993).

As plântulas de girassol, submetidas às maiores porcentagens de biossólido no substrato, apresentaram sintomas típicos do fenômeno de hipoxia, tais como desenvolvimento de raízes adventícias, escurecimento dos ápices radiculares e menor desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular (Figura 3). A redução da matéria seca da raiz em função do alagamento é descrita para muitas espécies (KOZLOWSKI 1984, MEDRI et al. 1998, ANDRADE et al. 1999) e mesmo com o surgimento de novas raízes, observa-se o decréscimo da biomassa do sistema radicular, uma vez que o alagamento provoca a morte de muitas raízes e a contribuição em biomassa das raízes adventícias é relativamente pequena devido ao aerênquima e espaços intercelulares. No presente trabalho, apesar do menor crescimento, não foi observada redução significativa da massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas de girassol cultivadas nos substratos contendo biossólido (Tabela 9).

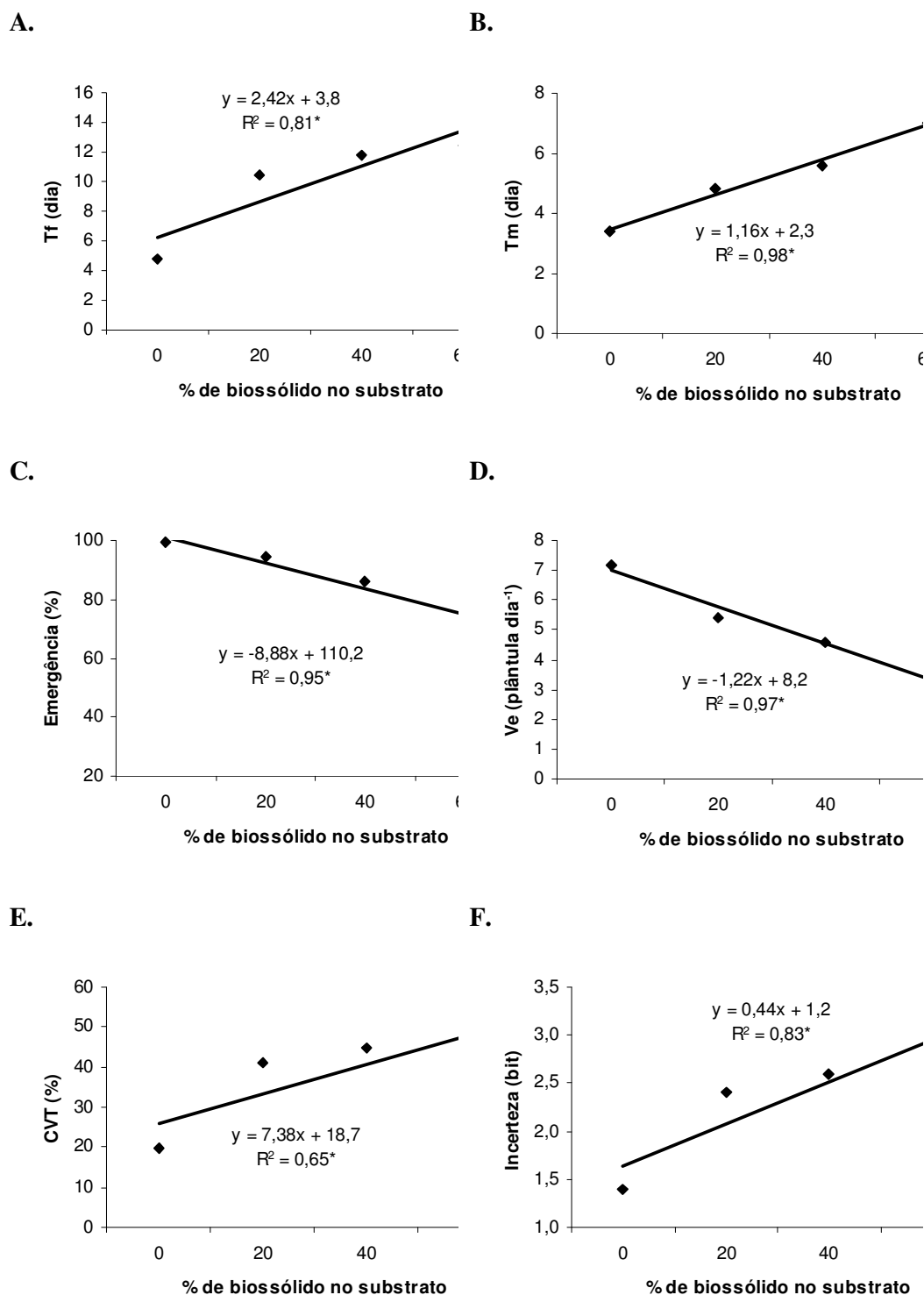


FIGURA 2. Tempo final (Tf) e médio (Tm) de emergência, velocidade de emergência (VE), coeficiente de variação do tempo (CVt), incerteza (I) e porcentagem de emergência (E) de plântulas de *Helianthus annuus* L., cultivar Helio 250, cultivadas em substratos contendo diferentes doses de biossólido.

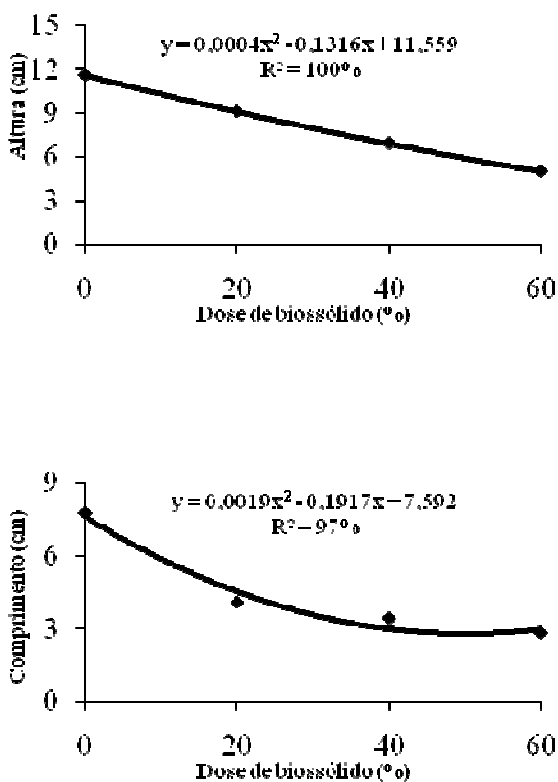


FIGURA 3. Altura da parte aérea e comprimento do sistema radicular das plantas de *Helianthus annuus* L., cultivar Helio 250, cultivadas em substratos contendo diferentes doses de bio-sólido.

TABELA 9. Massa média da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de duas plantas de *Helianthus annuus* L. cultivar Helio 250 submetidas a diferentes porcentagens de bio-sólido no substrato de cultivo.

| Tratamentos                    | Características          |                                |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                | Massa da parte aérea (g) | Massa do sistema radicular (g) |
| 100% Plantmax+vermiculita (PV) | 0,6145 a                 | 0,5394 a                       |
| 80% PV + 20% de bio-sólido     | 0,7182 a                 | 0,6482 a                       |
| 60% PV + 40% de bio-sólido     | 0,7237 a                 | 0,6490 a                       |
| 40% PV + 60% de bio-sólido     | 0,7004 a                 | 0,6654 a                       |
| <i>W</i> (P)                   | 0,592 (0,000)            | 0,599 (0,000)                  |
| <i>F</i> (P)                   | 6,041 (0,006)            | 5,926 (0,006)                  |
| <i>H</i> (P)                   | 3,343 (0,342)            | 5,313 (0,150)                  |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelos testes de Dunn a 0,05 de probabilidade; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ( $P > 0,05$ ); *F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ( $P > 0,05$ ); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis; valores em negrito indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ); *P*: probabilidade.

## 4 CONCLUSÕES

1. O biossólido utilizado melhorou os atributos químicos do substrato por meio do fornecimento de nutrientes e matéria orgânica.
2. A única característica química limitante dos substratos contendo dose igual ou superior a 40% de biossólido foi a condutividade elétrica que apresentou valores superiores ao considerado ideal para o cultivo de plantas em recipientes.
3. O substrato contendo 20% de biossólido proporcionou condições físicas mais adequadas para o desenvolvimento das plântulas de girassol.
4. A emergência e o desenvolvimento das plantas de girassol nos substratos contendo doses superiores a 20% de biossólido foram prejudicados pela hipoxia desencadeada pela alta capacidade de retenção de água do biossólido no substrato.
5. No tratamento controle a emergência das plântulas de girassol ocorreu em menor tempo médio ( $\bar{t} = 3,46$  dias), maior velocidade ( $\bar{v} = 0,88 \text{ dia}^{-1}$  e  $VE = 7,15$  plântulas  $\text{dia}^{-1}$ ), menor distribuição no tempo ( $I = 1,38$  bits) e maior sincronia ( $Z = 0,42$ ). O aumento do tempo de emergência foi proporcional ao aumento das doses de biossólido no substrato de cultivo.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, J. R. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.167-176, 2002.

