**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxibutirato
mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e
clonais de eucalipto**

José Carlos Arthur Junior

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais, com
opção em Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2011**

José Carlos Arthur Junior
Engenheiro Florestal

Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxibutirato mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Arthur Junior, José Carlos

Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxibutirato mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto /José Carlos Arthur Junior.
- - Piracicaba, 2011.

128 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Biodegradação 2. Cultivo em tubete 3. Eucalipto 4. Materiais compósitos 5. Mudas - produção 6. Polímeros sintéticos I.Título

CDD 634.9734
A788u

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A Deus, pela vida.

Aos meus queridos pais, Sonia Aparecida Kess Arthur e José Carlos Arthur, pelo exemplo de pessoas, pela dedicação, pelo incentivo e pelo amor em todos os momentos da minha vida.

Aos meus familiares, Aline, Cristiane, Daniela, Gustavo, Débora, Junior, Ivonete, Alexandre, Angélica, pela convivência e paciência.

OFEREÇO

Aos amores da minha vida, minha esposa Michele Cardoso dos Santos Arthur e a minha filha Maria Clara Arthur, pelo amor, pelo carinho, pela inspiração e pelo apoio contínuo e por alegrar cada dia da minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves, pela oportunidade, pela confiança, pela orientação, pelos ensinamentos que contribuiu desde a graduação para a minha formação acadêmica e humana.

Aos companheiros de muitas coletas, Engenheiro Florestal Bruno Marco de Lima, Auxiliar de Campo Donizete Aparecido Sabino e Auxiliar de Campo José Francisco Teixeira (em memória) cuja amizade levarei sempre no coração. Obrigado pela grande contribuição na realização deste projeto.

Aos Engenheiros Florestais Cláudio Roberto Silva (Fibria), e aos técnicos Dimas, (Fibria), Narcísio Cardoso e Jair Gabriel (IP), Fernando M. da Silva (Suzano), Eduardo (Eucatex) e José Carlos Madaschi (Viveiro Camará).

A Engenheira Florestal e companheira de PTSM, Ana Paula Pulito Silva, e a todos os estagiários do programa por todo apoio e auxílio.

Ao Engenheiro Florestal Clayton Alcarde Alvares, companheiro de pós-graduação, pela ajuda nos cálculos estatísticos.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 Produção de mudas de eucalipto.....	27
2.2 Uso de tubetes na produção de mudas de eucalipto.....	28
2.3 Polímeros sintéticos.....	32
2.4 Polímeros biodegradáveis.....	34
2.4.1 Polihidroxibutirato (PHB).....	35
2.4.2 Compósitos.....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1 Decomposição de tubetes de compósito com doses crescentes de nitrogênio na fertilização de base em duas estações climáticas.....	41
3.1.1 Recipientes.....	41
3.1.2 Localização e caracterização da área experimental.....	41
3.1.3 Etapas de produção das mudas.....	42
3.1.4 Delineamento experimental.....	42
3.1.5 Mensurações.....	43
3.1.6 Isolamento e identificação de microrganismos.....	43
3.2 Desenvolvimento de mudas seminais no viveiro e no campo em duas estações climáticas.....	44
3.2.1 Recipientes.....	44
3.2.2 Localização e caracterização da área experimental.....	44
3.2.3 Etapas de produção e de plantio das mudas seminais.....	45
3.2.4 Delineamento experimental.....	45
3.2.5 Mensurações.....	46
3.3 Desenvolvimento de mudas clonais em tubetes e em minitubete de compósito e de polipropileno no viveiro e no campo.....	47

3.3.1	Recipientes.....	47
3.3.2	Localização e caracterização da área experimental.....	47
3.3.3	Etapas de produção e de plantio das mudas clonais.....	48
3.3.4	Delineamento experimental.....	48
3.3.5	Mensurações.....	49
3.4	Análise estatística.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1	Taxa de decomposição dos compósitos.....	51
4.2	Decomposição dos compósitos em função da fertilização nitrogenada.....	57
4.3	Decomposição dos compósitos em diferentes estações climáticas.....	58
4.4	Crescimento, produção de biomassa e concentração de nutrientes nas mudas seminais.....	61
4.5	Crescimento, produção de biomassa e taxa de decomposição dos compósitos nos plantios seminais.....	65
4.6	Crescimento, produção de biomassa e taxa de decomposição do compósito na produção de mudas clonais.....	75
4.7	Crescimento, produção de biomassa, concentração de nutrientes e taxa de decomposição do compósito nos plantios clonais.....	85
5	CONCLUSÕES.....	117
	REFERÊNCIAS.....	121

RESUMO

Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxibutirato mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto

O início do uso de tubete na década de 80 revolucionou os viveiros, e hoje mesmo apresentando desvantagens, é amplamente difundido em todo o setor florestal. Esses tubetes de polipropileno, derivado do petróleo, possuem dois problemas: uso de fonte não renovável e resíduos para descarte. Uma alternativa é a substituição por plásticos biodegradáveis. Os objetivos foram avaliar: (a) a taxa de decomposição do compósito; (b) o crescimento em altura e em diâmetro do colo (DAC); (c) a produção de biomassa aérea e radicular; (d) a concentração de nutrientes nos tecidos vegetais; (e) a eficiência do uso de condições ambientais e de atributos do solo para prever a taxa de decomposição. Os estudos no processo seminal ocorreram no viveiro da ESALQ, em Piracicaba. Para estudar a taxa de decomposição do compósito, utilizaram-se formulações com 20 e 30% (p p⁻¹) de pó de madeira. No verão e no inverno aplicaram-se 150; 225 e 300 g de N m⁻³ de substrato na fertilização de base. A diminuição de massa foi mensurada a cada dez dias, até 90 dias. Avaliou-se se o crescimento em altura e em DAC de mudas seminais entre 40-90 dias após a semeadura, a produção de biomassa e concentração de macronutrientes aos 90. No plantio realizado na E.E.C.F. de Anhembi, em três blocos ao acaso avaliou-se o crescimento em altura, em DAC e de produção biomassa, aos 15, 30, 45, 60, 90 e 120 dias. Para as mudas clonais utilizou-se tubete e minitubete de polipropileno, tubetes na coloração normal e na coloração escurecida, e minitubete de compósito. O estudo realizou-se em quatro viveiros e quatro plantios de *Eucalyptus* sp. no estado de São Paulo. No viveiro utilizou-se 4 blocos casualizados. O crescimento em altura e em DAC, e a biomassa foram mensurados aos 90 dias. O plantio clonal em três blocos ao acaso foi mensurado em altura, DAC e produção de biomassa aos 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias. A concentração de macronutrientes foi determinada aos 150 dias. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade, de homogeneidade de variâncias, da Análise de Variância e de Tukey. A análise da relação entre as variáveis dependentes e independentes foi realizada por meio de análises de correlação e de regressão. O aumento da dose de N e do teor de madeira não proporcionou aumento da taxa de decomposição, ao contrário da estação climática. A abertura de fissuras causou deformação do tubete, dificultando o manejo. As mudas seminais, crescimento e biomassa não diferiram no verão. Os plantios seminais não diferiram em crescimento e em biomassa. No sistema clonal crescimento e biomassa diferiram nos viveiros. No plantio clonal, crescimento e produção de biomassa não diferiram em três sítios. Tubetes e minitubete de compósito não impediram o desenvolvimento do sistema radicular. A diminuição da massa dos tubetes ou minitubete de compósito, em produção de mudas seminais ou clonal, pôde ser prevista com alta precisão em função das condições ambientais. Da mesma forma nos plantios seminais. No plantio clonal pelo menos em dois sítios houve alta relação.

Palavras-chave: Produção de mudas; Tubetes; Polímero biodegradável; Polihidroxibutirato; Compósito; Decomposição

ABSTRACT

Use of tubes and minitubes of polyhydroxybutyrate plus wood powder composite in the production and planting of eucalyptus seedlings and cuttings

The introduction of plastic tubes on 80's revolutionized nurseries, and nowadays even with disadvantages, is widespread throughout the forest sector. These polypropylene tubes, derived from petroleum, have two problems: use of a nonrenewable resource and waste for disposal. An alternative is the substitution for biodegradable plastics. The objectives were to assess: (a) the rate of decomposition of the composite, (b) the growth in height and ground level diameter (DAC), (c) the production of stem and root biomass, (d) the concentration of nutrients on plant tissues, (e) the efficiency of use of environmental conditions and soil properties to predict the rate of decomposition. Studies in the seminal case occurred in ESALQ's nursery, Piracicaba. To study the rate of decomposition of composite were used formulations with 20 and 30% (p p⁻¹) of wood powder. During summer and winter were applied 150, 225 and 300 g N m⁻³ of substrate for base fertilization. Decrease in mass was measured every ten days until 90 days. We evaluated the growth in height and DAC from seedlings between 40-90 days after sowing, the production of biomass and macronutrients at 90. On planting, held at E.E.C.F. of Anhembi in three randomized blocks, were evaluated height growth, DAC and biomass production at 15, 30, 45, 60, 90 and 120 days. For cuttings, we used minitubes and tubes of polypropylene, and tubes with normal and darkened colors, and minitubes of composite. The study took place in four nurseries and four *Eucalyptus* sp. plantations at state of São Paulo. At nursery we used four randomized blocks. The growth in height, DAC and biomass were measured at 90 days. The clonal plantation in three randomized blocks was measured in height, DAC and biomass production at 15, 30, 60, 90, 120 and 150 days. The concentration of macronutrients was determined at 150 days. Data were tested for normality, homogeneity of variance, analysis of variance and Tukey test. Analysis of relationship between dependent and independent variables was performed using correlation and regression. The increase of N and wood content did not increase the rate of decomposition, unlike the weather season. Opening of cracks caused deformation of the tube, making it difficult to manage. The growth and biomass of seedlings did not differ on summer. Seminal plantations did not differ in growth and biomass. At clonal system, growth and biomass differed in nurseries. In clonal plantation, growth and biomass production did not differ at three sites. Minitube and tubes of composite did not prevent the development of root system. Decrease of tube or minitube of composite masses in production from seedlings or cuttings was predicted with high accuracy, as a function of environmental conditions. Likewise in seminal plantations. In clonal planting, at least two sites, showed high relation.

Keywords: Seedling production; Tubes; Biodegradable polymer; Polyhydroxybutyrate; Composite; Decomposition

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação de uma parcela no campo.....	45
Figura 2 -	Figura 2 - Classificação qualitativa dos tubetes (a) e do minitubete (b) de compósito.....	49
Figura 3 -	Aspecto dos tubetes de compósitos F1 (1) e F2 (2), no verão, que receberam a aplicação de 150 (a), 225 (b) e 300 (c) g de N m ⁻³ de substrato, após 10, 20,30, 40, 50, 60,70, 80 e 90 dias da sementeira (da esquerda para a direita).....	53
Figura 4 -	Aspecto interno dos tubetes de compósitos F1 (1) e F2 (2), antes (a) e após (b) noventa dias da sementeira.....	54
Figura 5 -	Aspecto do sistema radicular e dos tubetes aos 90 dias após sementeira, no tubete de polipropileno (a) e de compósito F1 (b e c) e F2 (d e e).....	55
Figura 6 -	Colônia dos fungos dos gêneros <i>Fusarium</i> sp. (a), <i>Lasiodiplodia</i> sp. (b), <i>Penicillium</i> sp. (c) e <i>Pestalotiopsis</i> sp. (d) identificados no isolamento.....	56
Figura 7 -	Colônia das bactérias dos gêneros <i>Pectobacterium</i> sp. (a) e <i>Pseudomonas</i> sp. (b) identificadas no isolamento.....	56
Figura 8 -	Massa dos tubetes de compósito F1 (a) e F2 (b), no verão (1) e no inverno (2), que receberam aplicação de 150 (y ₁), 225 (y ₂) e 300 (y ₃) g de N m ⁻³ de substrato, entre a sementeira e noventa dias após. A barra junto às médias representa seu erro padrão.....	60
Figura 9 -	Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b) das mudas, entre 40 e 90 dias após a sementeira, no verão (1) e no inverno (2), produzidas nos tubetes de polipropileno (y ₁) e de compósitos F1 (y ₂) e F2 (y ₃). A barra junto às médias representa seu erro padrão.....	62
Figura 10 -	Aspecto das mudas, aos 90 dias após a sementeira, produzidas nos tubetes de polipropileno (PP), e de compósito F1 e F2, no verão (a) e no inverno (b).....	63
Figura 11 -	Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), aos 90 dias após a sementeira no verão (1) e no inverno (2), das mudas produzidas nos tubetes de polipropileno e de compósitos F1 e F2. A barra junto às médias representa seu erro padrão.....	64

- Figura 12 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), entre o plantio e 120 dias pós-plantio, no outono (1) e na primavera (2), com as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno (y_1) e de compósitos F1 (y_2) e F2 (y_3). A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 66
- Figura 13 - Temperatura média (1), umidade relativa do ar média (2) e precipitação acumulada (3) dos períodos de avaliação nos plantios de outono (a) e da primavera (b)..... 67
- Figura 14 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio aos 120 dias, das mudas produzidas nos tubetes de polipropileno (y_1) e de compósitos F1 (y_2) e F2 (y_3), no plantio de outono (1) e da primavera (2). A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 68
- Figura 15 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (letras maiúsculas) e 30 (letras minúsculas) dias após o plantio no campo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósitos F1 (2) e F2 (3), nos plantios de outono (A e a) e da primavera (B e b)..... 70
- Figura 16 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 45 (letras maiúsculas) e 60 (letras minúsculas) dias após o plantio no campo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósitos F1 (2) e F2 (3), nos plantios de outono (A e a) e da primavera (B e b)..... 71
- Figura 17 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 90 (letras maiúsculas) e 120 (letras minúsculas) dias após o plantio no campo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósitos F1 (2) e F2 (3), nos plantios de outono (A e a) e da primavera (B e b)..... 72
- Figura 18 - Diminuição da massa dos tubetes de compósitos F1 (y_1) e F2 (y_2), entre 0 e 120 dias após o plantio (a), e entre 0 e 210 dias (b), compreendendo a produção e o plantio das mudas produzidas no verão (1) e no inverno (2). A barra junta às médias representa seu erro padrão..... 73
- Figura 19 - Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Bofete..... 77