ANDRADE, A. C. S.; RAMOS, F. N.; SOUZA, A. F.; LOUREIRO, M. B.; BASTOS, R. Flooding effects in seedlings of *Cytherexillum myrianthum* Cham. and *Genipa americana* L.: responses of two neotropical lowland tree species. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 281-285, 1999.

ANDREOLI, C. A.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; CARNEIRO, C.; TELES, C. R.; FERNANDES, F. Higienização do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: Editora RiMa, 2001. p. 87-116.

ARMSTRONG, D. L. P. **Lodo de esgoto alcalinizado como fonte de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do arroz**. 2006. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, n.17, p.94-101, 2002.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades físicas e químicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.

BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 4., 2002. Campinas. **Documentos...** Campinas: IAC, 2002. p.7-15.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.

BOSA, N.; CALVETE, E.O.; KLEIN,V.A.; SUZIN, M. Crescimento de mudas de gipsofila em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 514-519, 2003.

CARVALHO, C. G. P. **Informes da avaliação de genótipos de girassol 2002/2003 e 2003**. Londrina: Embrapa Soja, 2003, 97 p. (Embrapa Soja. Documentos, 226).

CAVINS, T. J.; WHIPKER, B. E.; FONTENO, W. C.; HARDEN, B.; MCCALL, I.; GIBSON, J. L. Monitoring and managing pH and EC using the Pour-Thru Extraction Method. **Horticulture Information Leaflet 590**, New 7/2000. North Caroline State University, 2000. 17p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997. 96 p.

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – RESOLUÇÃO Nº 375. **Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. São Paulo, Agosto (2006). Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em 01 dez. 2010.

CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G.M.; AMARAL, J.F.T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

DIAS, B. O. **Caracterização da matéria orgânica de latossolo sob aplicação continuada de lodo de esgoto**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

DIAS-FILHO, M. B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p. 145-147.

FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 278-282, 2005.

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, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

GHINI, R.; SCHOENMAKER, I. A. S.; BETTIOL, W. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 9, p. 1253-1261, 2002.

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

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 3. ed. Piracicaba: Degaspari, 1999.

KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding. In: KOZLOWSKI T.T. (Ed.) **Flooding and plant growth**. Academic Press, San Diego, 1984. p.129-163.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: OEA. 1983, 174p.

LABOURIAU, L. G. On the physiology of seed germination in *Vicia gramínea* Sm. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 42, p. 235-262, 1970.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait). F. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48. p. 263-284, 1976.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Effect of flooding stress on photosynthetic activities of *Momordica charantia*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 32, p. 479-485, 1994.

MAGUIRE, J. D. Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p. 176-177, 1962.

MALDONADO, C. A. B. **Biossólido na implantação da cultura da pupunheira: efeitos na precocidade, na produção e nos teores de nutrientes e metais pesados no palmito**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola)- Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DELGADO, M. F.; CORREA, G. T. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. submetida ao alagamento e à aplicação de etrel. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v. 21, n. 2, p. 261-267. 1998.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T., (Ed). **Biossólido na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p.289-363.

MELO, W.; MARQUES, M. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL W.; CAMARGO O. A. (Ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2000, p. 109-141.

MIYAZAWA, M.; GIMENEZ, S. M. N.; FERNANDES, F.; OLIVEIRA, E. L.; SILVA, S. M. C. P. Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar/Finep, 1999. p. 204-225.

OLIVEIRA, F. C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 360-367, 1995.

PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PICOLOTTO, L.; BIANCHI, V. J.; NETO, A. G.; FACHINELLO, J. C. Diferentes misturas de substratos na formação de mudas de pessegueiro, em embalagem. **Scientia Agraria**. Curitiba. v. 8, n. 2, p. 119-125, 2007.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, 257p.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-11, 2006.

RODRIGUES, T. J. D.; RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: Simpósio sobre ecossistemas de pastagens, 2., Jaboticabal, 1993. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p. 17-61.

SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. Linear correlation in the experimental design models applied on seed germination. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 34, n. 1, p. 241-247, 2006.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KAMPF, 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, R. C. **Fitodisponibilidade de zinco, cobre, cromo e níquel de lodo de esgoto (N-Viro Soil) e de dejetos de suínos aplicados superficialmente a latossolo vermelho sob plantio direto**. 2007. 142f. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEIXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.

SOARES, E. M. B. **Impacto de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre os compartimentos de carbono orgânico em latossolo cultivado com milho**. 2005. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SODRÉ, G. A.; CORÁ, J. E.; BRANDÃO, I. C. S. F. L.; SERÔDIO, M. H. C. F. Características químicas de substratos utilizados na produção de mudas de cacauzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 514-516, 2005.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamentos de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 89-131.

VERDONCK O. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. **Acta Horticulturae**, Barcelona, v. 150, p. 467-473. 1983.

VIEIRA, R. F.; CARDOSO, A. A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 7, p. 867-874, 2003.

### **CAPÍTULO 3**

**LODO DE ESGOTO E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO  
SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Brassica oleracea* var.  
*acephala* DC.**

## RESUMO

REZENDE, JOSIELLE SANTOS. **Lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar como substrato para a produção de mudas de *Brassica oleracea* var. *acephala* DC.** 2010. 24 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia).<sup>1</sup>

A utilização de resíduos de origem vegetal e animal na formulação de compostos orgânicos propicia a obtenção de substratos alternativos, de fácil e constante disponibilidade e baixo custo, auxiliando na minimização da poluição decorrente do acúmulo desses resíduos no ambiente. Sendo assim, os objetivos do trabalho foram avaliar os atributos químicos e microbiológicos do composto orgânico, formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e avaliar o efeito de doses crescentes desse composto orgânico na emergência e desenvolvimento de plantas de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala* DC.). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. O primeiro tratamento, considerado controle, foi constituído pela mistura de substrato comercial Plantmax® e vermiculita na proporção 1:1. Os demais tratamentos foram constituídos por doses crescentes do composto orgânico (20, 40, 60 e 80%) em mistura ao substrato do tratamento controle, sendo o último tratamento constituído por 100% de composto. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia-MG, utilizando-se bandejas multicelulares, sendo cada unidade experimental constituída por vinte e quatro células. As avaliações do processo de emergência foram realizadas a cada vinte e quatro horas, adotando-se como critério de emergência a exposição de qualquer parte da plântula na superfície do substrato. O crescimento foi avaliado mensurando-se a altura da parte aérea, o comprimento do sistema radicular e a massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas. A adição do composto orgânico de lodo e bagaço, em concentrações superiores a 30%, no substrato de cultivo, ocasionou o aumento do tempo inicial ( $t_i$ ), tempo médio ( $\bar{t}$ ) e tempo final ( $t_f$ ) de emergência das plântulas de couve, sendo observado decréscimo linear da velocidade média ( $\bar{v}$ ) e da velocidade de emergência de Maguire (VE) com a adição do composto no substrato. Observou-se que à medida que se aumentou a dose de composto orgânico no substrato de cultivo, até as doses estimadas de 44, 33 e 28%, obteve-se aumento do comprimento do sistema radicular, da altura e da massa de matéria seca da parte aérea, respectivamente, sendo que a partir dessas concentrações houve redução no crescimento das plantas de couve.

Palavras-chave: biossólido; substrato alternativo; couve manteiga, resíduo orgânico.

---

<sup>1</sup>Orientador: Marli Aparecida Ranal – UFU.

## ABSTRACT

REZENDE, JOSIELLE SANTOS. **Sewage sludge and sugar-cane bagasse as substrate for *Brassica oleracea* var. *acephala* DC. seedling production.** 2010. 24 p. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Plant Technology – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia).<sup>1</sup>

The use of vegetable and animal origin residues in the formulation of organic composts allows the production of alternative substrates, which are easily obtained, constantly available and of low cost, aiding on the minimization of pollution resulting from residue accumulation in the environment. Therefore, this study evaluated the chemical and microbiological attributes of the organic compost formulated with sewage sludge and sugar-cane bagasse, and the effect of increasing doses of this organic compost on the emergence and development of collard (*Brassica oleracea* var. *acephala* DC.) seedlings. The experimental design was completely randomized, with six treatments, and four replications. The first treatment, considered as the control, consisted of the mixture of the commercial substrate Plantmax<sup>®</sup> with vermiculite in the proportion 1:1. The other treatments were increasing doses of composted sewage sludge and sugar-cane bagasse (20, 40, 60 or 80%) mixed to the substrate of the control treatment, and the last treatment was 100% compost. The experiment was done in the greenhouse of the Instituto de Ciências Agrárias of Universidade Federal de Uberlândia (UFU), in the city of Uberlândia-MG, using multicelled trays, and each experimental unit consisted of twenty four cells. The evaluations of the emergence process were done every twenty four hours, adopting as emergence criterion the exposition of any seedling part on the substrate surface. Growth was evaluated by measuring the above ground height, the length of the root system and the dry matter mass of both parts. Adding the sludge and bagasse organic compost to the substrate, in concentrations above 30%, caused an increase in initial time ( $t_i$ ), average time ( $\bar{t}$ ) and final time ( $t_f$ ) for collard seedlings emergence, and a linear decrease on the average velocity ( $\bar{v}$ ) and Maguire's emergence velocity ( $VE$ ) was observed with the addition of compost to the substrate. As the proportion of organic compost increased in the substrate, until the estimated doses of 44, 33 and 28%, an increase in root length, plant height and above ground dry matter were observed, respectively, and above these concentrations there was a reduction in collard greens seedling growth.

Keywords: biosolid; alternative substrate; collard greens, organic residue.

---

<sup>1</sup>Supervisor: Marli Aparecida Ranal – UFU.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos de origem vegetal e animal na formulação de compostos orgânicos propicia a obtenção de substratos alternativos, de fácil e constante disponibilidade e baixo custo, auxiliando na minimização da poluição decorrente do acúmulo desses resíduos no ambiente. Dessa forma, diversos materiais têm sido testados como componentes de substrato para mudas de espécies vegetais.

O composto orgânico pode ser obtido a partir de diversos resíduos, tais como esterco de animais, capins, bagaço de cana, cascas de árvores, serragens, resíduos de agroindústrias e resíduos urbanos, como lixo e lodo de esgoto que possuem características físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento de plantas, mas necessitam serem tratados antes de sua utilização.

A compostagem é uma alternativa natural e viável de tratamento do lodo de esgoto que, pelo efeito da elevação da temperatura, promove a desinfecção do resíduo, tendo como produto final um insumo de alto valor agrônômico (PADOVANI, 2006). O lodo de esgoto não possui características que o tornam um resíduo capaz de ser compostado sozinho, sendo necessário misturá-lo com outro resíduo, de características complementares, para que a mistura apresente condições ideais para a compostagem. De modo geral, os resíduos vegetais são os mais importantes agentes estruturantes, podendo-se destacar os resíduos de podas de árvores, serragem de madeira, palha, cascas de cereais e bagaço de cana-de-açúcar.

O cultivo de plantas utilizando substratos é uma técnica amplamente empregada em diversas áreas da agricultura, sendo que a produção de mudas constitui-se numa das etapas mais importantes do sistema produtivo hortícola. Dentre as hortaliças mais consumidas no Brasil, destaca-se a couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala* DC.) cujas folhas, produto comercial, são consumidas cruas ou cozidas e são ricas em vitaminas A e C (FILGUEIRA, 2003).

Considerando a importância da cultura da couve no sistema produtivo hortícola, a crescente demanda por serviços de saneamento básico, o que consequentemente leva a um expressivo aumento na produção de lodo de esgoto, e o constante interesse agrônômico de se dispor de uma fonte de nutrientes e matéria orgânica de menor custo, os objetivos do presente trabalho foram (1) avaliar os atributos químicos e microbiológicos do composto orgânico, formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar, (2) avaliar o efeito de doses crescentes do composto orgânico na

emergência e desenvolvimento de plantas de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) e, (3) determinar a melhor proporção do composto orgânico para, em mistura com Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita, constituir um meio de crescimento adequado para o desenvolvimento das plantas de couve.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção do composto orgânico

Os resíduos utilizados na formulação do composto orgânico foram o lodo de esgoto urbano e o bagaço de cana-de-açúcar, obtidos na cidade de Uberlândia. O lodo de esgoto, oriundo da Estação de Tratamento de Esgotos Uberabinha, durante o processo de tratamento, passou por reatores anaeróbios sendo posteriormente desidratado em centrífugas. O resíduo estruturante escolhido para a mistura, o bagaço de cana, foi obtido em estabelecimento comercial fornecedor de garapa (caldo de cana).

A quantidade de cada um dos resíduos foi determinada por meio da relação carbono/nitrogênio do lodo de esgoto e do bagaço, considerando as análises físico-químicas dos materiais (Tabela 1). O carbono orgânico total (COT) dos dois resíduos foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BREMNER, 1988). O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl, descrito por Silva (1990), e o grau de umidade foi definido como sendo a massa da água contida em uma amostra do material, dividida pela massa seca das partículas sólidas, sendo expresso em percentagem. Para determinação da massa seca, a amostra foi mantida em estufa com temperatura de 110°C, até que apresentasse massa constante, sendo a massa da água determinada pela diferença entre a massa da amostra fresca e a massa seca.

TABELA 1. Grau de umidade, teores de carbono orgânico e nitrogênio total do lodo de esgoto e do bagaço de cana-de-açúcar utilizados na formulação do composto orgânico para o cultivo de mudas de *Brassica oleracea* var. *acephala*.

| Resíduos       | Umidade (%) | Carbono Total (g Kg <sup>-1</sup> ) | Nitrogênio Total (g Kg <sup>-1</sup> ) | Relação C/N |
|----------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------|
| Lodo de esgoto | 23          | 304,01                              | 66,50                                  | 4,6         |
| Bagaço de cana | 3           | 427,34                              | 3,50                                   | 122         |

Para obtenção de uma mistura com relação C/N de 25, a proporção de lodo e de bagaço foi de 1:4 (v:v), respectivamente. Foi utilizado um balde plástico de 16 litros para quantificação dos resíduos que foram dispostos em camadas, sendo colocados

inicialmente quatro baldes de bagaço seguidos por um balde de lodo e assim sucessivamente, totalizando quatro baldes de lodo e dezesseis baldes de bagaço.

O processo de compostagem durou 110 dias e foi conduzido segundo as recomendações obtidas junto à literatura, observando-se algumas características como umidade, aeração e temperatura. O revolvimento e a irrigação do material foram realizados de acordo com a necessidade, tendo em vista o controle da temperatura e da umidade.

Após a compostagem, foram realizadas análises microbiológicas e químicas do composto orgânico nos laboratórios do Centro de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização desse composto como meio de crescimento de plantas.

## **2.2 Instalação do experimento**

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia-MG, no período de 17 de outubro a 02 de novembro de 2009, utilizando-se sementes de couve manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) da empresa Feltrin<sup>®</sup> Sementes .

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. O primeiro tratamento, considerado controle, foi constituído pela mistura na proporção 1:1 do substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita (100% PV). Os demais tratamentos foram constituídos por doses crescentes do composto orgânico, 20, 40, 60 e 80%, em mistura ao substrato do tratamento controle, sendo o último tratamento constituído por 100% de composto.

A semeadura foi realizada colocando-se três sementes de couve por célula, a 1 cm de profundidade, em bandejas multicelulares de poliestireno expandido com 128 células piramidais, sendo cada unidade experimental constituída por 24 células. As bandejas foram mantidas sob condições de casa de vegetação e a irrigação foi efetuada manualmente, sendo os intervalos de irrigação controlados conforme as condições ambientais prevalentes. Foi realizado desbaste, deixando-se uma planta por célula.

## **2.3 Características avaliadas**

### **2.3.1 Medidas do processo de emergência**

As avaliações do processo de emergência foram realizadas a cada 24 horas, adotando-se como critério a exposição de qualquer parte da plântula na superfície do substrato. Foi avaliado o tempo para a primeira ( $t_i$ ) e última ( $t_f$ ) emergência de plântulas, expresso em dias. O tempo final ( $t_f$ ) foi determinado após a estabilização dos eventos. Por segurança, após a última emergência, o experimento continuou sendo avaliado por tempo igual ao maior intervalo entre dois registros.