- Figura 20 - Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Mogi Guaçu..... 78
- Figura 21 - Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Ibaté..... 79
- Figura 22 - Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Jacareí..... 80
- Figura 23 - Massa dos tubetes de compósito na coloração normal (a), na escurecida (b), e no minitubete (c), antes e após 90 dias do estaqueamento, nos quatro viveiros. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 82
- Figura 24 - Número médio de fissura, aos 90 dias após o estaqueamento, nos tubetes de compósito na coloração normal (1) e na coloração escurecida (2), e no minitubete (3), nos viveiros de Bofete (a), de Ibaté (b) e de Jacareí (c)..... 84
- Figura 25 - Frequência média, aos 90 dias após o estaqueamento, das notas qualitativas dos tubetes de compósito na coloração normal e na escurecida, e do minitubete, nos viveiros de Bofete (a), de Ibaté (b) e de Jacareí (c)..... 85
- Figura 26 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Botucatu. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 86
- Figura 27 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Mogi Guaçu. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 87

- Figura 28 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de São Miguel Arcanjo. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 88
- Figura 29 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Santa Branca. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 89
- Figura 30 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Botucatu. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 92
- Figura 31 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Mogi Guaçu. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 93
- Figura 32 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de São Miguel Arcanjo. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 94
- Figura 33 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Santa Branca. A barra junto às médias representa seu erro padrão..... 95
- Figura 34 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)..... 96

Figura 35 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	97
Figura 36 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	98
Figura 37 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Mogi Guaçu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	99
Figura 38 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Mogi Guaçu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	100
Figura 39 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Mogi Guaçu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	101
Figura 40 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de São Miguel Arcanjo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	102
Figura 41 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de São Miguel Arcanjo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	103

Figura 42 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de São Miguel Arcanjo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	104
Figura 43 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Santa Branca, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	105
Figura 44 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Santa Branca, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	106
Figura 45 -	Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Santa Branca, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5).....	107
Figura 46 -	Temperatura média (1) e precipitação acumulada (2), dos períodos de avaliação, nos sítios de Botucatu (a), de Mogi Guaçu (b), de São Miguel Arcanjo (c) e de Santa Branca (d).....	111
Figura 47	Diminuição da massa dos tubetes de compósito na coloração normal (y_1) e na escurecida (y_2), e do minitubete (y_3), do plantio até 150 dias após, nos sítios de Botucatu (a), de Mogi Guaçu (b), de São Miguel Arcanjo (c) e de Santa Branca(d). A barra junto às médias representa seu erro padrão.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Propriedades mecânicas do polihidroxibutirato PHB e do polipropileno (PP).....	37
Tabela 2 -	Propriedades do PHB e do pó de madeira fornecida pelas empresas.....	41
Tabela 3 -	Atributos químicos do Latossolo Amarelo (0-20 cm).....	44
Tabela 4 -	Localização geográfica, condições ambientais e genótipo dos diferentes viveiros e sítios.....	47
Tabela 5 -	Atributos químicos e físicos dos solos (camada 0-20 cm) nos diferentes sítios.....	48
Tabela 6 -	Resultado da Análise de Variância com os valores e as probabilidades do teste F dos dados transformados.....	51
Tabela 7 -	Diminuição média de massa dos tubetes de compósito, nas diferentes doses de N, nas estações de verão e de inverno, em diferentes tempos.....	52
Tabela 8 -	Temperaturas médias das mínimas, das médias e das máximas, umidades relativas do ar médias das mínimas, das médias e das máximas, e precipitação acumulada (chuva+irrigação), no verão e no inverno, a cada 10 dias e no período total de avaliação. Os valores entre parênteses são o erro padrão.....	58
Tabela 9 -	Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete^{-1}) dos tubetes de compósito, nas duas estações climáticas em função de diferentes variáveis independentes.....	60
Tabela 10 -	Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 9, para as diferentes variáveis independentes.....	61
Tabela 11 -	Concentração e conteúdo médio dos macronutrientes nos diferentes componentes das mudas e recipientes, aos 90 dias após a semeadura, no verão. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses.....	65
Tabela 12 -	Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete^{-1}) dos tubete de compósito, nos dois plantios em função de diferentes variáveis independentes.....	74

Tabela 13 -	Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 12, para as diferentes variáveis independentes.....	74
Tabela 14 -	Crescimento médio em altura ¹ , em diâmetro do colo (DAC) ¹ , e produção de biomassa ¹ dos diferentes componentes das mudas, aos 90 dias após o estaqueamento, nos diferentes viveiros. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses.....	76
Tabela 15 -	Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete ⁻¹) nos diferentes tubetes e minitubete de compósito, em função de diferentes variáveis independentes.....	83
Tabela 16 -	Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 15 para as diferentes variáveis independentes.....	83
Tabela 17 -	Concentração média dos macronutrientes nos diferentes componentes das mudas e recipientes, aos 150 dias após o plantio, nos diferentes sítios. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses.....	109
Tabela 18 -	Concentração média dos macronutrientes nos diferentes componentes das mudas e recipientes, aos 150 dias após o plantio, nos diferentes sítios. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses.....	110
Tabela 19 -	Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete ⁻¹) dos diferentes recipientes de compósito, nos quatro sítios, em função de diferentes variáveis independentes.....	114
Tabela 20 -	Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 19, para as diferentes variáveis independentes.....	115

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem crescente relevância para o país, sendo que atualmente há mais de 4,0 milhões de hectares de efetivo plantio de florestas de eucalipto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF, 2009). O setor de base florestal tem participação significativa no Produto Interno Bruto Nacional (US\$ 1,3 trilhão), representando 3,4% do PIB nacional, ou seja, US\$ 44,6 bilhões (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2008). Dentre as espécies florestais utilizadas, o gênero eucalipto vem sendo implantado por empresas de florestamento em virtude do rápido crescimento, da ampla gama de utilização, da alta produtividade e da adaptabilidade em diferentes condições edafoclimáticas (GONÇALVES, 2002).

O êxito na formação de florestas de alta produção depende em grande parte do padrão de qualidade das mudas (FERREIRA; DAVIDE; CARAVALHO, 1999; GOMES, 1991; FONSECA, 2000; GOMES et al., 2002). Para atingir a qualidade necessária, a produção de mudas em recipientes é o sistema mais utilizado, principalmente por permitir melhor controle da nutrição e proteção das raízes, além de propiciar o manejo mais adequado no viveiro, no transporte, na distribuição e no plantio (GOMES et al., 2003).

O uso de tubete no início da década de 80 revolucionou os viveiros tradicionais de saco plástico e trouxe avanços em termos de rendimentos operacionais, redução de mão de obra, possibilidade de automação de operações e diminuição dos problemas ergonômicos (CAMPINHOS JR. & IKEMORI, 1983; STAPE; BALLONI; BACAXIXI, 1987 apud ZANI FILHO; BALLONI; STAPE, 1989). No entanto, esse tipo de recipiente impõe restrição radicial (REIS; REIS; MAESTRI, 1989), favorecendo o surgimento de deformações (REIS et al., 1991, 1996). E essas deformações podem permanecer após a fase de viveiro, reduzindo o crescimento das plantas no campo (FREITAS et al., 2005). Mesmo apresentando desvantagens, o uso do tubete de polipropileno é amplamente difundido em todo o setor florestal. O uso de minitubete na produção de mudas florestais não tem sido discutido pela comunidade científica. Segundo Gonçalves (2010) esse recipiente pode reduzir: 38% o consumo de insumos, o período de

produção da muda, o custo do recipiente em torno de R\$17,00/milheiro e 5% no custo final da muda.

O tubete utilizado para produção de mudas é feito de polipropileno, um dos diversos plásticos sintéticos derivados do petróleo. O uso de plásticos sintéticos tem causado problemas, pois é oriundo de fonte não renovável e gera grande quantidade de resíduos para descarte. A baixa degradabilidade no ambiente, aliado a outros problemas ambientais como intoxicação, acumulação de compostos tóxicos e morte de animais marinhos por grânulos de plástico, tem feito a comunidade científica refletir sobre alternativas. Uma delas é a substituição dos polímeros convencionais pelos similares biodegradáveis (PICCOLI, 2000), que se degradam completamente por ataque microbiano em curto espaço de tempo, sob condições apropriadas do meio ambiente.

O polihidroxibutirato (PHB), principal membro da classe dos polialcanoatos, apresenta boa biocompatibilidade, é 100% biodegradável, é resistente a água, é um polímero termoplástico, possibilitando as mesmas aplicações de polímeros convencionais (LEMOGNIE, 1995 apud PACHEKOSKI, 2005), e é sintetizado por microorganismos a partir de materiais renováveis como açúcares ou outra fonte de carbono. O PHB puro é muito difícil de ser processado e injetado, dessa forma o emprego da carga é muito vantajoso em relação ao processamento do polímero. A adição do pó de madeira melhorou o processamento do polímero proporcionalmente ao aumento da carga e o emprego da carga reduziu o preço do material (COSTA et al., 2006). Além disso, o aumento do teor de pó de madeira no compósito levou a uma diminuição da resistência química, a um aumento na taxa de absorção de umidade e, conseqüentemente, à maior velocidade de degradação no ambiente (CARASCHI; RAMOS; LEÃO, 2002). Apesar das inúmeras vantagens os plásticos biodegradáveis são mais caros, e têm aplicações mais limitadas que os sintéticos, por serem menos flexíveis (CHANDRA; RUSTGI, 1998 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

O uso do tubete ou de alguma embalagem semelhante e, preferencialmente, biodegradável, visualizada por Gomes, Couto e Pereira (1985), ainda não é realidade. É necessário repensar se o uso de recipientes oriundos de fontes não renováveis deva permanecer em prol de maximizar lucros em detrimento de impactos ambientais.

Nesse contexto:

Sabendo-se que alterar a relação C:N, pode-se favorecer o desenvolvimento de microrganismos; e que o aumento do teor de pó de madeira aumentou a decomposição do compósito (CARASCHI; RAMOS; LEÃO, 2002), propõem-se as seguintes hipóteses:

- I. O aumento da dose de nitrogênio na fertilização de base aumenta a taxa de decomposição do tubete de compósito.
- II. O aumento do teor de madeira aumenta a taxa de decomposição do tubete de compósito.

Considerando a possibilidade de que as condições climáticas exercem efeito sobre a taxa de decomposição do compósito propõe-se a seguinte hipótese:

- III. A decomposição do compósito é maior no verão do que no inverno.

Considerando a possibilidade de que o tubete de compósito irá sofrer decomposição e que isso pode causar competição entre a muda e os microrganismos por nutrientes, principalmente por nitrogênio; e, que a decomposição do tubete pode causar deformações na estrutura e perda de substrato, propõe-se a seguinte hipótese:

- IV. O desenvolvimento de mudas seminais produzidas nos tubetes de compósito é menor do que no tubete de polipropileno.

Considerando a possibilidade de que as mudas produzidas nos tubetes de compósito crescerão menos no viveiro; e, que o tubete de compósito irá restringir fisicamente o sistema radicular, propõe-se a seguinte hipótese:

- V. O desenvolvimento do plantio de mudas seminais produzidas nos tubetes de compósito é menor do que no tubete de polipropileno.

Considerando as mesmas possibilidades da hipótese IV; o uso do minitubete pode ser uma alternativa de redução de custo do recipiente de compósito; e, que não há informações na literatura sobre o uso de minitubete, propõe-se a seguinte hipótese:

- VI. O desenvolvimento de mudas clonais produzidas nos tubetes e no minitubete de compósito é menor do que no tubete e no minitubete de polipropileno.

Sabendo-se que os recipientes na coloração negra absorvem maior quantidade de radiação solar, conseqüentemente aumentam de temperatura, e que isso pode favorecer o desenvolvimento radicular, propõe-se a seguinte hipótese:

- VII. O desenvolvimento de mudas clonais produzidas no tubete de compósito na coloração escurecida é maior do que na coloração normal.

Considerando as mesmas possibilidades da hipótese V propõe-se a seguinte hipótese:

- VIII. O desenvolvimento do plantio de mudas clonais produzidas nos tubetes e no minitubete de compósito é menor do que no tubete e no minitubete de polipropileno.

Considerando a possibilidade de que as condições climáticas exercem efeito sobre a taxa de decomposição do compósito nos diferentes viveiros e sítios, propõe-se a seguinte hipótese:

- IX. É possível estimar a taxa de decomposição do compósito em viveiro em função das condições ambientais, e em campo em função das condições e dos atributos do solo.

Assim, os objetivos do estudo foram avaliar: (a) a taxa de decomposição do compósito; (b) o crescimento em altura e em diâmetro do colo; (c) a produção de biomassa aérea e radicular; (d) a concentração de nutrientes nos tecidos vegetais; (e) a eficiência do uso de condições ambientais e de atributos do solo para prever a taxa de decomposição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de mudas de eucalipto

A produção de mudas de essências florestais é uma questão discutida por diversos autores, principalmente no que diz respeito à escolha do método de produção, do substrato, do manejo nutricional, do tipo e do tamanho dos recipientes. Para Parviainen, Carneiro e Kolström (1992), fatores biológicos, técnicos e econômicos afetam a escolha do método de produção de mudas. Os fatores na qual o produtor de mudas leva em conta quando decide qual método de produção adotará podem incluir o fácil manuseio, transporte e plantio das mudas, racionalização das atividades do viveiro e o preço unitário das mudas. Contudo, o critério mais importante na escolha do tipo de muda usada é o sucesso do plantio no campo.

O êxito na formação de florestas de alta produção depende em grande parte do padrão de qualidade das mudas (FERREIRA; DAVIDE; CARVALHO, 1999; GOMES, 1991; FONSECA, 2000; GOMES et al., 2002) e aos índices que indicam a sobrevivência e estabelecimento do povoamento, a frequência dos tratos culturais e o crescimento inicial das florestas. O uso desses índices é necessário para avaliar o sucesso do empreendimento florestal (GOMES, 1991; FONSECA, 2000; GOMES et al., 2002).

Leite et al. (2005), destacam que em um projeto de reflorestamento a qualidade das mudas é importante, por estar relacionada diretamente com qualidade do povoamento e ainda, como a floresta é um investimento de longo prazo, o dispêndio com a qualidade de mudas associadas aos custos da qualidade são de fundamental importância.

O crescimento semelhante entre povoamentos florestais, plantados com mudas de qualidade diferente, poderá ocorrer, porém a mortalidade nos primeiros anos pode apresentar uma estreita relação com o método de produção (FREITAS; KLEIN, 1993).