Foram calculadas ainda as **porcentagens de emergência ( $E$ )**; o **tempo médio de**

**emergência**, calculado pela expressão proposta por Labouriau (1983),  $\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$ , onde

$t_i$ : tempo entre o início do experimento e a  $i$ -ésima observação (dia);  $n_i$ : número de plântulas que emergem no tempo  $t_i$ ;  $k$ : último tempo de emergência de plântulas; o **coeficiente de variação do tempo ( $CV_t$ )**, proposto por Ranal e Santana (2006), que mede o grau de dispersão da emergência ao redor do tempo médio, sendo calculado a partir do tempo médio e do desvio padrão do tempo, usando a expressão  $CV_t = (s_t / \bar{t})100$ , onde  $s_t$ : desvio padrão do tempo e  $\bar{t}$ : tempo médio de emergência. A

variância do tempo foi calculada pela expressão  $s_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (t_i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}$ , na qual  $\bar{t}$ : tempo

médio de emergência;  $t_i$ : tempo entre o início do experimento e a  $i$ -ésima (dia) observação;  $n_i$ : número de plântulas que emergem no tempo  $t_i$ ;  $k$ : último tempo de emergência de plântulas. O desvio padrão foi obtido pela expressão  $s_t = \sqrt{s_t^2}$ , onde  $s_t^2$ : variância do tempo de emergência; a **velocidade média de emergência ( $\bar{v}$ )** (LABOURIAU, 1970), calculada como  $\bar{v} = \frac{1}{\bar{t}}$ , onde  $\bar{t}$ : tempo médio de emergência; a

**incerteza ( $I$ )**, proposta por Labouriau e Valadares (1976) para analisar a incerteza associada à distribuição da frequência relativa de emergência como  $I = -\sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i$ ,

sendo  $f_i = n_i / \sum_{i=1}^k n_i$ , onde  $f_i$ : frequência relativa de emergência,  $n_i$ : número de plântulas emergidas no dia  $i$  e  $k$ : último dia de observação; a **sincronia ( $Z$ )** do processo

de emergência, calculada pela expressão  $Z = \sum C_{n_i,2} / N$ , sendo  $C_{n_i,2} = n_i(n_i - 1) / 2$  e  $N = \sum n_i(\sum n_i - 1) / 2$ , onde  $C_{n_i,2}$ : combinação de plântulas emergidas no tempo  $i$ , duas a duas e  $n_i$ : número de plântulas emergidas no tempo  $i$  (RANAL; SANTANA, 2006) e a **velocidade de emergência (VE)**, proposta por Maguire (1962), cuja expressão matemática associa número de plântulas emergidas e tempo, sendo dada pela expressão

$$VE = \frac{\text{número de plântulas emergidas}}{\text{dias até a primeira contagem}} + \dots + \frac{\text{número de plântulas emergidas}}{\text{dias até a última contagem}}.$$

### 2.3.2 Crescimento das plantas

Selecionou-se seis plantas, as três maiores e as três menores, de cada unidade experimental, para a obtenção da altura da parte aérea (distância da superfície do substrato até o meristema apical caulinar), do comprimento do sistema radicular (distância da base do caule até a extremidade da raiz) e da massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. As avaliações, utilizando-se paquímetro digital (0-150 mm) e balança analítica, foram realizadas 21 dias após a semeadura, época em que as plantas mediam aproximadamente 10 cm, sendo este o tamanho recomendado para se efetuar o transplântio das mudas, que com este tamanho possuem de 5 a 6 folhas.

Após a medição, as plantas de cada unidade experimental foram separadas em raiz e parte aérea, sendo acondicionadas em sacos de papel previamente secos em estufa e de massa conhecida. A secagem foi feita a 70°C até massa constante.

### 2.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análises de regressão, à 0,05 de significância, para comparar os efeitos das doses de composto orgânico sobre as características avaliadas, testando-se os modelos linear e quadrático, sendo escolhido para explicar os resultados o modelo significativo e que apresentou o maior valor para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Quando o resultado da ANOVA não foi significativo ou quando não foi possível o ajuste do modelo de regressão ( $R^2$  inferior a 70%), os resultados foram inseridos em tabelas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características microbiológicas do composto orgânico

A análise microbiológica do composto orgânico, realizada de acordo com a Norma Norte Americana EPA 40 CFR Part 503 e Resolução CONAMA – 375/06 , classifica-o como Classe A, visto que a concentração de todos os patógenos foram menores que as estabelecidas pela legislação vigente (Tabela 2).

TABELA 2. Concentração de patógenos no composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e limites máximos de patógenos no lodo ou produto derivado tipo A, estabelecidos pela Resolução CONAMA-375/06.

| Patógenos                                                              | Composto orgânico de lodo de esgoto | Concentração máxima de patógenos - CONAMA |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Coliformes termotolerantes<br>( <sup>1</sup> NMP/g de <sup>2</sup> ST) | 285,71                              | < 10 <sup>3</sup>                         |
| <i>Salmonella</i> sp.<br>(NMP/10 g de ST)                              | Ausente                             | Ausência em 10g de ST                     |
| Ovos viáveis de helmintos<br>(Ovos/g de ST)                            | 0,08                                | < 0,25                                    |

<sup>1</sup>Número mais provável; <sup>2</sup>Sólidos totais.

A porcentagem de patógenos encontrada no lodo é variável e dependente da origem do esgoto e do tipo de tratamento que o resíduo recebe. Para ser utilizado como fertilizante orgânico, o lodo de esgoto deve passar por processos de desinfecção, tais como o tratamento com a cal, o uso de radiações ionizantes, a compostagem e a vermicompostagem.

O lodo e produtos derivados, classificados pelo CONAMA em tipo A e B de acordo com o conteúdo de coliformes fecais, *Salmonella* sp. e ovos viáveis de helmintos, podem ser utilizados em áreas agrícolas respeitando-se as restrições de uso para cada um dos tipos.

#### 3.2 Características químicas dos substratos

O substrato de cultivo deve oferecer condições favoráveis para a germinação de sementes e para o desenvolvimento das espécies vegetais. Dentre os fatores relevantes no sistema de produção de mudas, destacam-se as características químicas do meio, tais como o pH, a condutividade elétrica e os teores de macro e micronutrientes, que estão

diretamente relacionados com a nutrição vegetal, que garante a sobrevivência e o crescimento satisfatório das plantas.

Com relação ao pH, os substratos devem apresentar valores dentro de uma faixa considerada ideal para o cultivo de plantas, pois valores inadequados, além de influenciarem na disponibilidade de nutrientes, estão relacionados a desequilíbrios fisiológicos nas espécies vegetais. A faixa de pH ideal para substratos formulados com materiais e misturas de base orgânica é de 5,2 a 5,5 e de 6,0 a 7,0 para substratos de base mineral (KÄMPF, 2000).

No presente trabalho, o substrato contendo 100% de composto orgânico de lodo, apresentou pH muito baixo ( $< 4,5$ ), o que provavelmente explica a morte de todas as plântulas após a emergência nesse meio de cultivo ácido, sendo que para a maioria das espécies vegetais o pH ácido do meio de cultivo influi negativamente nos processos de germinação e desenvolvimento das plantas. Em contraposição, as plantas de couve tiveram desenvolvimento satisfatório na mistura composta pelo substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> mais vermiculita, na proporção 1:1, que apresentou pH igual a 5,0, valor considerado ideal, segundo Baumgarten (2002), para substratos comerciais (Tabela 3).

TABELA 3. Condutividade elétrica (CE), pH e CTC dos substratos formulados com Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita na proporção 1:1 e com composto orgânico contendo lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

| Substrato                                      | <sup>1</sup> pH | <sup>1</sup> CE (dS m <sup>-1</sup> ) | <sup>2</sup> CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |
|------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 100% Plantmax <sup>®</sup> + vermiculita (1:1) | 5,0             | 1,1                                   | 353,9                                                  |
| 100% Composto orgânico                         | 3,9             | 3,0                                   | 91,9                                                   |

<sup>1</sup>Extração 1:5 – método descrito na IN 17 de 21/05/2007; <sup>2</sup>Capacidade de Troca de Cátions: Método descrito na IN 17 de 21/05/2007.

Em trabalho avaliando as características químicas de um composto orgânico formulado com lodo de esgoto e restos de gramíneas roçadas, a autora relata que o valor do pH (5,2) encontrava-se dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento de mudas florestais. Dentre as espécies estudadas, as mudas de *Lafoensia glyptocarpa* Koehne (mirindiba rosa) apresentaram melhores resultados quando cultivadas nos tratamentos com proporções de 80 a 100% do composto orgânico, enquanto a espécie *Poecilanthe parviflora* Benth. (coração de negro) apresentou melhores resultados quando cultivada em substrato contendo 80% de composto (PADOVANI, 2006).

Medidas da condutividade elétrica são freqüentemente utilizadas para avaliar a concentração de sais solúveis no substrato, uma vez que o aumento da salinidade não é desejável, pois o crescimento e o desenvolvimento das plantas são diretamente afetados pela ocorrência de toxidez de alguns íons, desequilíbrios nutricionais e, principalmente, pelas dificuldades na absorção de água e nutrientes ocasionadas pelo aumento da pressão osmótica da solução do meio de cultivo (MARSCHNER, 1995). As plantas variam em sua tolerância a níveis de salinidade e estresse hídrico. Para Cavins et al. (2000), um substrato com condutividade elétrica entre 2,0 e 3,5 dS m<sup>-1</sup> em extrato saturado apresenta salinidade adequada para a maioria dos cultivos, não devendo exceder 4,0 dS m<sup>-1</sup>.

Na Tabela 3, observa-se que a condutividade elétrica no substrato contendo apenas composto orgânico é três vezes maior que a do substrato contendo Plantmax® e vermiculita (1:1). No entanto, a condutividade elétrica do composto está dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento de espécies vegetais. Diversos autores relatam que a aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas pode aumentar a condutividade elétrica desses solos, considerando os altos teores de sais presentes no resíduo (OLIVEIRA et al., 2002). Dessa forma, o mesmo efeito é esperado quando se utiliza esse resíduo na composição de substratos para a produção de mudas, sendo esse efeito relatado por Guerrini e Trigueiro (2004).

A capacidade de troca catiônica (CTC) do substrato contendo Plantmax® e vermiculita (353,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foi aproximadamente quatro vezes maior que a do composto orgânico (91,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (Tabela 3). Valor semelhante foi relatado por Trani et al. (2007) que, ao avaliar quimicamente três substratos comerciais, destacou a maior CTC (352,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) do substrato comercial Plantmax®, sendo esse valor superior à faixa ideal de 120 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> estabelecida por Penningsfeld (1983) para o cultivo em recipientes. Em contrapartida, no substrato contendo 100% de composto orgânico, o valor da CTC foi menor que o considerado ideal para o desenvolvimento de espécies vegetais em recipientes.

Muitos são os autores que relatam a capacidade do lodo de esgoto em aumentar a CTC por meio do aporte de matéria orgânica ao meio de cultivo. Entretanto, deve-se considerar que nem sempre isso ocorre, pois a contribuição de resíduos orgânicos à CTC dos solos depende primariamente da natureza dos compostos orgânicos que os constituem (RODELLA, 1996). Dessa forma, considerando-se que a composição dos lodos varia de acordo com a origem e tipo de tratamento que esse material recebe nas

estações de tratamento, esses resíduos podem conter uma gama variada de substâncias orgânicas que são recalcitrantes, sendo várias delas substâncias apolares, tais como os óleos, as graxas, as resinas e as ceras que, por serem insolúveis em água, não geram cargas (OLIVEIRA et al., 2002).

Os teores de todos os macronutrientes foram maiores nos substratos contendo o composto orgânico constituído de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar (Tabela 4). Uma das principais vantagens da utilização de lodo na composição de substratos é o fornecimento de macronutrientes, o que reduz os custos com fertilizantes químicos que, na maioria dos casos, são insumos essenciais ao cultivo de espécies vegetais em recipientes, uma vez que os substratos comerciais não são fontes muito ricas desses elementos.

TABELA 4. Teores de macronutrientes dos substratos de cultivo com diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

| Tratamento                                                           | N                  | P     | K     | Ca    | Mg    | S      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                                                      | g Kg <sup>-1</sup> |       |       |       |       |        |
| 100% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita                              | 0,046              | 0,001 | 0,051 | 0,037 | 0,081 | 0,102  |
| 80% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>20% composto orgânico | 4,317              | 0,640 | 0,560 | 1,910 | 0,345 | 4,342  |
| 60% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>40% composto orgânico | 8,588              | 1,280 | 1,070 | 3,782 | 0,609 | 8,581  |
| 40% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>60% composto orgânico | 12,859             | 1,920 | 1,580 | 5,655 | 0,873 | 12,821 |
| 20% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>80% composto orgânico | 17,129             | 2,560 | 2,090 | 7,527 | 1,136 | 17,060 |
| 100% composto orgânico                                               | 21,400             | 3,200 | 2,600 | 9,400 | 1,400 | 21,300 |

Método de digestão EPA-3051: P, Ca, Mg, S. Método de digestão em forno de microondas e determinação por espectrometria em emissão óptica em plasma de argônio (ICP-OES). N-Kjeldahl; K – Espectrofotômetro de chama.

O aumento do teor de nitrogênio total foi diretamente proporcional ao aumento da dose de composto no substrato, chegando a 21,4 g Kg<sup>-1</sup> no substrato formulado com 100% de composto orgânico (Tabela 4). Resultado semelhante foi relatado por Padovani (2006) que, avaliando quimicamente um composto orgânico de lodo de esgoto, encontrou teor de nitrogênio total igual a 21,3 g Kg<sup>-1</sup>. No mesmo trabalho, a autora caracteriza quimicamente o substrato comercial Plantmax<sup>®</sup>, que apresentou teor de

nitrogênio aproximadamente quatro vezes menor que o teor desse nutriente no composto orgânico, sendo que mudas de *Inga uruguensis* Hook. Arn. (Ingá), desenvolvidas no substrato contendo apenas Plantmax<sup>®</sup>, apresentaram coloração amarelada nas folhas, que é um sintoma típico de deficiência desse nutriente na maioria das espécies vegetais. Em contraposição, as mudas dessa espécie cultivadas em substrato contendo 100, 90, 80 e 70% de composto orgânico de lodo de esgoto, apresentaram, segundo a autora, ótimo aspecto vegetativo, demonstrando superioridade em altura e número de folhas em relação ao substrato comercial, que apresentou mudas baixas, fracas e com coloração amarelada nas folhas.

O fornecimento de nitrogênio por meio do lodo é uma alternativa viável de utilização desse resíduo na composição de substratos alternativos, uma vez que em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante para o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas.

Os teores de fósforo, assim como os do nitrogênio, aumentaram com o acréscimo das dosagens de composto orgânico no substrato, demonstrando a capacidade do composto em fornecer esse nutriente ao meio de cultivo (Tabela 4). Muitos trabalhos publicados demonstram a expressiva contribuição do lodo de esgoto em relação ao fósforo disponível no solo. No presente trabalho, praticamente todo o fósforo presente nos substratos foi oriundo do composto orgânico de lodo de esgoto e bagaço de cana. Resultados semelhantes foram relatados por Guerrini e Trigueiro (2004) e Faustino et al. (2005) que, estudando os atributos químicos de substratos com diferentes doses de biossólido, observaram aumento dos teores de fósforo à medida que se aumentava a dose do resíduo no substrato.

Em trabalho conduzido para avaliar a viabilidade de um composto orgânico de lodo como substrato para o desenvolvimento de espécies florestais, foi relatado teor de fósforo igual a 5,7 g Kg<sup>-1</sup> (PADOVANI, 2006), valor superior ao encontrado no presente trabalho, que foi de 3,2 g Kg<sup>-1</sup>. Como citado anteriormente, as quantidades de nutrientes disponibilizadas pelo lodo variam de acordo com a origem desse resíduo e dos processos de tratamento a que é submetido, mas a significativa contribuição desse resíduo no aumento da fertilidade do solo ou do substrato de cultivo é um fator que deve ser considerado no sistema de produção vegetal.

Como pode ser observado na Tabela 4, os teores de potássio foram maiores nos substratos que continham composto orgânico de lodo, sendo o teor desse elemento no substrato formulado com Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita (1:1) igual a 0,051 g Kg<sup>-1</sup>, enquanto

no substrato contendo apenas composto orgânico foi igual a  $2,6 \text{ g Kg}^{-1}$ . Em trabalho realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam., observou-se aumento dos teores desse nutriente nos substratos contendo biossólido (FAUSTINO et al., 2005).

Apesar de no lodo de esgoto, a concentração de potássio geralmente ser muito baixa ( $\leq 15 \text{ mg dm}^{-3}$ ), devido à solubilidade desse elemento em água, o que acarreta perda desse nutriente na solução, 100% deste nutriente é considerado assimilável pelas plantas (TSUTIYA, 2001). Dessa forma, toda fonte alternativa desse nutriente, como o lodo por exemplo, é importante para aumentar a disponibilidade desse elemento para as plantas, diminuindo gastos com fertilizantes químicos e minimizando o impacto ambiental que pode ser ocasionado por meio da disposição de resíduos no ambiente.

Segundo Andreoli et al. (1997), dos três macronutrientes secundários, cálcio, magnésio e enxofre, o primeiro está presente nos lodos essencialmente na forma mineral e as aplicações desse resíduo podem suprir as necessidades de magnésio e enxofre para a maioria das culturas agrícolas. No presente trabalho os teores desses três macronutrientes foram menores no substrato controle e maiores nos substratos que continham composto orgânico (Tabela 4). Resultados semelhantes foram relatados por Guerrini e Trigueiro (2004) e Faustino et al. (2005) que observaram aumentos nos teores desses macronutrientes nos substratos formulados com biossólido.