Além de resistência às condições adversas encontradas no campo após o plantio, busca-se ainda produzir árvores com crescimento volumétrico economicamente

desejável (GOMES, 2001). Para que isso possa ser viabilizado, as mudas deverão apresentar características como:

a) parte aérea sem bifurcações, sem tortuosidades, sem deficiências minerais e sem estiolamentos; b) sistema radicial com raiz principal reta, sem bifurcações, sem enovelamentos e com raízes secundárias bem distribuídas, apresentando uma boa arquitetura e formando um torrão bem agregado ao substrato; c) boa relação da parte aérea com o sistema radicial; d) bom aspecto fitossanitário e isentas de pragas e doenças; e) altura compatível com as exigências climáticas, edáficas e com os métodos e técnicas de plantio; e f) estarem lignificadas, para resistirem às condições adversas do campo, sobreviverem e crescerem satisfatoriamente (GOMES, 2001).

2.2 Uso de tubetes na produção de mudas de eucalipto

A produção de mudas em recipientes é o sistema mais utilizado, principalmente por permitir a melhor qualidade, devido ao melhor controle da nutrição e à proteção das raízes contra os danos mecânicos e a desidratação, além de propiciar o manejo mais adequado no viveiro, no transporte, na distribuição e no plantio (GOMES et al., 2003).

Biologicamente, as funções de um bom recipiente são: a) conter um substrato que permita bom crescimento e nutrição das raízes; b) proteger as raízes de danos mecânicos e desidratação; c) promover boa formação do sistema radicular; d) garantir máxima sobrevivência no campo e bom crescimento inicial, sendo necessário, então, que o substrato permaneça em contato com o sistema radicular; e) embrulhar ou envolver o sistema radicular (CAMPINHOS JR.; IKEMORI, 1983).

Operacionalmente, as suas funções são: a) ter forma uniforme; b) ser facilmente manuseável no viveiro, no transporte e no plantio; e, c) possibilitar mecanização: enchimento, semeadura, plantio, etc. (CAMPINHOS JR.; IKEMORI, 1983).

A escolha do recipiente para a produção das mudas, diante da diversificada oferta, depende da quantidade de mudas a serem produzidas, organização e eficiência nas operações de plantio, sendo que na fase de viveiro devem também ser consideradas as necessidades biológicas e operacionais das mudas (TINUS; McDONALD, 1979). Com a rápida evolução dos processos tecnológicos, procurando sistemas de alta

produtividade, sempre podem correr riscos de que as características biológicas sejam ignoradas (CARNEIRO, 1995).

O tipo de recipiente e suas dimensões exercem influências sobre a qualidade e os custos de produção de mudas de espécies florestais (CARNEIRO, 1987). Mesmo tendo havido evoluções nas técnicas de produção de mudas, ainda existem muitos problemas a serem solucionados, principalmente na produção de mudas em recipientes, onde inúmeros problemas são apontados, principalmente aqueles relacionados com a formação do sistema radicular (MATTEI, 1994).

As pesquisas com embalagens para a produção de mudas têm sido muito dinâmicas e sempre acatando o princípio de que o sistema radicular é importante, devendo apresentar boa arquitetura, e que, por ocasião do plantio, deverá sofrer o mínimo de distúrbios, o que permite que a muda seja plantada com um torrão sólido e bem agregado a todo sistema radicular, favorecendo a sobrevivência e o crescimento inicial no campo (GOMES et al., 2003).

Dentre os diversos tipos de recipientes e substratos testados o que predominou, até o início da década de 80, foi o "saco plástico" com o substrato "terra de sub-solo" (ZANI FILHO; BALLONI; STAPE, 1989). Apesar dos inconvenientes operacionais apresentados por esse tipo de recipiente/substrato, tais como: dificuldade de mecanização da operação de enchimento, enovelamento do sistema radicular, peso excessivo das mudas para transporte e distribuição no campo, etc. (CAMPINHOS JR.; IKEMORI, 1982; CARNEIRO, 1995), o seu uso foi generalizado por muitos anos, principalmente em razão da falta de alternativas melhores, bem como pelo menor custo de aquisição e baixo investimento em infra-estrutura na implantação dos viveiros (PAIVA & GOMES, 1995), e o bom desenvolvimento e a qualidade das mudas produzidas.

As exigências de formação de mudas pelo método de propagação vegetativa por estaquia levou Campinhos Jr. e Ikemori (1982) a pesquisar novos tipos de recipientes. O sistema "dibble-tube" para produção de mudas de essências foi introduzido, na Aracruz, para produzir mudas de eucalipto por enraizamento de estacas no início da década de 80. Segundo Campinhos Jr. e Ikemori (1983) consistia no uso de tubos plásticos (polietileno ou polipropileno), levemente cônicos e de vários tamanhos (para

diferentes espécies florestais), fundidos em bloco, na forma de bandeja, ou isolados, para serem colocados em suporte de poliestireno ou polietileno de alta densidade. No interior do tubo (no sentido do comprimento) existiam quatro pequenas "costelas" ou saliências equidistantes, que dirigiam as raízes para o furo existente no fundo. As raízes, saindo pelo furo, morriam em contato com o ar, pois os recipientes estavam suspensos do chão pela bandeja.

O emprego desse novo recipiente na formação de mudas revolucionou os viveiros tradicionais de saco plástico e trouxe avanços excepcionais em termos de rendimentos operacionais, redução de mão de obra, possibilidade de automação de várias operações e diminuição dos problemas ergonômicos (CAMPINHOS JR. & IKEMORI, 1982; STAPE, BALLONI & BACAXIXI, 1987 apud ZANI FILHO; BALLONI; STAPE, 1989).

Gonçalves et al. (2000) destacam como principais vantagens do uso dos tubetes comparado aos sacos plásticos: elevar o grau de mecanização, reduzir o consumo de substrato, os substratos orgânicos são mais leves, melhores condições ergonômicas e de higiene, facilidade de remoção e manuseio das mudas, maior produção por unidade de área, menor custo de transporte, possibilidade de reutilização, maior facilidade e rapidez de distribuição e plantio das mudas; e como desvantagens: alto investimento inicial em materiais e equipamentos, maior demanda de irrigação no viveiro e no pós-plantio e maior probabilidade de efeito salino dos fertilizantes.

Nesses pequenos recipientes as mudas dispõem de pequena reserva de nutrientes. Durante a rápida fase de crescimento das mudas, tanto as concentrações como o balanço de nutrientes precisam ser alterados frequentemente, em períodos curtos. Para atingir taxas ótimas de crescimento, é preciso assegurar que o meio de crescimento das mudas receba um constante e equilibrado suprimento de todos os nutrientes essenciais (VALERI; CORRADINI, 2000).

No entanto, tem sido constatado que esse tipo de recipiente impõe restrição radicular (REIS; REIS; MAESTRI, 1989), favorecendo o surgimento de deformações radiciais (REIS et al., 1991; 1996). O reduzido volume do substrato, com a limitação de sistema radicular imposta pelas paredes dos tubetes, são fatores que podem

comprometer o crescimento das mudas no viveiro e após o plantio, provocando o aparecimento de deformações das raízes (SALEM, 1971 apud REIS et al., 1991).

O sucesso do florestamento depende da rápida iniciação e alongamento de raízes e, assim, estabelecimento do contato com o solo (RITCHIE; DUNLAP, 1980 apud KELLER et al., 2009). Se a produção e o crescimento das novas raízes são demorados, a sobrevivência das mudas pode ser reduzida (SUTTON, 1980 apud KELLER et al., 2009). Para esses autores, a mortalidade de mudas no campo resulta da desidratação causada por sistema radicular mal distribuído e com deformações para suprir a água necessária à manutenção da turgidez de sua parte aérea.

Um sistema radicular de pequeno volume e, ou, deformado pode não fornecer água suficiente para a parte aérea (TSCHAPLINSKI; BLAKE, 1985 apud KELLER et al., 2009). Como consequência há diminuição do desenvolvimento da parte aérea, menor capacidade de absorção de nutrientes (HANSON; DIXON; DICKENSON, 1987) e desequilíbrio hormonal (KLEPPLER, 1991 apud KELLER et al., 2009).

As deformações causadas por recipientes inadequados podem permanecer após a fase de viveiro, reduzindo o crescimento das plantas no campo (KELLER, 2006). No trabalho de Freitas et al. (2005) as deformações causadas pela parede rígida dos tubetes em mudas de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis* tenderam a persistir após a fase de viveiro.

Reis, Reis e Maestri (1989) avaliaram a capacidade de retomada do crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. cloeziana* e *E. grandis*, após sofreram restrição do sistema radicular. Constataram diferenças de tolerância à restrição do sistema radicular entre as espécies. As mudas de *Eucalyptus grandis* que foram mais tolerantes à restrição, mesmo após a liberação do sistema radicular, apresentaram dificuldades na retomada do crescimento, indicando mudanças em suas respostas fisiológicas. Para Kleppler (1991) apud Keller et al. (2009), o hábito de crescimento do sistema radicular é controlado geneticamente, podendo ser modificado pelas condições ambientais, bem como técnicas de manejo, o que auxilia na explicação das diferenças em relação ao comportamento das espécies ao tratamento de restrição radicial.

O uso do tubete ou de alguma embalagem semelhante e, preferencialmente, biodegradável, visualizada por Gomes, Couto e Pereira (1985), ainda não é realidade.

O tubete de polipropileno é amplamente difundido em todo o setor florestal, e a resistência a mudar o recipiente, ou o sistema de produção atual, é grande em virtude das inúmeras vantagens, da necessidade de produzir grandes quantidades de mudas em menor tempo, com relativo baixo custo e no padrão de qualidade exigido, além do fato de a mecanização do processo de produção de mudas ser uma exigência econômica. Porém, é necessário repensar se o uso de recipientes oriundos de fontes não renováveis deva permanecer em prol de maximizar lucros em detrimento de impactos ambientais.

2.3 Polímeros sintéticos

O sistema de produção do material polimérico atual, que tem no petróleo, a sua principal fonte de matéria-prima, desenvolveu-se como uma indústria de base nos países industrializados a partir de meados do século 20, possibilitando a sua produção em massa. Os plásticos sintéticos mais utilizados na vida diária, desde 1940, têm sido polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli(tereftalato de etileno) (PET) e poli(cloreto de vinila) (PVC) que, apesar do avanço no processamento e fabricação, geram dois grandes problemas: o uso de fonte não renovável para obtenção de sua matéria-prima e a grande quantidade de resíduos gerada para descarte (AMASS; TIGHE, 1998 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

Até pouco tempo atrás era importante descobrir materiais cada vez mais duráveis, e os plásticos sintéticos com grande versatilidade de uso e preço (HUANG, 1995 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006) foram e ainda são muito utilizados. O uso dos plásticos sintéticos vem aumentando muito no mundo todo (mais de 100 milhões de t ano⁻¹ de plásticos produzidos) (REDDY et al., 2003 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006), o consumo de plásticos per capita no mundo é de 19 kg (SHRIVRAM, 2001 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006) sendo que nos EUA é de 80 kg, na Europa 60 kg e na Índia 2 kg (KALIA; RAIZADA; SONAKYA, 2000 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006). Como consequência é grande a quantidade de resíduos plásticos descartados no meio ambiente, isto é, 20% do volume total (AGNELLI, 1996; LEÃO; TAN, 1998).

Os plásticos sintéticos exigem mais de 100 anos para degradação total, tendo em vista que sua alta massa molar média e hidrofobicidade dificultam a ação dos microrganismos e de suas enzimas na superfície do polímero (ROSA et al., 2004). E como consequência, o acúmulo é cada vez mais crescente em aterros ou lixões municipais.

Com o advento da conscientização ambiental, os aspectos negativos do descarte de material plástico começaram a ser percebidos. Assim, características desejáveis durante o uso, como de alta resistência mecânica e não deterioração são identificadas como inconvenientes no descarte ou liberação na natureza, já que tais materiais poderiam levar centenas de anos para serem totalmente degradados e reabsorvidos pelo meio ambiente.

Além do acúmulo em aterros há outras fontes importantes de poluição ambiental causada por plásticos sintéticos. De acordo com Turra, Maluf e Manzano (2008) estudos no Havaí indicaram que 16 das 18 espécies de aves marinhas locais ingerem plástico e que 70% dessa ingestão é composta por grânulos flutuantes. Os autores explicam que isso pode causar bloqueio intestinal, reduzir a absorção de nutrientes ou ainda criar falsa sensação de saciedade em animais, levando-os à morte. Os mesmos autores destacam ainda, que os plásticos funcionam como veículos para alguns compostos tóxicos que não se dissolvem na água do mar, como o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), bifenil-policlorado (PCB) e monofenóis. Essas substâncias aderem aos grânulos, levando a uma acumulação que pode alcançar um milhão de vezes o nível que normalmente apresentam quando dispersas na água, de forma que sua ingestão pode acarretar problemas hormonais nos organismos marinhos que os consomem e, indiretamente, em humanos.

Os problemas decorrentes da poluição ambiental gerados pelo resíduo plástico têm levado a comunidade científica a refletir sobre alternativas possíveis para os mesmos. Uma alternativa para esse problema é a substituição dos polímeros convencionais pelos similares biodegradáveis (PICCOLI, 2000).

2.4 Polímeros biodegradáveis

Existe na literatura o uso inadequado de termos para qualificar diferenças nos mecanismos ou características de degradação. A American Society for Testing Materials (ASTM), reuniu na Terminologia D-883 definições pertinentes ao assunto. A seguir são reportadas algumas destas definições para degradação de materiais biodegradáveis (PACHEKOSKI, 2005):

- Plástico - material que contém como componente essencial uma ou mais substâncias poliméricas orgânicas de alta massa molar, sendo sólido no seu estado final e em algum estágio é manufaturado ou processado em um artigo final.

- Plástico degradável - tem significativa mudança em sua estrutura química sobre específicas condições ambientais, resultando na perda de algumas propriedades que podem ser medidas por apropriados métodos padrões para plásticos com a aplicação em um período de tempo que determine esta classificação.

- Plástico biodegradável - a degradação resulta da ação de microorganismos de ocorrência natural, tais como bactérias, fungos e algas.

- Plástico compostável - através de processos biológicos durante compostagem origina CO₂, água, compostos inorgânicos e biomassa numa taxa consistente com outro material compostável conhecido (amido ou celulose) não deixando nenhum resíduo visível, distinguível ou tóxico.