Os teores de cálcio ( $0,037 \text{ g Kg}^{-1}$ ) e de enxofre ( $0,102 \text{ g Kg}^{-1}$ ) do substrato controle, formado pela mistura de Plantmax<sup>®</sup> e vermiculita (1:1) (Tabela 4), são menores que os obtidos por Padovani (2006) que, avaliando a composição química do substrato comercial Plantmax<sup>®</sup>, encontrou teores de cálcio e enxofre iguais a  $8,7 \text{ g Kg}^{-1}$  e  $2,0 \text{ g Kg}^{-1}$ , respectivamente. Em contrapartida, o teor de magnésio descrito pela autora ( $0,03 \text{ g Mg Kg}^{-1}$ ) foi menor do que o teor desse elemento registrado no presente trabalho ( $0,08 \text{ g Mg Kg}^{-1}$ ). A autora encontrou teores maiores de cálcio e enxofre no substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> e teores menores desses dois nutrientes no composto de lodo de esgoto. Esse resultado difere do obtido no presente trabalho, no qual os teores de Ca, Mg e S foram maiores no composto orgânico de lodo.

Quando o lodo é aplicado em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio, geralmente as necessidades de micronutrientes das plantas também são supridas (TSUTIYA, 2001). Os teores de micronutrientes, menores no substrato controle, aumentaram à medida que se aumentou as doses de composto orgânico nos

substratos, conforme pode ser observado na Tabela 5. Aumentos significativos nos teores de sódio, zinco, cobre, manganês e ferro foram observados em substratos compostos por biossólido e teores menores desses micronutrientes foram detectados em substratos que não continham esse resíduo (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

TABELA 5. Teores de micronutrientes dos substratos de cultivo com diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

| Tratamento                                                           | B                   | Cu      | Mn      | Zn      | Fe                 |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|--------------------|
|                                                                      | mg Kg <sup>-1</sup> |         |         |         | g Kg <sup>-1</sup> |
| 100% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita                              | 0,100               | 0,010   | 0,500   | 0,040   | 0,001              |
| 80% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>20% composto orgânico | 1,280               | 63,840  | 23,860  | 97,060  | 5,240              |
| 60% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>40% composto orgânico | 2,560               | 127,680 | 47,720  | 194,120 | 10,48              |
| 40% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>60% composto orgânico | 3,840               | 191,520 | 71,580  | 291,180 | 15,72              |
| 20% Plantmax <sup>®</sup> +Vermiculita<br>+<br>80% composto orgânico | 5,120               | 255,360 | 95,440  | 388,240 | 20,96              |
| 100% composto orgânico                                               | 6,400               | 319,200 | 119,300 | 485,300 | 26,20              |

Método de digestão EPA-3051: B, Cu, Mn, Zn e Fe. Método de digestão em forno de microondas e determinação por espectrometria em emissão óptica em plasma de argônio (ICP-OES).

Os micronutrientes são nutrientes exigidos pelas plantas em menores quantidades que os macronutrientes. No entanto, mesmo sendo necessárias quantidades menores, esses elementos são essenciais no ciclo de vida das plantas, no qual o fornecimento desses nutrientes se torna indispensável para o desenvolvimento das espécies vegetais. O fornecimento dos micronutrientes por meio do uso de resíduos orgânicos pode ser uma alternativa de menor custo, uma vez que reduz o uso de fertilizantes químicos, além de diminuir os problemas relacionados com a disposição desses materiais no ambiente.

Um dos principais fatores que limita a utilização do lodo de esgoto na agricultura é a presença de metais pesados que podem contaminar o meio de cultivo e prejudicar o desenvolvimento das espécies vegetais. Os metais pesados exercem efeitos negativos no crescimento das plantas e afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo, inibindo a decomposição do material orgânico, a mineralização do nitrogênio e a

nitrificação (TSUTIYA, 2001). Dessa forma, a utilização de biossólidos na agricultura está condicionada aos limites máximos de metais estabelecidos pela legislação de cada país para uso na agricultura. No Brasil, esses limites são apresentados na Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006, baseada na Norma Norte Americana USEPA 40 CFR Part 503 (1997).

No presente trabalho, o lodo utilizado na formulação do composto orgânico foi oriundo de uma estação de tratamento de esgotos domésticos, o que explica os baixos teores de metais no composto (Tabela 6). O lodo das estações de tratamento que recebem apenas efluentes domésticos contém pequena quantidade de metais pesados provenientes da própria natureza dos resíduos e das canalizações (FERREIRA et al., 1999). Em contrapartida, os esgotos industriais são os maiores responsáveis pelos altos teores de elementos químicos tóxicos que comprometem a reciclagem agrícola desse resíduo.

TABELA 6. Teores de metais pesados do composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e limites máximos desses elementos estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/06.

|                                                 | As                  | Cd    | Pb   | Cr   | Hg    | Ni   | Se    |
|-------------------------------------------------|---------------------|-------|------|------|-------|------|-------|
|                                                 | mg Kg <sup>-1</sup> |       |      |      |       |      |       |
| Composto orgânico                               | 4,2                 | < 1,0 | 43,0 | 64,1 | < 1,0 | 15,6 | < 1,0 |
| Limites de metais pesados estabelecidos por lei | 41                  | 39    | 300  | 1000 | 17    | 420  | 100   |

Método de digestão EPA-3051: As, Cd, Pb, Cr, Hg, Ni e Se. Método de digestão em forno de microondas e determinação por espectrometria em emissão óptica em plasma de argônio (ICP-OES).

### 3.3 Medidas do processo de emergência de plântulas

O composto orgânico exerceu efeito significativo sobre o tempo inicial ( $t_i$ ), tempo médio ( $\bar{t}$ ) e tempo final ( $t_f$ ) de emergência das plântulas de couve. O  $t_i$  ocorreu entre 1 e 3,25 dias após a semeadura e prolongou-se por um período entre 2,75 e 9,5 dias ( $t_f$ ). O período em que houve maior frequência de emergência, expresso pelo tempo médio ( $\bar{t}$ ), ocorreu entre 1,45 e 5,4 dias, sendo registrados os menores valores no tratamento controle. O  $t_i$  (0,74 horas),  $\bar{t}$  (1,47 horas) e  $t_f$  (3,22 horas) de emergência foram mínimos nas concentrações de 30, 23 e 24% de composto, respectivamente, podendo-se constatar que acima dessas concentrações ocorre o aumento gradativo dessas variáveis (Figura 1).

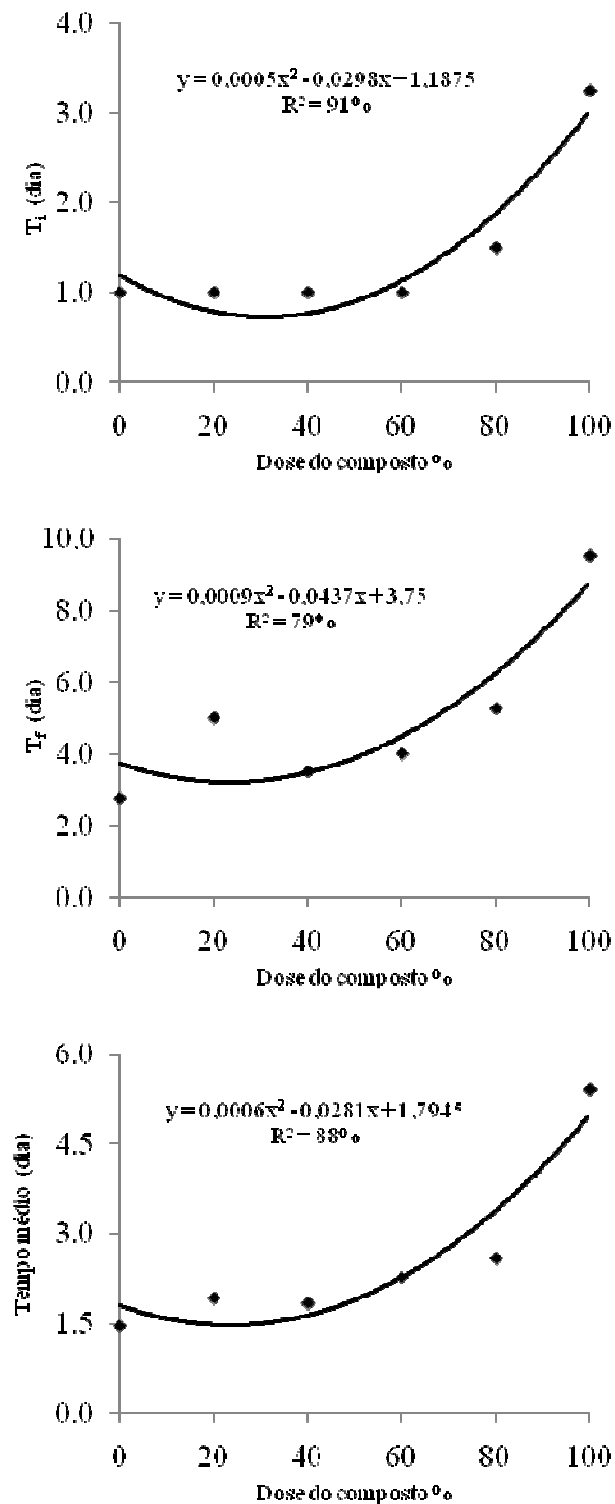


FIGURA 1. Tempo inicial ( $t_i$ ), tempo médio ( $\bar{t}$ ) e tempo final ( $t_f$ ) de emergência das plantas de *Brassica oleracea* var. *acephala* cultivadas em substratos contendo diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

A velocidade média ( $\bar{v}$ ) e a velocidade de emergência de Maguire ( $VE$ ) decresceram linearmente com a adição de composto orgânico no substrato de cultivo. O decréscimo nas duas variáveis,  $\bar{v}$  e  $VE$ , foi de aproximadamente  $0,0043 \text{ dia}^{-1}$  e  $0,1278 \text{ plântula dia}^{-1}$ , respectivamente, para cada adição de 1% de composto orgânico (Figura 2).

Os valores referentes à porcentagem de emergência ( $E$ ), ao coeficiente de variação do tempo ( $CV_t$ ), à incerteza ( $I$ ) e sincronia ( $Z$ ), não apresentaram ajuste linear ou quadrático, indicando aumentos e declínios variados, de acordo com a concentração do composto orgânico utilizada na formulação do substrato de cultivo (Tabela 7).

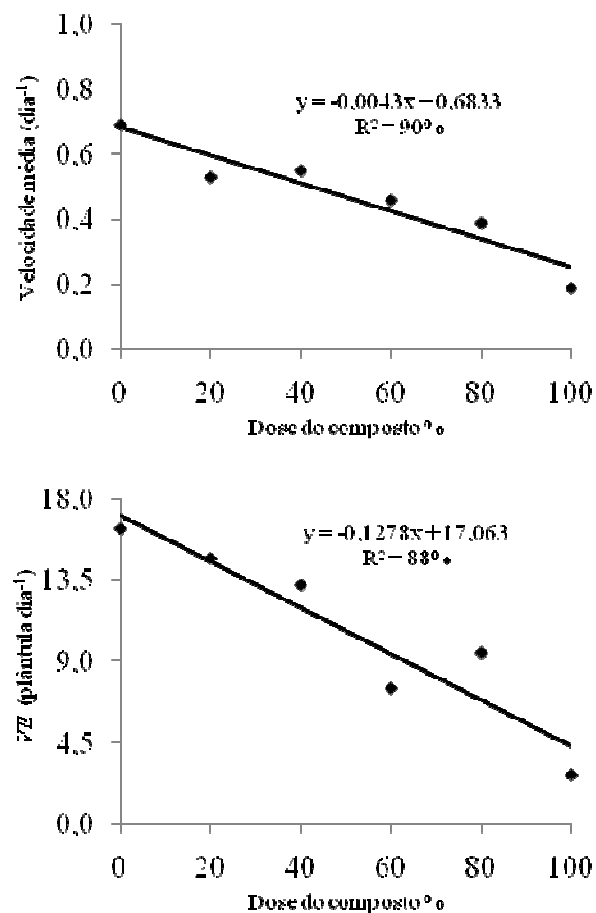


FIGURA 2. Velocidade média ( $\bar{v}$ ) e velocidade de emergência de Maguire ( $VE$ ) das plantas de *Brassica oleracea* var. *acephala* cultivadas em substratos contendo diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

TABELA 7. Porcentagem de emergência ( $E$ ), coeficiente de variação do tempo ( $CV_t$ ), incerteza ( $I$ ) e sincronia de emergência ( $Z$ ) das plântulas de *Brassica oleracea* var. *acephala* cultivadas em substratos contendo diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

| Tratamento                     | $E$ (%)              | $CV_t$ (%)           | $I$ (bit)            | $Z$                  |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 100% Plantmax+vermiculita (PV) | 84,38 ab             | 46,26 ab             | 1,14 a               | 0,48 a               |
| 80% PV + 20% de composto       | 89,58 a              | 59,38 b              | 1,67 ab              | 0,35 ab              |
| 60% PV + 40% de composto       | 82,29 ab             | 43,63 ab             | 1,54 ab              | 0,35 ab              |
| 40% PV + 60% de composto       | 59,38 b              | 39,00 ab             | 1,61 ab              | 0,34 ab              |
| 20% PV + 80% de composto       | 90,63 a              | 36,03 ab             | 1,46 ab              | 0,37 ab              |
| 100% de composto orgânico      | 56,25 b              | 30,83 a              | 2,04 b               | 0,22 b               |
| $W$ ( $P$ )                    | <b>0,978</b> (0,858) | <b>0,925</b> (0,076) | <b>0,947</b> (0,233) | <b>0,918</b> (0,052) |
| $F$ ( $P$ )                    | <b>1,222</b> (0,339) | <b>1,270</b> (0,319) | <b>1,269</b> (0,320) | <b>1,925</b> (0,140) |
| $H$ ( $P$ )                    |                      |                      |                      |                      |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey a 0,05 de probabilidade;  $W$ : estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ( $P > 0,05$ );  $F$ : estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ( $P > 0,05$ );  $H$ : estatística do teste de Kruskal-Wallis; valores em negrito indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $P < 0,05$ );  $P$ : probabilidade.

A altura da parte aérea das plantas menores e maiores, a massa seca da parte aérea e o comprimento do sistema radicular das plantas maiores foram as únicas medidas de crescimento que se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. Para as plantas maiores, o comprimento do sistema radicular (155,97 mm), a altura (24,07 mm) e a massa da matéria seca da parte aérea (0,2514 g) foram máximos nas concentrações estimadas de 44, 33 e 28% de composto orgânico, respectivamente. Para as plantas menores, a altura da parte aérea (16,71 mm) foi máxima na concentração estimada de 35% de composto orgânico. Observou-se que à medida que se aumentou a dose de composto orgânico no substrato de cultivo, até as doses mencionadas, obteve-se aumento das medidas de crescimento, sendo que a partir dessas concentrações houve redução no crescimento das plantas de couve (Figura 3). Os valores das demais medidas de crescimento não apresentaram ajuste linear ou quadrático e foram dispostos na Tabela 8.

Em trabalho avaliando a viabilidade do uso de um composto orgânico de lodo de esgoto na produção de mudas de espécies florestais, foi verificado que, à medida que se reduziu a porcentagem de composto orgânico nos substratos, houve redução da massa da matéria seca, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular das mudas. No mesmo trabalho, a autora concluiu que as espécies Ingá (*Inga uruguensis*), Mirindiba rosa (*Lafoensia glyptocarpa*), Coração de negro (*Poecilanthus parviflora*) e Ipê de jardim (*Tecoma stans* Griseb.), apresentaram melhores resultados quando cultivadas em

substratos com 80-90%, 80-100%, 80% e 70-90% de composto orgânico, respectivamente. Nessas concentrações, as mudas apresentaram melhores resultados quanto à altura da parte aérea, comprimento do sistema radicular e massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular (PADOVANI, 2006).

Estudando a viabilidade do uso de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam., Faustino et al. (2005) mencionaram que os incrementos em altura das plantas estão relacionados aos acréscimos de matéria orgânica no substrato. Observou-se que os substratos mais ricos em composto orgânico propiciaram melhor crescimento das mudas, com boa formação do sistema radicular e melhor balanço nutricional. Quanto à produção de biomassa (massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular), o substrato contendo 75% de lodo foi superior aos demais substratos, sendo que essa superioridade, segundo os autores, ocorreu devido à maior capacidade de retenção de água, oxigênio e nutrientes, além da maior porosidade, proporcionada pelo aumento de matéria orgânica presente no meio de cultivo. Os teores de nutrientes e matéria orgânica presentes nos substratos formulados com lodo de esgoto confirmam os relatos de Trigueiro e Guerrini (2003) que afirmam que a produção de mudas desenvolvidas em substrato contendo lodo é viável e promissora.

Testando mais de 50 substratos, nas suas formas simples e em misturas, Gonçalves e Poggiani (1996) observaram que os substratos mais ricos em composto orgânico propiciaram melhor crescimento das mudas, com boa formação do sistema radicular e melhor balanço nutricional. Os tratamentos utilizando lodo na concentração de 25%, suplementado com 25% de pó de coco e na concentração de 75%, apresentaram os melhores resultados, do ponto de vista agrônomo, na produção de mudas de *Senna siamea*, seguidos daquele com 50% de lodo (FAUSTINO et al., 2005).

Aos 60 dias após a semeadura de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, as mudas oriundas dos substratos com biossólido revelaram crescimento em altura muito superior em relação às mudas cultivadas no substrato comercial Multiplant<sup>®</sup>, provavelmente pelo fato desses substratos apresentarem altos teores de nitrogênio e fósforo, sendo esses nutrientes altamente requeridos nos estádios iniciais de desenvolvimento das mudas de eucalipto (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003).