Os plásticos biodegradáveis são polímeros que se degradam completamente por ataque microbiano em curto espaço de tempo, sob condições apropriadas do meio ambiente. Além da vantagem em serem biodegradáveis, ainda apresentam outras importantes características como serem biocompatíveis, serem produzidos a partir de recursos renováveis como açúcares e ácidos graxos e por terem propriedades termoplásticas e características físicas e mecânicas semelhantes às de outros polímeros sintéticos (SQUIO; ARAGÃO, 2004).

Os plásticos biodegradáveis, também denominados plásticos biológicos ou bioplásticos (REDDY et al., 2003 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006), têm uma participação mínima no mercado internacional (KORNER; REDEMANN; STEGMANN, 2005). Apesar da vantagem de sua aplicação quanto à preservação do meio ambiente,

os plásticos biológicos são mais caros, e têm aplicações mais limitadas que os sintéticos, por serem menos flexíveis (CHANDRA; RUSTGI, 1998 apud FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

Dentro da classe dos polímeros biodegradáveis, as estruturas contendo grupos funcionais ésteres são de destacado interesse, devido principalmente a sua usual biodegradabilidade e versatilidade em propriedades físicas, químicas e biológicas. Produzidos por uma grande variedade de microorganismos como fonte de energia e carbono, os polialcanoatos (poliésteres derivados de ácidos carboxílicos) tanto podem ser sintetizados por fermentação biológica como quimicamente (SCOTT; GILLEAD, 1995 apud PACHEKOSKI, 2005). Esses polímeros biodegradáveis podem oferecer uma grande variedade de propriedades, variando de plásticos rígidos altamente cristalinos a elastômeros borrachosos (KONING, 1993 apud PACHEKOSKI, 2005).

2.4.1 Polihidroxibutirato (PHB)

O polihidroxibutirato (PHB) foi descoberto por Lemognie em 1925 como fonte de energia e de estocagem de carbono em microorganismos como na bactéria *Alcaligenis eutrophus*, atualmente *Waustersia eutropha*, a qual sob ótimas condições, acumula até 80% de PHB do seu peso seco (LEMOGNIE, 1995 apud PACHEKOSKI, 2005), com cristalinidade superior a 80% e massa molar em torno de $400.000 \text{ g mol}^{-1}$ (SCHEGEL et al., 1961 apud PACHEKOSKI, 2005).

O PHB é o principal membro da classe dos polialcanoatos, com boa biocompatibilidade, evidenciada indiretamente pelas suas potenciais aplicações biomédicas, como em fios de suturas cirúrgicas, em próteses e em proteções para lesões na pele (GRIFFITH, 2000). Sua importância é justificada pela reunião de vários fatores: é 100% biodegradável, é resistente a água, é um polímero termoplástico, possibilitando as mesmas aplicações de polímeros convencionais (LEMOGNIE, 1995 apud PACHEKOSKI, 2005), e é sintetizado por microorganismos a partir de materiais renováveis como açúcares ou outra fonte de carbono, estabelecendo-se portanto, sistemas cíclicos e equilibrados, semelhantes aos sistemas naturais.

Inicialmente, amostras de PHB eram produzidas somente em escala de laboratório. Substratos caros e o baixo rendimento das reações de síntese tornavam a

produção industrial cara e, portanto inviável (TANAHASHI; DOI, 1991). Porém, as aplicações na biomedicina possibilitaram, a sua comerciabilidade, principalmente na forma de suturas e cápsulas de comprimidos (SCOTT; GILLEAD, 1995 apud PACHEKOSKI, 2005).

Atualmente, a fermentação bacteriana é a principal fonte de produção do polihidroxibutirato, onde a *Waustersia eutropha* é alimentada em reatores com ácido butírico ou frutose e deixada em crescimento, para posterior extração das células bacterianas do PHB com um solvente adequado (SHARMA; RAY, 1995).

No Brasil, o PHB é produzido industrialmente pela PHB Industrial S/A, a única Empresa da América Latina que produz poli-hidroxialcanoatos (PHAs) de fontes renováveis (NASCIMENTO, 2001). O processo de produção do polihidroxibutirato constitui-se basicamente de duas etapas:

- etapa fermentativa: onde os microorganismos metabolizam o açúcar disponível no meio e acumulam o PHB no interior da célula como fonte de reserva;
- etapa de extração: onde o polímero acumulado no interior da célula do microorganismo é extraído e purificado até a obtenção do produto final sólido e seco.

O projeto desenvolvido pela Coopersucar, em parceria com a Usina da Pedra - Açúcar e Alcool permitiram utilizar o açúcar e/ou melaço como constituinte básico do meio fermentativo; o óleo fusel (solvente orgânico - subproduto da fabricação do álcool) como sistema de extração do polímero sintetizado pelos microorganismos e permitiu também o aproveitamento do excedente de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de energia (geração de vapor) para estes processos (PACHEKOSKI, 2005). Esse desenho de projeto permitiu uma perfeita integração vertical com a máxima utilização de subprodutos gerados na fabricação de açúcar e álcool, gerando processos que utilizam as chamadas tecnologias limpas e ecologicamente corretas, até os efluentes da linha de produção têm aplicação dentro da cadeia produtiva: são usados para fertirrigação. Para cada 3 quilos de açúcar utilizado para alimentar as bactérias é possível obter 1 quilo de plástico biodegradável (ROSA et al., 2002).

A biodegradação do PHB ocorre tanto em ambientes microbiologicamente ativos anaeróbicos quanto aeróbicos, e é dependente da taxa de degradação enzimática, do nível de mistura do material com o solo, fonte de alimento para os microorganismos

(SCOTT; GILLEAD, 1995 apud PACHEKOSKI, 2005), temperatura (de 20 a 60°C), pH (de 5 a 8), peso molecular e cristalinidade do material, presença de oxigênio, umidade e nutrientes minerais. A ordem de grandeza da degradação desses bioplásticos é de meses (6 a 12 meses) contra 40 a 50 anos ou até 200 anos no caso dos polímeros sintéticos (COUTINHO et al., 2004). Quando depositado em ambientes ricos em bactérias, como aterros sanitários, sofre biodegradação, transformando-se em gás carbônico e água, sem a geração de resíduos tóxicos (CARASCHI; RAMOS; LEÃO, 2002).

Aparentemente, a biodegradação parece iniciar com a colonização superficial de fungos ou bactérias, que secretam depolimerases extracelulares capazes de degradar o polímero nas vizinhanças da célula. Os produtos solúveis da degradação são então absorvidos das paredes da célula e metabolizados (PACHEKOSKI, 2005).

O PHB apresenta boas propriedades, as características físicas e mecânicas são semelhantes às de alguns polímeros sintéticos (CARASCHI; LEÃO, 1999, 2000, 2001), embora seja duro e quebradiço, fato que limita suas aplicações (COSTA et al., 2006). As propriedades mecânicas do PHB são similares ao do polipropileno (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do polihidroxibutirato PHB e do polipropileno (PP)

Propriedade	PHB	PP
% de cristalinidade	80	70
Massa molar média (g mol ⁻¹)	4 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵
Temperatura de fusão (°C)	175	176
Temperatura de transição vítrea (°C)	-5	-10
Densidade (g cm ⁻³)	1,2	0,9
Módulo de flexão (Gpa)	1,4-3,5	1,7
Resistência à tração (Mpa)	40-15	38
% de alongamento	4-10	400
Resistência ao UV	boa	pobre
Resistência a solventes	pobre	boa

O PHB também apresenta uma boa resistência ao vapor da água e à umidade, além de ser estável sob circunstâncias de armazenamento normais e durante o seu uso, podendo durar mais de quatro anos em prateleiras e armários (CARASCHI; RAMOS; LEÃO, 2002).

2.4.2 Compósitos

Compósito é um material cuja composição entra dois ou mais tipos de materiais diferentes (WIKIPÉDIA, 2009). Segundo Callister Jr. (2002), são materiais multifásicos produzidos artificialmente, que possuem uma combinação desejável das propriedades das suas fases constituintes.

A farinha de madeira, a celulose, o amido e outras fibras naturais vêm sendo amplamente empregados como reforço ou carga em compósitos à base de plástico biodegradável e de outros plásticos com o intuito de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos mesmos, bem como modificar a aparência superficial e para a redução de custos do produto final, além de um maior aproveitamento desses resíduos agroindustriais, evitando o impacto ambiental (CARASCHI; RAMOS; LEÃO, 2002).

As principais vantagens da utilização de reforços lignocelulósicos em polímeros podem ser resumidas em baixa densidade, baixa abrasividade, possibilidade de incorporação de elevados teores resultando em elevada rigidez, manutenção da reciclabilidade, biodegradabilidade e ampla variedade de cargas reforçativas disponíveis em todo o mundo (MACHADO et al., 2010).

Essa tecnologia emergente, entretanto, possui suas limitações sendo, talvez a principal delas, a impossibilidade de processamento de polímeros carregados com reforços lignocelulósicos em temperaturas demasiadamente elevadas, por exemplo, acima de 200 °C por longos períodos, devido à susceptibilidade da carga lignocelulósica sofrer degradação térmica (MACHADO et al., 2010).

A mistura dos polímeros biodegradáveis entre si e com outros polímeros naturais ou outros tipos de materiais biodegradáveis e de baixo custo abre a possibilidade de se obter melhores propriedades físicas, melhores condições de processamento e menor custo (BALTIERI; CARNEIRO; MEI, 1999). Como o PHB puro tem seu processamento industrial restrito, devido as suas propriedades físicas, encontra-se nas misturas deste biopolímero com outros polímeros (não necessariamente biodegradáveis) uma solução para a melhoria de suas características de processo (PACHEKOSKI, 2005). Podem-se melhorar as propriedades mecânicas do PHB através da adição de plastificantes, lubrificantes e agentes de nucleação, ou misturando o PHB com outros polímeros.

O PHB puro é muito difícil de ser processado e injetado, dessa forma o emprego da carga é muito vantajoso em relação ao processamento do polímero. Segundo Costa et al. (2006), com a adição do pó de madeira o processamento do polímero de PHB melhorou proporcionalmente ao aumento da carga e o emprego da carga reduziu o preço do material. Caraschi, Ramos e Leão (2002) concluíram que o pó de madeira pode ser aproveitado de maneira satisfatória como reforço nesse material, visto que os compósitos apresentaram maior taxa de degradação com relação ao PHB puro, ou seja, são mais vulneráveis à biodegradação. Também observaram que o aumento do teor de pó de madeira no compósito levou a uma diminuição da resistência química, a um aumento na taxa de absorção de umidade e, conseqüentemente, à maior velocidade de degradação no ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Decomposição de tubetes de compósito com doses crescentes de nitrogênio na fertilização de base em duas estações climáticas

3.1.1 Recipientes

Utilizaram-se dois tubetes de compósito de PHB e pó de madeira (Tabela 2) com diferentes proporções, 20 e 30% (p p⁻¹), denominadas aqui de F1 e F2, respectivamente. Esses recipientes apresentavam quatro estrias longitudinais e volume de 50 cm³.

O PHB foi produzido pela PHB Industrial S/A e o pó de madeira adquirido na Pinhopó Moagem de Madeira Ltda. A injeção dos compósitos para confecção dos tubetes foi realizado na Injecom Indústria e Comércio de Plástico Ltda.

Tabela 2 - Propriedades do PHB e do pó de madeira fornecida pelas empresas

PHB		Pó de Madeira	
densidade	1,14 g cm ⁻³	densidade	0,37 g cm ⁻³
ponto de fusão	170 -180°C	ponto de fusão	superior a 180°C
pureza	> 99,5%	umidade	7%
cinzas	< 0,25%		
cristalinidade	70%		

3.1.2 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado no viveiro de mudas do Departamento de Ciências Florestais (LCF) da ESALQ/USP, no campus de Piracicaba/SP, localizado entre as coordenadas 22°42' de latitude Sul e 47°38' de longitude Oeste com uma altitude média de 546 m. O clima segundo classificação de Köopen é o Cwa, com duas estações bem definidas, inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, com uma precipitação de 1230 mm anuais e temperatura média de 21,6°C.

3.1.3 Etapas de produção das mudas

O enchimento dos tubetes seguiu as etapas: homogeneização dos componentes do substrato mais fertilização de base; umidificação; envasamento na mesa vibradora; semeadura e irrigação. Após semeadura os tubetes foram transferidos para bandejas de 228 células de forma intercalada e acondicionadas no piso do viveiro. A espécie semeada foi o *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, a semente foi oriunda de Área de Produção de Sementes (APS) coletadas e beneficiadas pelo setor de sementes do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). O substrato foi composto de 70% de húmus de minhoca e 30% de casca de arroz carbonizada.

A fertilização de base homogeneizada ao substrato, e a de cobertura seguem a proposta por Gonçalves et al. (2001): 150 g de N m⁻³, 690 g de P₂O₅ m⁻³, 102 g K₂O m⁻³ e 150 g de FTE Br 12 m⁻³; 200 g de N e 180 K₂O para 100 litros de solução. As fertilizações de cobertura iniciaram 30 dias após a germinação e se repetiram em intervalos de 7 a 10 dias. A fertilização potássica foi aplicada de forma intercalada. A solução de cobertura foi aplicada no substrato com uso de seringas graduadas descartáveis, na dose de 10 ml tubete⁻¹.

3.1.4 Delineamento experimental

O delineamento utilizado é um fatorial 3 x 2, três doses crescentes de N na fertilização de base, 150; 225 e 300 g de N m⁻³ de substrato, e duas formulações de composto, F1 e F2.

Para avaliar a decomposição dos tubetes de composto as massas foram mensuradas antes do envasamento e em intervalos sucessivos de 10 dias, até completar 90 dias após o envasamento e semeadura. Em cada intervalo, seis tubetes de cada formulação foram mensurados. Os tubetes das duas formulações que seriam avaliados com mesmo intervalo de tempo foram acondicionados na mesma bandeja.

Esse experimento foi instalado em duas estações climáticas, no verão (dezembro) e no inverno (julho).

3.1.5 Mensurações

A massa dos tubetes de compósito foi mensurada antes do envasamento após 48 horas de secagem em estufa à temperatura de 40 a 45° C em balanças semi-analíticas. Após cada intervalo de 10 dias, os tubetes foram limpos após lavagem cuidadosa para retirada de todo o material orgânico do substrato, secos previamente ao ar, secos em estufa e novamente pesados conforme metodologia descrita.