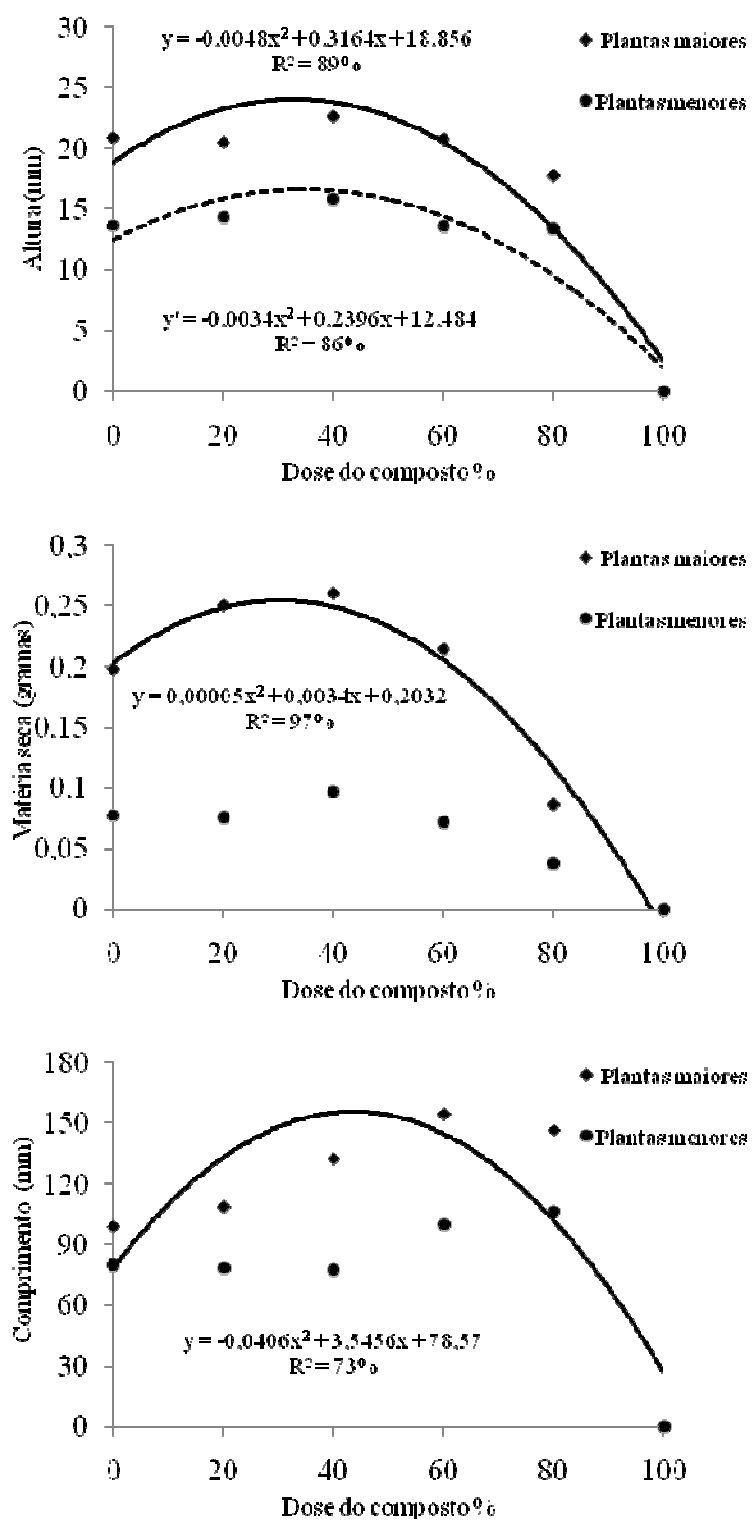


FIGURA 3. Altura da parte aérea, massa da matéria seca da parte aérea e comprimento do sistema radicular das plantas maiores e menores de *Brassica oleracea* var. *acephala* cultivadas em substratos contendo diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

TABELA 8. Comprimento do sistema radicular (CSRP), massa da matéria seca da parte aérea (MSPAP) e do sistema radicular (MSSRP) das plantas menores e massa da matéria seca do sistema radicular das plantas maiores (MSSRG) de *Brassica oleracea* var. *acephala* cultivadas em substratos contendo diferentes porcentagens de composto orgânico formulado com lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

| Tratamento                     | MSPAP<br>(g)          | MSSRG<br>(g)          | MSSRP<br>(g)  | CSRP<br>(mm)          |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| 100% Plantmax+vermiculita (PV) | 0,08 a                | 0,06 a                | 0,03 a        | 79,62 ab              |
| 80% PV + 20% de composto       | 0,08 a                | 0,04 ab               | 0,05 a        | 78,36 ab              |
| 60% PV + 40% de composto       | 0,10 a                | 0,03 ab               | 0,02 a        | 77,46 ab              |
| 40% PV + 60% de composto       | 0,07 a                | 0,07 a                | 0,03 a        | 99,53 a               |
| 20% PV + 80% de composto       | 0,04 a                | 0,03 ab               | 0,02 a        | 106,01 a              |
| 100% de composto orgânico      | 0,00 a                | 0,00 b                | 0,00 a        | 0,00 b                |
| <i>W</i> (P)                   | 0,637 (0,000)         | 0,687 (0,000)         | 0,495 (0,000) | 0,730 (0,000)         |
| <i>F</i> (P)                   | 5,383 (0,003)         | 4,386 (0,009)         | 3,228 (0,030) | 3,950 (0,014)         |
| <i>H</i> (P)                   | <b>11,520</b> (0,042) | <b>11,724</b> (0,039) | 10,299(0,067) | <b>12,766</b> (0,026) |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelos testes de Dunn a 0,05 de probabilidade; W: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ( $P > 0,05$ ); F: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ( $P > 0,05$ ); H: estatística do teste de Kruskal-Wallis; valores em negrito indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ); P: probabilidade.

## 4 CONCLUSÕES

1. O composto orgânico utilizado melhorou os atributos químicos do substrato por meio do fornecimento de macro e micronutrientes.
2. O pH ácido (3,9) do substrato contendo apenas composto orgânico provocou a morte das plantas de *Brassica oleracea* var. *acephala* após a emergência.
3. O composto orgânico apresentou teores de metais pesados e de organismos patogênicos abaixo dos limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira, o que o torna uma fonte promissora de nutrientes e matéria orgânica para substratos agrícolas.
4. A adição do composto orgânico de lodo e bagaço, em concentrações superiores a 30%, no substrato de cultivo, ocasionou o aumento do tempo inicial ( $t_i$ ), tempo médio ( $\bar{t}$ ) e tempo final ( $t_f$ ) de emergência das plântulas de couve, sendo observado decréscimo linear da velocidade média ( $\bar{v}$ ) e da velocidade de emergência de Maguire ( $VE$ ) com a adição do composto no substrato.
5. À medida que se aumentou a dose de composto orgânico no substrato de cultivo, até as doses estimadas de 44, 33 e 28%, obteve-se aumento do comprimento do sistema radicular, da altura e da massa de matéria seca da parte aérea, respectivamente, sendo que a partir dessas concentrações houve redução no crescimento das plantas de couve.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo de lodos na agricultura**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 97 p.

BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 4., 2002. Campinas. **Documentos...** Campinas: IAC, 2002. p.7-15.

CAVINS, T. J.; WHIPKER, B. E.; FONTENO, W. C.; HARDEN, B.; MCCALL, I.; GIBSON, J. L. Monitoring and managing pH and EC using the Pour-Thru Extraction Method. **Horticulture Information Leaflet 590**, New 7/2000. North Caroline State University, 2000. 17p.

FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 278-282, 2005.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; ILHENFELD, R. G. K. (Org.) **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. p. 29-33.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. Ed., Viçosa: UFV, 2003. p.284-286.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. p. 125-127.

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, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

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

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: OEA. 1983, 174p.

LABOURIAU, L. G. On the physiology of seed germination in *Vicia gramínea* Sm. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 42, p. 235-262, 1970.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait). F. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48. p. 263-284, 1976.

MAGUIRE, J. D. Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p. 176-177, 1962.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 1995. 889 p.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n. 26, v. 3, p. 505-519, 2002.

PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PENNINGSFELD, F. Kultursubstrate für den Gartenbau, besonders in Deutschland: ein kritischer Überblick. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 75, p. 269-281, 1983.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-11, 2006.

RODELLA, A. A. **Métodos de avaliação de materiais orgânicos e efeitos de sua incorporação ao solo sobre a mobilização de macronutrientes**. 1996. 148f. (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1996.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1990. 156 p.

TRANI, P. E.; FELTRIN, D. M.; POTT, C. A.; SCHWINGEL, M. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**. Campinas, v. 25, n. 2, p. 256-260, 2007.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 3, n. 64. P. 150-162, 2003.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamentos de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Bioossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 89-131.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Analyses**, New York, v. 13, n. 19, p. 1467-1476, 1988.