Temperatura, umidade relativa do ar e lâmina d'água foram mensuradas diariamente com auxílio de termômetro digital e de pluviômetro, instalados próximo ao experimento.

3.1.6 Isolamento e identificação de microrganismos

Para isolamento de fungos, fragmentos da região das fissuras dos tubetes de compósito, com aproximadamente cinco milímetros de comprimento e de largura, sem desinfestação, foram depositados na superfície de placas de Petri com meio de cultura ágar-água (16 g de ágar e 1000 ml de água destilada). A incubação foi realizada durante quatro dias, com fotoperíodo de 12 horas, a temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Após esse período, estruturas típicas do fungo (conídios e clamidósporos) foram transferidas para o meio de cultura BDA (200 g de batata, 20 g de dextrose, 16 g de ágar e 1000 ml de água destilada). A identificação taxonômica dos isolados foi baseada na análise das estruturas morfológicas características do patógeno, em nível de gênero.

Para isolamento das bactérias, aplicaram-se algumas gotas de água destilada sobre fragmentos da região das fissuras, de aproximadamente cinco milímetros de comprimento e de largura. Com alça de repicagem flambada, retirou-se uma gota da suspensão e depositou-se o excesso em uma pequena área na placa de Petri, sem flambar a alça, traçou riscas paralelas espaçadas em meio de cultura de Kelman (1954) (10 g de peptona + 1 g de caseína hidrosilada + 5 g de glucose (dextrose) + 18 g de ágar + 0,05 g de 2,3,5 cloreto trifenil + 1000 ml de água destilada), e também em meio de cultura nutriente-agar (NA) (5 g de peptona + 15 g de ágar + 3 g de extrato de carne + 1000 ml de água destilada). A incubação foi realizada durante sete a dez dias, com

fotoperíodo de 12 horas, a $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Após, foram observadas ao microscópio e verificadas as características de coloração, formato e agrupamento, para identificação em nível de gênero.

3.2 Desenvolvimento de mudas seminais no viveiro e no campo em duas estações climáticas

3.2.1 Recipientes

Foram utilizados três recipientes, tubete de polipropileno e dois tubetes de compósito, F1 e F2, conforme descrito no tem 3.1.1.

3.2.2 Localização e caracterização da área experimental

O ensaio em viveiro foi conduzido no mesmo local descrito no item 3.1.2. O ensaio de campo foi realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, de propriedade do LCF/ESALQ/USP localizado em Anhembi/SP, entre as coordenadas geográficas $22^\circ45'$ e $22^\circ50'$ latitude Sul, e $48^\circ00'$ e $45^\circ05'$ longitude Oeste, com uma altitude média de 530 m. O clima é o Cwa, com um inverno frio e seco e um verão quente e chuvoso.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, contendo 13% de argila, 5% de silte e 82% de areia. Os atributos químicos foram determinados no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP seguindo a metodologia descrita por Raij et al. (2001) a partir da amostragem do mesmo (Tabela 3).

Tabela 3 - Atributos químicos do Latossolo Amarelo (0-20 cm)

Profundidade	P	S-SO ₄ ²⁻	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	T	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm	— mg dm ⁻³ —	g dm ⁻³	CaCl ₂				mmol _c dm ⁻³					%		mg dm ⁻³			
0-20	4	2	13	4	1,1	4	3	34	15	8	42	18	0,25	0,7	50	6,9	0,5

3.2.3 Etapas de produção e de plantio das mudas seminais

A produção das mudas seminais seguiu as mesmas etapas descritas no item 3.1.3. Para o plantio, o preparo do solo foi realizado com a abertura de covas nas dimensões de 40 x 40 x 40 cm. Previamente, foi realizado o combate a formiga e o controle químico de plantas daninhas. A fertilização de base aplicada no momento do plantio em covetas laterais foi de 20 kg de N ha⁻¹, 55 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 20 kg de K₂O ha⁻¹. O plantio foi realizado com auxílio de chuchu de madeira, e as mudas produzidas nos tubetes de compósito foram plantas com seus respectivos recipientes. Após o plantio foi realizada irrigação. A fertilização de cobertura realizada na projeção da copa, aos seis e aos nove meses após o plantio, foi de 30 kg de N ha⁻¹, 30 kg de K₂O ha⁻¹, e 1 kg de B ha⁻¹, em cada aplicação. Irrigação, controle químico de planta daninha e de formiga foi realizado conforme necessidade.

3.2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado no viveiro foi em blocos ao acaso. Vinte e cinco mudas de cada recipiente foram dispostas de forma alternada em bandeja de 228 células. Cada bandeja representou um bloco. Utilizou-se nove blocos, que foram dispostos paralelamente sobre o piso do viveiro.

O delineamento experimental em campo foi composto de três blocos ao acaso. Cada parcela foi composta de 91 plantas (13 linhas de 7 plantas) no espaçamento de 3 x 2 m (Figura 1). Utilizou-se bordadura simples entre as linhas. Em cada avaliação cinco plantas da mesma linha eram mensuradas.

Figura 1 - Representação de uma parcela no campo

O experimento em viveiro foi instalado em duas estações climáticas, no verão (dezembro) e no inverno (julho). Convencionou-se chamar de plantio de outono (março) e de plantio da primavera (outubro), as mudas produzidas no verão e no inverno, respectivamente.

3.2.5 Mensurações

No viveiro realizou-se mensuração de altura, de diâmetro do colo (DAC) e de biomassa. As mensurações de altura com auxílio de régua graduada e DAC com paquímetro digital iniciaram com 40-50 dias após a semeadura. A produção de biomassa foi realizada aos 90 dias após a semeadura selecionando aleatoriamente duas mudas por recipiente em cada bloco.

As mudas foram separadas em folha, em caule e em raiz, e secas em estufa em temperatura de 60 a 65°C até peso constante. Após moagem foram enviadas para determinação de macronutrientes no Laboratório de Ecologia Aplicada utilizando a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989). A análise química dos tecidos foi realizada apenas na produção das mudas no verão.

Em campo, o crescimento em altura, em diâmetro do colo (DAC) e de produção biomassa, foi mensurado aos 15, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após o plantio. Nessas mensurações cinco mudas de cada parcela eram retiradas do solo com auxílios de vancas e enxadões, tendo o cuidado de retirar o máximo de raízes. Essas mudas eram mensuradas, fotografadas e separadas em folha, em caule e em raiz. Nas mudas plantadas com os tubetes de PHB, estes eram retirados junto ao sistema radicular e cuidadosamente recolhidos. A secagem de todo o material vegetal e do tubete foi realizada em estufa à temperatura de 60 a 65°C até peso constante.

Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação foram fornecidas pela estação meteorológica instalada na sede da Estação Experimental, distante aproximadamente 500 metros da área dos ensaios.

3.3 Desenvolvimento de mudas clonais em tubetes e em minitubetes de compósito e de polipropileno no viveiro e no campo

3.3.1 Recipientes

Utilizou-se três tubetes com volume de 50 cm³, polipropileno e dois compósitos de PHB com 20% (p p⁻¹) de pó de madeira, na coloração normal do PHB e na coloração escurecida com “negro de fumo”; e, dois minitubetes com volume de 33 cm³, polipropileno e compósito na sua coloração normal. Esses recipientes apresentavam seis estrias longitudinais nos tubetes e quatro nos minitubetes.

3.3.2 Localização e caracterização das áreas experimentais

O estudo foi realizado em quatro viveiros e em quatro plantios de *Eucalyptus* sp. em áreas comerciais pertencentes a empresas florestadoras do estado de São Paulo, localizados em diferentes municípios (Tabela 4). As mudas produzidas em Bofete foram plantadas em Botucatu, de Ibaté em São Miguel Arcanjo, de Mogi Guaçu em Mogi Guaçu e de Jacareí em Santa Branca.

Tabela 4 – Localização geográfica, condições ambientais e genótipo dos diferentes viveiros e sítios

Município	Latitude	Longitude	Altitude	P ¹	T ²	Clima ³	Genótipo
Viveiro	S	W	m	mm	°C		
Bofete	23°03'	48°11'	570	1490	21,5	Cwa	<i>E. grandis</i>
Ibaté	21°56'	47°59'	838	1501	20,4	Cwa	<i>E. urograndis</i>
Mogi Guaçu	22°21'	46°58'	640	1168	21,5	Cwa	<i>E. urograndis</i>
Jacareí	23°18'	45°58'	580	1562	21,3	Cwa	<i>E. grandis</i>
Sítio							
Botucatu	22°57'	48°33'	840	1359	20,7	Cwa	<i>E. grandis</i>
São Miguel Arcanjo	23°51'	47°51'	660	1395	20,4	Cwa	<i>E. urograndis</i>
Mogi Guaçu	22°21'	46°58'	640	1168	21,5	Cwa	<i>E. urograndis</i>
Santa Branca	23°25'	45°53'	640	1257	20,8	Cwa	<i>E. grandis</i>

¹ P = precipitação anual; ² T = temperatura média anual; ³ Tipo de clima segundo a classificação de Köppen

Segundo a classificação da EMBRAPA (1999), os solos foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (São Miguel Arcanjo, Mogi Guaçu e Santa Branca) e Neossolo Quartzarênico (Botucatu) (Tabela 5).

Tabela 5 – Atributos químicos e físicos dos solos (camada 0-20 cm) nos diferentes sítios

Sítio	pH CaCl ₂	M.O.	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	S-SO ₄ ²⁻	V	Argila	Textura
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³								%	g kg ⁻¹	
Botucatu	4,0	15	6,5	0,4	4	5	38	6	50	8	25	100	arenosa
São M. Arcanjo	4,9	44	4,6	3,0	42	15	59	1	100	9	40	651	muito argilosa
Mogi Guaçu	4,1	16	9,0	0,2	2	2	42	14	48	6	11	196	média
Santa Branca	4,1	21	5,2	1,9	7	4	45	7	58	9	22	365	argilosa

3.3.3 Etapas de produção e de plantio das mudas clonais

As etapas foram as mesmas utilizadas na produção de mudas comerciais das empresas. As etapas semelhantes entre os viveiros são: desinfecção dos tubetes, enchimento dos tubetes em mesas compactadoras, corte de estacas no jardim clonal, estaqueamento, casa de enraizamento (aproximadamente 20 a 30 dias), casa de sombra ou aclimação (15 a 20 dias) e pátio de crescimento e rustificação (40 a 50 dias), fertilizações de cobertura, seleção e expedição. Os clones testados foram os de melhor índice de enraizamento.

A implantação dos povoamentos nas empresas florestais seguiu os procedimentos operacionais comerciais, não havendo nenhuma diferenciação nas atividades, apenas cuidado maior para o sucesso do plantio.

O espaçamento utilizado foi igual nas quatro empresas, 3,0 x 2,0 m, o delineamento em 3 blocos casualizados com 7 linhas de 13 plantas, totalizando 546 m² por parcela e 0,98 hectares no total. O delineamento do plantio foi o mesmo adotado na avaliação do crescimento em campo do experimento instalado na Estação de Anhembi (Figura 1).

3.3.4 Delineamento experimental

O delineamento em viveiro foi composto de 4 blocos casualizados, 100 tubetes por parcela, totalizando 400 tubetes por tratamento. O delineamento em campo foi

composto de 3 blocos casualizados. As parcelas tiveram o mesmo esquema apresentado no item 3.2.4. O espaçamento utilizado nos quatro sítios foi 3 x 2 m.

3.3.5 Mensurações

Nos viveiros, o crescimento em altura e em DAC foi mensurado em 50 mudas por parcela aos 90 dias após o estaqueamento. A biomassa foi mensurada em 10 mudas por parcela selecionadas aleatoriamente, conforme metodologia descrita no item 3.2.5. Essas mudas foram fotografadas e nos tubetes e no minitubete de compósito, foi realizada análise quantitativa e qualitativa da decomposição.

A análise quantitativa foi baseada na contagem do número de fissuras totais, quando a fissura era maior que a metade da extensão do tubete, e parciais, quando a fissura era menor que a metade da extensão do tubete. A qualitativa foi baseada no estágio de decomposição do tubete (observação visual) e na dificuldade de remoção do tubete da bandeja. Adotaram-se os seguintes critérios e valores: Valor 1– tubete com poucas fissuras, sem dificuldade de remoção e visualmente pouco decomposto; Valor 2– tubete fissurado, com ligeira dificuldade de remoção e visualmente mais decomposto; Valor 3– tubete fissurado, com grande dificuldade de remoção e visualmente decomposto; e Valor 4– tubete muito fissurado, perda de partes do tubete, remoção muito difícil e visualmente decomposto com aspecto de apodrecimento (Figura 2).

Figura 2 - Classificação qualitativa dos tubetes (a) e do minitubete (b) de compósito

A mensuração do crescimento e da produção de biomassa das mudas e da degradação do tubete realizou-se aos 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após plantio. Como no item 3.2.5 também retirou-se do solo 5 plantas de cada parcela.

Em campo, o crescimento em altura, em diâmetro do colo (DAC) e de produção biomassa, foi mensurado aos 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio. A metodologia utilizada é a mesma descrita no item 3.2.5. A biomassa aos 150 dias após o plantio foi moída e enviada para determinação de macronutrientes no Laboratório de Ecologia Aplicada utilizando a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989).

Temperatura e precipitação foram fornecidas pelas estações meteorológicas do IAC instaladas mais próximas dos sítios.

3.4 Análise estatística

Para todos os ensaios, os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homogeneidade de variâncias (Box-Cox). Quando os dados não apresentaram homogeneidade de variâncias aplicou-se a transformação recomendada pelo software. Mesmo não havendo normalidade, prosseguiu-se com a Análise de Variância e o teste de médias de Tukey, pois o teste F é robusto e pouco sensível aos desvios da normalidade. A análise da relação entre as variáveis dependentes e independentes foi realizada por meio de análises de correlação e de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Taxa de decomposição dos compósitos

Os compósitos F1 e F2 não apresentaram diferenças de taxa de decomposição (Tabela 6). A massa inicial média do compósito F1 foi de 12,6 g tubete⁻¹ e do F2 de 13,0 g tubete⁻¹. Aos noventa dias após a semeadura, a taxa média de decomposição de F1 foi de 7,5% e de F2 de 8,9% da massa inicial. O aumento do teor de madeira no compósito não aumentou a taxa de degradação, ao contrário do observado por Caraschi, Ramos e Leão (2002). De acordo como os mesmos autores, a biodegradação e a degradação química da madeira são mais rápidas do que as do PHB, o que justifica o resultado obtido.

Tabela 6 - Resultado da Análise de Variância com os valores e as probabilidades do teste F dos dados transformados

FV ¹	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Formulação	1	0,0003	0,0003	0,05 ^{n.s.}
Dose	2	0,0571	0,0286	5,00**
Tempo	8	8,0359	1,0045	176,0**
Estação	1	0,0149	0,0149	2,62 ^{n.s.}
Formulação x Estação	1	0,0019	0,0019	0,33 ^{n.s.}
Formulação x Tempo	8	0,1766	0,0221	3,87**
Formulação x Dose	2	0,0012	0,0006	0,11 ^{n.s.}
Dose x Tempo	16	0,0302	0,0019	0,33 ^{n.s.}
Dose x Estação	2	0,0012	0,0006	0,10 ^{n.s.}
Tempo x Estação	8	0,5860	0,0733	12,84**
Resíduo	58	0,3310	0,0057	
Total	107	9,2364		

¹ FV = Fonte de variação; ² GL = Graus de liberdade; ³ SQ = Soma de quadrados; ⁴ QM = Quadrado médio; ⁵ F = valor calculado do teste F; * Significativo à 5% de probabilidade; ** Significativo à 1% de probabilidade; n.s. – não significativo

Não houve diferença interativa dos compósitos com a estação climática e com as doses da fertilização nitrogenada (Tabela 6). A interação das formulações com o tempo

ocorreu aos 10, 20 e 60 dias após semeadura; porém aos 90 dias, não houve diferença (Tabela 7).

Tabela 7 – Diminuição média de massa dos tubetes de compósito, nas diferentes doses de N, nas estações de verão e de inverno, em diferentes tempos

Tempo	Compósito	Diminuição de massa	Dose	Diminuição de massa	Estação	Diminuição de massa
dia		g tubete ⁻¹ (%)	g N m ⁻³	g tubete ⁻¹ (%)		g tubete ⁻¹ (%)
10	F1	0,02* (0,2)	150	0,01 (0,1)	verão	0,00 (0,0)
	F2	0,01 (0,1)	225	0,03 (0,2)	inverno	0,03* (0,2)
			300	0,01 (0,1)		
20	F1	0,03* (0,2)	150	0,01 (0,1)	verão	0,00 (0,0)
	F2	0,01 (0,1)	225	0,03 (0,2)	inverno	0,04* (0,3)
			300	0,02 (0,2)		
30	F1	0,10 (0,8)	150	0,10 (0,8)	verão	0,12 (0,9)
	F2	0,11 (0,8)	225	0,14 (1,1)	inverno	0,08 (0,6)
			300	0,08 (0,6)		
40	F1	0,16 (1,3)	150	0,14 (1,1)	verão	0,14 (1,1)
	F2	0,16 (1,2)	225	0,22 (1,7)	inverno	0,19 (1,5)
			300	0,13 (1,0)		
50	F1	0,24 (1,9)	150	0,27 (2,1)	verão	0,28 (2,2)
	F2	0,31 (2,4)	225	0,31 (2,4)	inverno	0,27 (2,1)
			300	0,24 (1,9)		
60	F1	0,28 (2,2)	150	0,34 (2,7)	verão	0,38 (3,0)
	F2	0,45* (3,5)	225	0,42 (3,3)	inverno	0,35 (2,7)
			300	0,33 (2,6)		
70	F1	0,57 (4,5)	150	0,62 (4,8)	verão	0,75* (5,9)
	F2	0,69 (5,3)	225	0,71 (5,5)	inverno	0,51 (4,0)
			300	0,56 (4,4)		
80	F1	0,87 (6,9)	150	0,86 (6,7)	verão	0,99 (7,7)
	F2	0,92 (7,1)	225	1,01 (7,9)	inverno	0,79 (6,2)
			300	0,81 (6,3)		
90	F1	0,95 (7,5)	150	0,95 (7,4)	verão	1,36* (10,6)
	F2	1,17 (8,9)	225	1,09 (8,5)	inverno	0,76 (5,9)
			300	1,14 (8,9)		

* Significativo a 5% de probabilidade

No ensaio de imersão em água até a saturação de corpos de prova no formato de “gravatas” do PHB puro e com a adição de 10, 20, 30 e 40% de pó de madeira, Caraschi, Ramos e Leão (2002) observaram que o PHB puro absorveu pouca água (<

0,8 w w⁻¹), enquanto que os compósitos absorveram de 1,7 a 14 w w⁻¹ após 10 semanas. Os mesmos autores explicam que a presença de grupos hidroxilas na parede celular da madeira, modificou as dimensões e as propriedades mecânicas dos compósitos. Essa observação ajuda a explicar a abertura de fissuras e a deformação da estrutura do tubete de compósito. Na fase inicial, que variou em função da estação climática, o pó de madeira absorveu água, aumentou de volume até o ponto de romper as paredes do tubete e formar as fissuras (Figura 3). No mesmo trabalho, as amostras de compósito de PHB com adição de 30 e de 40% de pó de madeira, também apresentaram fissuras a partir da sexta semana de imersão em água e perda de massa considerável após 10 semanas.

Figura 3 – Aspecto dos tubetes de compósitos F1 (1) e F2 (2), no verão, que receberam a aplicação de 150 (a), 225 (b) e 300 (c) g de N m⁻³ de substrato, após 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias da sementeira (da esquerda para a direita)

Essas fissuras estavam localizadas nas paredes dos tubetes entre duas estrias. Nesse local ocorreu acúmulo do pó de madeira que foi percebido visualmente pela coloração mais escura (Figura 4a). Essa diferença de localização dos componentes ocorreu devido à densidade dos materiais. Ao ser injetado nos moldes das extrusoras,

que dão forma aos tubetes, o pó de madeira preencheu primeiro o espaço entre as estrias do tubete e o PHB preencheu as estrias, de modo que essas se tornaram os pontos de maior resistência. Como as fissuras ocorreram entre as estrias, o aumento do número de estrias de quatro para seis, poderá reduzir sua deformação.

Figura 4 - Aspecto interno dos tubetes de compósitos F1 (1) e F2 (2), antes (a) e após (b) noventa dias da semeadura

Aos 90 dias observou-se a emissão de radículas através das fissuras. Isso não foi verificado com tanta intensidade nas mudas produzidas nos tubetes de polipropileno (Figura 5). Esse desenvolvimento do sistema radicular ajuda a rebater a principal crítica ao uso de tubete, que é deformação do sistema radicular das mudas devido ao confinamento e direcionamento causado pelas paredes.

Figura 5 – Aspecto do sistema radicular e dos tubetes aos 90 dias após semeadura, no tubete de polipropileno (a) e de compósito F1 (b e c) e F2 (d e e)

A taxa de decomposição aumentou após abertura das fissuras devido ao aumento da área exposta ao ataque microbiano. Além disso, houve desprendimento de partículas do pó de madeira devido à ação mecânica do vento e da água de irrigação.

A decomposição dos compósitos também foi efeito de outros processos. No final do período de avaliação, os tubetes apresentaram mudança de coloração, sofrendo fotodegradação. Caraschi, Ramos e Leão (2002) observaram que amostras dispostas sobre o solo ao ar livre tiveram menor diminuição de massa comparadas às outras situações, mas foi a situação em que sofreram maior mudança de cor e deformações na sua estrutura, com mudanças nas suas dimensões.

Nas fissuras dos tubetes houve proliferação de microrganismo, constatada pela presença de hifas de fungos que causaram manchas escuras nesses locais. De acordo com Pachekoski (2006), a biodegradação por microrganismos inicia com a colonização superficial de fungos e bactérias, que secretam depolimerases extracelulares capazes de degradar o polímero nas vizinhanças da célula, resultando na erosão superficial e na gradual redução da espessura com o passar do tempo.

No isolamento de fungos e bactérias foi identificado quatro gêneros de fungos (*Fusarium* sp., *Lasiodiplodia* sp., *Penicillium* sp. e *Pestalotiopsis* sp.) (Figura 6) e dois gêneros de bactérias (*Pectobacterium* sp. e *Pseudomonas* sp.) (Figura 7). Dos quatro gêneros apenas o *Penicillium* sp. não é causador de alguma doença no eucalipto, tanto em viveiro como em povoamento, e das bactérias o gênero *Pseudomonas* sp. causa

manchas foliares (KIMATHI, et al., 2005). Como as mudas não apresentaram nenhum sintoma de doença, supõe-se que esses microrganismos estavam sobrevivendo da decomposição da matéria orgânica, dos nutrientes do substrato, e da decomposição do pó de madeira e do compósito.

Imagina-se que esses fungos estavam atuando na decomposição do pó de madeira, visto que os gêneros *Pestalotiopsis* sp. são causadores de manchas, *Fusarium* sp. causadores de podridão mole e *Penicillium* sp. causadores de bolor superficial (CAVALCANTE, 1982). Já as bactérias, que produzem um ataque lento podendo levar até anos para notar-se alterações consideráveis na madeira, imagina-se que não estavam atuando diretamente na decomposição da madeira.

Figura 6 – Colônia dos fungos dos gêneros *Fusarium* sp. (a), *Lasioidiplodia* sp. (b), *Penicillium* sp. (c) e *Pestalotiopsis* sp. (d) identificados no isolamento

Figura 7 – Colônia das bactérias dos gêneros *Pectobacterium* sp. (a) e *Pseudomonas* sp. (b) identificadas no isolamento

O PHB puro apresenta menor biodegradabilidade do que o compósito. A maior decomposição dos tubetes de compósito ocorreu devido à presença do pó de madeira. No trabalho de Caraschi, Ramos e Leão (2002), corpos de prova no formato de “gravatas” do PHB puro e com a adição de 10, 20, 30 e 40% de pó de madeira, foram submetidos a várias condições de biodegradação. Em água tratada, após 300 dias, o PHB puro decompôs menos que 1,0%, enquanto que o compósito com 40% decompôs

6,3%. Após 180 dias, enterrados em solo argiloso, em aterro sanitário e exposto sobre o solo ao ar livre, o PHB puro decompôs 1,6; 1,1 e 0,8%, respectivamente, enquanto que o compósito de 40% decompôs 10,7; 10,3 e 5,1%, nas mesmas condições.

4.2 Decomposição dos compósitos em função da fertilização nitrogenada

O aumento da dose de N na fertilização de base não proporcionou aumento da taxa de decomposição dos compósitos aos noventa dias após a semeadura. Não houve interação das doses de N com a formulação dos compósitos, com o tempo e com a estação climática (Tabela 6). Em todos os períodos de avaliação, a massa do tubete não diferiu entre as três doses de N aplicadas (Tabela 7).

Noventa dias após a semeadura, a taxa média de decomposição dos tubetes foi 7,4; 8,5 e 8,9%, respectivamente, com a aplicação de 150, 225 e 300 g de N m⁻³ de substrato. No verão estas taxas foram de 9,8; 12,0 e 10,2%; e, no inverno, de 5,3; 5,0 e 7,7%. O não aumento da taxa de decomposição dos compósitos, pela elevação da dose de N na fertilização de base, foi resultado da lixiviação e da absorção. A maior frequência de irrigação eleva a lixiviação de nutrientes, principalmente, daqueles elementos mais móveis como nitrogênio e potássio (SCOPEL; SILVEIRA, 2010). O N aplicado na fertilização de base foi parte absorvido pelo sistema radicular da muda e grande parte lixiviado pela irrigação. Dessa forma, não contribui para aumento da população microbiana e consequentemente aumento da taxa de decomposição.

A taxa média de decomposição dos tubetes do compósito F1 foi de 8,0; 14,0 e 9,4% no verão; e, no inverno, de 3,3; 5,0 e 5,7%, com a aplicação de 150, 225 e 300 g de N m⁻³ de substrato, respectivamente. O do compósito F2 foi de 11,4; 10,2 e 10,8% no verão; e, no inverno, de 7,0; 5,0 e 9,5%, para as mesmas doses. O aumento da diminuição da massa dos tubetes, que variou em função da estação, começou após um período mínimo de 40 dias após a semeadura, o que coincidiu com o início das fertilizações nitrogenadas de cobertura. Nesse sentido, aumentar a frequência ou a dose de N na fertilização de cobertura pode resultar em aumento da decomposição, porém pode resultar em um crescimento vegetativo desequilibrado da parte aérea das mudas.

4.3 Decomposição dos compósitos em diferentes estações climáticas

No período de avaliação da decomposição dos tubetes, no verão, as temperaturas médias das mínimas, das médias e das máximas foram de 19,0; 25,7 e 32,4°C, respectivamente; e, no inverno, 14,8, 22,2 e 29,6°C (Tabela 8). A umidade relativa do ar (UR) máxima foi sempre próxima aos 100%, devido às irrigações. No verão, as UR médias das mínimas, das médias e das máximas foram de 57,5; 77,0 e 96,4%, respectivamente; e, no inverno, 45,6, 70,9 e 96,1% (Tabela 8). A soma da precipitação mais irrigação do período de verão foi 1396 mm, 620 mm maior do que a do inverno.

Tabela 8 – Temperaturas médias das mínimas, das médias e das máximas, umidades relativas do ar médias das mínimas, das médias e das máximas, e precipitação acumulada (chuva+irrigação), no verão e no inverno, a cada 10 dias e no período total de avaliação. Os valores entre parênteses são o erro padrão

Tempo	Temperatura			Umidade relativa do ar			Precipitação
	máxima	mínima	média	máxima	mínima	média	
	°C			%			mm
				verão			
1-10	32,5 (1,3)	19,0 (0,6)	25,7 (0,9)	96,3 (0,6)	55,2 (3,7)	75,8 (1,9)	141,7
11-20	33,1 (1,1)	18,8 (0,5)	26,0 (0,6)	96,6 (0,2)	53,6 (5,6)	75,1 (2,7)	130,4
21-30	33,8 (0,7)	20,9 (0,7)	27,4 (0,5)	96,2 (0,1)	58,2 (2,0)	77,2 (1,0)	164,8
31-40	30,3 (0,6)	21,0 (0,4)	25,7 (0,3)	96,4 (0,2)	72,3 (2,3)	84,4 (1,2)	129,0
41-50	30,1 (1,3)	18,6 (0,5)	24,4 (0,7)	95,7 (0,8)	62,0 (5,6)	78,9 (2,8)	137,4
51-60	32,6 (0,5)	16,1 (0,8)	24,3 (0,4)	96,7 (0,2)	43,5 (1,8)	70,1 (0,8)	145,8
61-70	34,4 (0,6)	18,2 (0,6)	26,3 (0,5)	96,2 (0,2)	46,2 (3,1)	71,2 (1,5)	158,3
71-80	31,3 (0,9)	17,8 (0,9)	24,5 (0,7)	96,6 (0,2)	61,7 (2,9)	79,2 (1,5)	190,7
81-90	33,2 (0,7)	20,2 (0,5)	26,7 (0,3)	96,5 (0,2)	65,2 (3,7)	80,9 (1,9)	198,1
1-90	32,4 (1,0)	19,0 (0,8)	25,7 (0,6)	96,4 (0,4)	57,5 (4,5)	77,0 (2,2)	1396,3
				inverno			
1-10	28,6 (0,2)	10,6 (0,6)	19,6 (0,3)	97,8 (0,9)	35,0 (1,7)	66,4 (0,4)	110,8
11-20	27,1 (1,1)	10,9 (0,9)	19,0 (0,9)	99,6 (0,3)	37,1 (3,0)	68,4 (1,4)	67,9
21-30	28,7 (0,6)	13,6 (1,0)	21,2 (0,7)	99,3 (0,7)	35,6 (3,0)	67,4 (1,5)	96,8
31-40	30,0 (1,1)	15,8 (1,5)	22,9 (0,8)	93,6 (2,4)	47,5 (4,6)	70,5 (2,6)	60,8
41-50	30,9 (1,5)	14,2 (0,5)	22,5 (1,0)	93,7 (0,8)	45,7 (3,8)	69,7 (2,1)	54,2
51-60	26,3 (1,3)	15,3 (0,2)	20,8 (0,7)	95,9 (1,1)	56,3 (5,2)	76,1 (2,8)	65,3
61-70	28,2 (1,)	16,3 (0,9)	22,3 (0,9)	97,8 (0,6)	55,1 (4,4)	76,4 (2,0)	89,7
71-80	36,4 (0,5)	18,3 (0,4)	27,4 (0,3)	93,5 (0,7)	38,7 (3,0)	66,1 (1,6)	102,8
81-90	30,4 (1,1)	18,3 (0,5)	24,3 (0,6)	94,4 (0,3)	60,0 (3,7)	77,2 (1,9)	127,8
1-90	29,6 (1,4)	14,8 (1,1)	22,2 (1,0)	96,1 (1,3)	45,6 (4,6)	70,9 (2,3)	776,2

A estação climática afetou a taxa de decomposição dos compósitos F1 e F2. Noventa dias após a semeadura, no verão, a diminuição da massa inicial foi de 10,6%, e, no inverno, de 5,9% (Tabela 2). Não houve interação da estação climática com a formulação e com a dose (Tabela 1). As taxas de decomposição dos compósitos F1 e F2 foram de 10,5 e 10,8%, no verão; e, no inverno, de 4,7 e 7,2%, respectivamente (Figura 8). O verão proporcionou condições climáticas mais favoráveis à decomposição dos compósitos e a atividade microbiana. Nessa estação climática, o compósito absorveu mais umidade, modificou sua estrutura e abriu fissuras num tempo menor do que no inverno, favorecendo o ataque de microrganismos. Além disso, parte das maiores taxas de decomposição observadas no verão se deve a fotodegradação, que altera a estrutura do compósito, predispondo-o a maior decomposição. A radiação solar global média, em Piracicaba, foi de $18,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no verão e de $14,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no inverno; e, de 8,5 e $4,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de radiação solar líquida média, para as mesmas estações climáticas.

No verão, a taxa de decomposição foi linear até 40 dias após a semeadura. Após esse período, ocorreu grande deformação da parede do tubete com abertura de fissuras e consequente aumento da taxa de decomposição do compósito. No inverno, a taxa de decomposição foi linear e gradativa até 60 dias após a semeadura. A abertura de fissuras e a taxa de decomposição aumentaram no período de 71-90 dias após a semeadura, coincidindo com o aumento das temperaturas (Tabela 8).

As equações que estimam separadamente a diminuição da massa dos tubetes de compósito, nas duas estações climáticas em função de diferentes variáveis independentes apresentaram altos coeficientes de determinação (Tabela 9). Apenas a equação de verão, que estima a diminuição da massa dos tubetes dos dois compósitos conjuntamente, apresentou alto coeficiente de determinação, as demais tiveram baixo desempenho ou não ajustaram.

No desdobramento dos valores de R^2 para verificar a contribuição das diferentes variáveis independentes, constata-se que a temperatura máxima e umidade relativa do ar mínima foram os fatores que mais contribuíram para explicar as variâncias dos valores da diminuição da massa dos compósitos (Tabela 10).

Figura 8 – Massa dos tubetes de compósito F1 (a) e F2 (b), no verão (1) e no inverno (2), que receberam aplicação de 150 (y_1), 225 (y_2) e 300 (y_3) g de N m⁻³ de substrato, entre a semeadura e noventa dias após. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Tabela 9 – Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete⁻¹) dos tubetes de compósito, nas duas estações climáticas em função de diferentes variáveis independentes¹

Estação climática	Compósito	Equação	R ²	S _{yx}	N
Verão	F1	$y = 22,016 + 0,408 \cdot T_{max} - 0,404 \cdot T_{med} + 0,331 \cdot U_{min} - 0,568 \cdot U_{med}$	0,83*	0,084	9
	F2	$y = 29,484 + 0,429 \cdot T_{max} - 0,446 \cdot T_{med} + 0,409 \cdot U_{min} - 0,718 \cdot U_{med}$	0,90**	0,065	9
Inverno	F1	$y = -2,067 \cdot T_{max} - 2,205 \cdot T_{min} + 4,275 \cdot T_{med} - 0,318 \cdot U_{max} - 0,287 \cdot U_{min} + 0,604 \cdot U_{med} - 0,0019 \cdot P$	0,99***	0,014	9
	F2	$y = -0,572 \cdot T_{max} - 0,597 \cdot T_{min} + 1,169 \cdot T_{med} + 0,014 \cdot U_{min} - 0,0106 \cdot U_{med}$	0,98***	0,022	9
Verão e Inverno	F1	$y = 0,035 \cdot T_{med} - 0,0099 \cdot U_{med}$	0,53***	0,133	18
Verão e Inverno	F2	$y = n.s.$			
Verão	F1 e F2	$y = -0,606 \cdot T_{max} - 0,642 \cdot T_{min} + 1,209 \cdot T_{med} + 0,0058 \cdot P$	0,91***	0,069	18
Inverno	F1 e F2	$y = -0,692 \cdot T_{max} - 0,704 \cdot T_{min} + 1,415 \cdot T_{med} - 0,0045 \cdot U_{max}$	0,64***	0,098	18
Verão e Inverno	F1 e F2	$y = n.s.$			

¹ Tmax, Tmin, Tmed = Temperatura máxima, mínima e média do ambiente; Umax, Umin, Umed = Umidade relativa do ar máxima, mínima e média; P = precipitação + irrigação; * Significativo a 10% de probabilidade; ** Significativo a 5% de probabilidade; *** Significativo a 1% de probabilidade

Tabela 10 - Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 9, para as diferentes variáveis independentes

Estação climática	Compósito	R ²			R ²			R ²	R ²
		Tmax	Tmin	Tmed	Umax	Umin	Umed	P	Total
Verão	F1	0,11				0,51	0,21		0,83
	F2	0,05		0,02		0,48	0,34		0,90
Inverno	F1	0,20	0,02	0,32	0,31	0,07	0,01	0,06	0,99
	F2	0,76	0,18	0,01			0,03		0,98
Verão e Inverno	F1			0,38			0,15		0,53
Verão e Inverno	F2								
Verão	F1 e F2	0,56	0,02	0,01				0,32	0,91
Inverno	F1 e F2	0,39	0,01	0,13	0,11				0,64

4.4 Crescimento, produção de biomassa e concentração de nutrientes nas mudas seminais

No verão, o crescimento médio em altura e em diâmetro de colo das mudas aos 90 dias após a semeadura, foi inferior ao obtido no inverno (Figura 9). O substrato utilizado apresentou dificuldade de drenagem da água de irrigação, principalmente devido à alta proporção do húmus de minhoca na mistura, que é capaz de reter até 34 ml de água em um tubete com capacidade de 50 cm⁻³ (GONÇALVES et al., 2000). O elevado índice pluviométrico e a dificuldade na drenagem do substrato proporcionaram condições de menor oxigenação na zona radicular, dificultando a absorção dos nutrientes e as trocas gasosas, resultando em menor desenvolvimento da muda, em altura, em diâmetro do colo e na produção de biomassa.

Não houve diferença entre os três tratamentos para essas variáveis, no verão; e, no inverno, as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno ficaram maiores que as mudas produzidas nas duas formulações de compósito, para essas mesmas variáveis. A abertura de fissuras nos tubetes de compósito expôs o substrato ao dessecação e inibiu o crescimento do sistema radicular (Figura 10). No verão, essas fissuras ajudaram a minimizar o problema do excesso de água, e isso possibilitou que as mudas dos tubetes de compósito F1 e F2 apresentassem crescimento similar em altura e em diâmetro do colo, às mudas produzidas no tubete de polipropileno. No inverno, os índices pluviométricos foram bem menores, e não ocorreu excesso de água. Nessa

estação climática, o dessecamento do substrato nos tubetes de compósito reduziu a disponibilidade hídrica e consequentemente o crescimento e produção de biomassa.

Tanto altura como diâmetro do colo, em ambas as estações climáticas, apresentaram comportamento linear (Figura 9).

Figura 9 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b) das mudas, entre 40 e 90 dias após a semeadura, no verão (1) e no inverno (2), produzidas nos tubetes de polipropileno (y_1) e de compósitos F1 (y_2) e F2 (y_3). A barra junto às médias representa seu erro padrão

No verão, a produção média de massa seca de folha, de caule e de raiz das mudas aos 90 dias após a semeadura, foi inferior a obtida no inverno (Figura 11). A massa seca total média no inverno ($4,8 \text{ g muda}^{-1}$) foi superior em mais de 100% a obtida no verão ($1,7 \text{ g muda}^{-1}$). No verão, a produção de massa seca de folha, de caule,

de raiz e total nas mudas produzidas nos três recipientes não diferiu. Ao contrário, no inverno, ocorreu diferença de produção de massa seca. As mudas produzidas no tubete de polipropileno foram maiores do que as produzidas com os tubetes de compósito F1 e F2 quanto à produção de massa seca de folha, de caule e total; porém, não diferiu quanto à produção de massa seca de raiz. Esse resultado também é reflexo do dessecamento do substrato. A redução da disponibilidade hídrica nos tubetes de compósito fez com que as mudas utilizassem mecanismos de adaptação, as mudas produziram mais raízes para aumentar a absorção de água e reduziram a biomassa aérea para diminuir a transpiração.

Figura 10 – Aspecto das mudas, aos 90 dias após a semeadura, produzidas nos tubetes de polipropileno (PP), e de compósito F1 e F2, no verão (a) e no inverno (b)

No verão, aos 90 dias após a semeadura, as concentrações de N, Ca e Mg na folha e de N na raiz diferiram (Tabela 11). As concentrações de nutrientes das mudas produzidas nos tubetes de polipropileno foram menores do que as produzidas nos compósitos. O conteúdo médio dos macronutrientes, nos mesmos tecidos vegetais, apresentou diferença apenas para o N na raiz. As concentrações de nutrientes nas mudas estão em nível adequado para N, P, Ca e Mg, e abaixo para K e S, para as mudas produzidas nos três recipientes (LEITE, 2003 apud CARVALHO NETO, 2010).

As concentrações mostraram que no período de verão, não houve competição entre as mudas e os microrganismos por N, e que a decomposição dos tubetes de compósito não liberou nutrientes que favorecesse o crescimento.

Figura 11 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), aos 90 dias após a semeadura no verão (1) e no inverno (2), das mudas produzidas nos tubetes de polipropileno e de compósitos F1 e F2. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Tabela 11 - Concentração e conteúdo médio dos macronutrientes¹ nos diferentes componentes das mudas e recipientes, aos 90 dias após a semeadura, no verão. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses

Tubete e Compósito	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
folha						
Polipropileno	10,5 (0,1) b	1,1 (0,03)	4,9 (0,2)	5,7 (0,1) b	3,1 (0,09) b	0,6 (0,05)
F1	12,5 (0,5) a	1,3 (0,05)	5,2 (0,1)	7,3 (0,2) a	3,7 (0,09) a	0,5 (0,04)
F2	11,9 (0,1) a	1,3 (0,12)	5,7 (0,1)	6,1 (0,5) ab	3,6 (0,07) a	0,6 (0,04)
caule						
Polipropileno	3,0 (0,1)	2,3 (0,03)	5,0 (0,1)	5,4 (0,2)	0,6 (0,02)	0,1 (0,01)
F1	2,9 (0,1)	2,3 (0,08)	4,7 (0,2)	5,6 (0,5)	0,7 (0,04)	0,1 (0,01)
F2	3,0 (0,1)	2,4 (0,08)	5,1 (0,1)	5,9 (0,2)	0,7 (0,01)	0,1 (0,01)
raiz						
Polipropileno	5,9 (0,1) b	1,2 (0,10)	2,9 (0,07)	7,8 (0,1)	2,0 (0,07)	0,5 (0,03)
F1	7,3 (0,3) a	1,0 (0,06)	2,7 (0,23)	8,0 (0,2)	1,9 (0,01)	0,5 (0,01)
F2	7,3 (0,3) a	1,1 (0,04)	2,9 (0,12)	8,2 (0,1)	2,0 (0,06)	0,6 (0,03)
mg muda ⁻¹						
folha						
Polipropileno	4,7 (0,9)	0,5 (0,1)	4,9 (0,5)	2,5 (0,5)	1,3 (0,3)	0,3 (0,06)
F1	5,2 (0,6)	0,5 (0,1)	2,2 (0,3)	3,0 (0,4)	1,5 (0,2)	0,2 (0,03)
F2	6,7 (1,2)	0,7 (0,2)	3,1 (0,5)	3,2 (0,4)	2,0 (0,3)	0,3 (0,06)
caule						
Polipropileno	1,9 (0,3)	1,5 (0,3)	4,9 (0,5)	3,4 (0,5)	0,4 (0,09)	0,1 (0,02)
F1	2,2 (0,3)	1,7 (0,2)	3,5 (0,4)	4,1 (0,6)	0,5 (0,04)	0,1 (0,02)
F2	2,4 (0,2)	1,9 (0,2)	4,0 (0,3)	4,7 (0,4)	0,5 (0,04)	0,1 (0,02)
raiz						
Polipropileno	2,5 (0,6) b	0,5 (0,1)	4,9 (0,3)	3,4 (0,7)	0,8 (0,2)	0,2 (0,06)
F1	3,4 (0,6) ab	0,4 (0,1)	1,2 (0,2)	3,8 (0,7)	0,9 (0,1)	0,2 (0,04)
F2	4,1 (0,3) a	0,6 (0,1)	1,6 (0,2)	4,5 (0,5)	1,1 (0,1)	0,3 (0,04)
total						
Polipropileno	9,1 (1,9)	2,6 (0,5)	4,9 (1,3)	9,4 (1,7)	2,7 (0,5)	0,6 (0,14)
F1	10,9 (1,6)	2,8 (0,3)	7,0 (0,9)	11,0 (1,6)	3,0 (0,4)	0,6 (0,10)
F2	13,2 (1,6)	3,3 (0,4)	8,9 (1,1)	12,5 (1,2)	3,7 (0,5)	0,8 (0,13)

¹ Médias seguidas com a mesma ou sem a letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$)

4.5 Crescimento, produção de biomassa e taxa de decomposição dos compósitos nos plantios seminais

Cento e vinte dias após o plantio, o crescimento médio em altura e em diâmetro do colo das plantas foi maior no plantio da primavera comparado ao plantio de outono (Figura 12). No plantio da primavera o crescimento médio foi de 153,1 cm em altura e

22,3 mm em diâmetro do colo; e, no plantio de outono, de 92,1 cm e 15,4 mm, para as mesmas variáveis. Não houve diferença de crescimento, aos 120 dias após o plantio, em ambos os plantios, para essas duas variáveis. O crescimento maior no plantio da primavera se justifica pelas condições climáticas mais favoráveis, a temperatura média foi 5,0°C maior e a precipitação foi 3 vezes a acumulada no plantio de outono. Neste período total, a temperatura média foi de 19,3°C e a umidade relativa do ar média foi de 75,1% no plantio de outono; e, no plantio da primavera, 24,7°C e 77,3%, respectivamente (Figura 13). A precipitação acumulada, do plantio até 120 dias após, foi de 265,9 e 854,0 mm, respectivamente, para o plantio de outono e da primavera.

Figura 12 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), entre o plantio e 120 dias pós-plantio, no outono (1) e na primavera (2), com as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno (y_1) e de compósitos F1 (y_2) e F2 (y_3). A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 13 – Temperatura média (1), umidade relativa do ar média (2) e precipitação acumulada (3) dos períodos de avaliação nos plantios de outono (a) e da primavera (b)

No plantio de outono, especificamente para as mudas produzidas em tubetes de polipropileno, a produção de biomassa, apresentou alta variabilidade aos 90 e 120 dias após o plantio (Figura 14). No plantio da primavera a variabilidade foi semelhante entre as plantas dos três recipientes.

Figura 14 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio aos 120 dias, das mudas produzidas nos tubetes de polipropileno (y_1) e de compósitos F1 (y_2) e F2 (y_3), no plantio de outono (1) e da primavera (2). A barra junto às médias representa seu erro padrão

A produção de biomassa total média, das plantas do plantio da primavera, 120 dias após o plantio, foi maior do que do plantio de outono, 149,8 e 114,1 g planta⁻¹, respectivamente. A produção maior de biomassa no plantio da primavera também se justifica pelas condições climáticas mais favoráveis. Nesta estação climática, as folhas, os caules e as raízes pesaram 62,7; 67,2 e 20,0 g planta⁻¹, respectivamente; e, no plantio de outono, 57,1; 49,1 e 14,2 g planta⁻¹ (Figuras 14a, 14b e 14c). Em ambos os plantios, nesta idade, a produção de biomassa, para todos os componentes, não apresentou diferenças.

Os tubetes de compósito não impediram o desenvolvimento do sistema radicular. As raízes cresceram através das aberturas das fissuras e pelo orifício inferior do recipiente (Figuras 15, 16 e 17). Aos 120 dias após o plantio, devido ao desenvolvimento muito vigoroso, o sistema radicular contribuiu para a fragmentação destes tubetes em pedaços pequenos.

No plantio de outono, nesta mesma idade, a massa dos tubetes de compósitos diminuiu em 54,3% pós-plantio, e no plantio da primavera, em 24,9% (Figura 18a). A taxa média de decomposição dos compósitos foi de 54,6 e 53,9% no plantio de outono, respectivamente, para as F1 e F2; e, no plantio da primavera, 28,4 e 21,5%.

Considerando todo o ciclo de avaliação, 90 dias de produção das mudas mais 120 dias após o plantio, a taxa média de decomposição dos compósitos foi de 58,8%, no verão e no plantio no outono, e de 30,2% no inverno e no plantio na primavera (Figura 18b). A taxa de decomposição média dos compósitos, no ciclo de 210 dias, foi de 59,3 e 58,3% na produção de mudas no verão e plantio no outono, respectivamente, para F1 e F2; e, na produção de mudas no inverno e plantio na primavera, 32,2 e 28,2%. Apesar das condições climáticas serem mais favoráveis à decomposição no plantio da primavera, a decomposição dos compósitos foi bem superior no plantio de outono. Isso foi reflexo da decomposição sofrida pelos tubetes dos compósitos no viveiro, onde a decomposição no verão foi maior do que no inverno. A biodegradação realizada pelos microrganismos resultou em erosão superficial e gradual, reduzindo a espessura do compósito e deixando-o mais propenso a decomposição.

Figura 15 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (letras maiúsculas) e 30 (letras minúsculas) dias após o plantio no campo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósitos F1 (2) e F2 (3), nos plantios de outono (A e a) e da primavera (B e b)

Figura 16 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 45 (letras maiúsculas) e 60 (letras minúsculas) dias após o plantio no campo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósitos F1 (2) e F2 (3), nos plantios de outono (A e a) e da primavera (B e b)

Figura 17 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 90 (letras maiúsculas) e 120 (letras minúsculas) dias após o plantio no campo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósitos F1 (2) e F2 (3), nos plantios de outono (A e a) e da primavera (B e b)

Figura 18 - Diminuição da massa dos tubetes de compósitos F1 (y_1) e F2 (y_2), entre 0 e 120 dias após o plantio (a), e entre 0 e 210 dias (b), compreendendo a produção e o plantio das mudas produzidas no verão (1) e no inverno (2). A barra junta às médias representa seu erro padrão

De modo geral, em ambos os plantios, as equações que relacionam a diminuição da massa dos tubetes de compósito com as características ambientais apresentaram altos coeficientes de determinação (Tabela 12). As equações gerais para cada compósito não apresentaram bons ajustes, com valores de R^2 menor que 54% ($p = 0,05$). Por outro lado, as equações gerais para o outono e a primavera apresentaram altos valores de R^2 . A equação geral, ajustada com os valores dos dois compósitos e de

ambos os plantios, apresentou ajuste intermediário, com valor de R^2 igual a 69% ($p = 0,01$).

Tabela 12 – Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete^{-1}) dos tubete de compósito, nos dois plantios em função de diferentes variáveis independentes¹

Estação climática	Compósito	Equação	R^2	S_{yx}	N
Outono	F1	$y = 0,251 \cdot T_{\text{max}} - 0,131 \cdot U_{\text{min}} + 0,0295 \cdot P$	0,99**	0,171	6
	F2	$y = 0,328 \cdot T_{\text{max}} - 0,185 \cdot U_{\text{min}} + 0,048 \cdot P$	0,98**	0,292	6
Primavera	F1	$y = -1,103 \cdot T_{\text{min}} + 0,152 \cdot U_{\text{max}} + 0,108 \cdot U_{\text{min}}$	0,91**	0,377	6
	F2	$y = -0,297 \cdot T_{\text{max}} - 0,299 \cdot T_{\text{min}} + 0,180 \cdot U_{\text{max}} - 0,063 \cdot U_{\text{min}} + 0,0087 \cdot P$	0,99**	0,006	6
Outono e Primavera	F1	$y = 0,0348 \cdot T_{\text{med}}$	0,53**	0,765	12
Outono e Primavera	F2	$y = -58,098 - 0,774 \cdot U_{\text{min}} + 1,331 \cdot U_{\text{med}}$	0,50*	0,603	12
Outono	F1 e F2	$y = -274,49 \cdot T_{\text{max}} - 288,42 \cdot T_{\text{min}} + 561,04 \cdot T_{\text{med}} - 38,71 \cdot U_{\text{max}} - 38,45 \cdot U_{\text{min}} + 76,51 \cdot U_{\text{med}}$	0,98**	0,258	12
Primavera	F1 e F2	$y = -0,599 \cdot T_{\text{min}} + 0,150 \cdot U_{\text{med}}$	0,73**	0,422	12
Outono e Primavera	F1 e F2	$y = -0,066 \cdot U_{\text{min}} + 0,058 \cdot U_{\text{med}}$	0,61**	0,142	24

¹ T_{max} , T_{min} , T_{med} = Temperatura máxima, mínima e média do ambiente; U_{max} , U_{min} , U_{med} = Umidade relativa do ar máxima, mínima e média; P = precipitação + irrigação; *Significativo a 5% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade

Quando se faz o desdobramento dos valores de R^2 para verificar a contribuição das diferentes variáveis independentes, constata-se que o tempo e a umidade relativa do ar média foram os fatores que mais contribuíram para explicar as variâncias dos valores da diminuição da massa dos compósitos (Tabela 13).

Tabela 13 - Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 12, para as diferentes variáveis independentes

Estação climática	Compósito	R^2			R^2			R^2	R^2
		T_{max}	T_{min}	T_{med}	U_{max}	U_{min}	U_{med}	P	Total
Outono	F1	0,74				0,13		0,12	0,99
	F2	0,63				0,10		0,25	0,98
Primavera	F1		0,43		0,06	0,42			0,91
	F2	0,52	0,01		0,15	0,07		0,25	0,99
Outono e Primavera	F1			0,53					0,53
Outono e Primavera	F2					0,20	0,30		0,50
Outono	F1 e F2	0,68	0,00	0,00	0,01	0,23	0,06		0,98
Primavera	F1 e F2		0,44				0,29		0,73
Outono e Primavera	F1 e F2					0,48	0,13		0,61

4.6 Crescimento, produção de biomassa e taxa de decomposição do compósito na produção de mudas clonais

Nos quatro viveiros, aos 90 dias após o estaqueamento, o crescimento médio em altura das mudas foi de 27,8 cm nos tubetes e de 26,2 cm nos minitubetes; e, em diâmetro de colo, de 2,76 e 2,61 mm, respectivamente. O maior crescimento médio foi obtido nos tubetes e nos minitubetes de polipropileno, comparado aos de compósito (Tabela 14). A diferença de crescimento médio das mudas, aos 90 dias após estaqueamento, entre os quatro viveiros, é justificada pelos diferentes materiais genéticos usados nas empresas em seus plantios comerciais, pelas variações de condições climáticas e pelo manejo nutricional adotado.

Na comparação entre os três tubetes, houve diferença de crescimento das mudas em altura, aos 90 dias após o estaqueamento, somente no viveiro de Ibaté; e, na comparação entre os dois minitubetes, somente no viveiro de Bofete (Tabela 14). Nas mesmas comparações, para o crescimento em diâmetro do colo, houve diferença entre os tubetes no viveiro de Ibaté; e, não houve diferenças em nenhum viveiro para os minitubetes.

Nesta idade, nos quatro viveiros, a produção média de biomassa das mudas foi de 0,81, 0,55, 0,43 e 1,79 g planta⁻¹ nos tubetes, respectivamente, para folha, caule, raiz e total; e, nos minitubetes, de 0,79, 0,50, 0,39 e 1,68 g planta⁻¹. A produção média de biomassa das mudas foi maior nos tubetes e minitubetes de polipropileno, comparado aos de compósito. Comparando os três tubetes e os dois minitubetes, a produção de biomassa seca de folha das mudas não diferiu, em nenhum viveiro (Tabela 14). Para a produção de biomassa seca de caule, houve diferença entre os tubetes no viveiro de Ibaté; e, nos viveiros de Bofete e de Mogi Guaçu, para os minitubetes. A produção de biomassa seca de raiz, nos viveiros de Bofete e de Mogi Guaçu, diferiu entre os tubetes; e, no viveiro de Bofete, entre os minitubetes. Para a produção de biomassa seca total, houve diferença entre os tubetes, e entre os minitubetes, somente no viveiro de Bofete.

Os tubetes e o minitubete de compósito também abriram fissuras ocasionando deformação acentuada da sua estrutura e dificuldade no manejo da muda no viveiro (Figuras 19, 20, 21 e 22).

Tabela 14 – Crescimento médio em altura¹, em diâmetro do colo (DAC)¹, e produção de biomassa¹ dos diferentes componentes das mudas, aos 90 dias após o estaqueamento, nos diferentes viveiros. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses

Tubete e compósito	Bofete	Mogi Guaçu	Ibaté	Jacareí	Média	Bofete	Mogi Guaçu	Ibaté	Jacareí	Média
	altura					DAC				
	cm					mm				
Polipropileno	24,5 (0,88) a	33,0 (3,07) a	33,8 (0,52) a	27,9 (1,26) a	29,8	2,29 (0,04) a	3,06 (0,16) a	3,34 (0,04) a	2,57 (0,02) a	2,82
PHB normal	23,6 (1,03) a	33,3 (0,96) a	24,9 (1,26) bc	28,3 (2,50) a	27,6	2,33 (0,06) a	2,99 (0,09) a	3,18 (0,04) abc	2,54 (0,11) ab	2,76
PHB escurecido	21,4 (0,52) ab	32,7 (0,43) a	23,6 (1,12) c	26,3 (2,11) a	26,0	2,35 (0,07) a	2,93 (0,06) a	3,03 (0,04) c	2,49 (0,11) abc	2,70
Mini polipropileno	22,9 (1,17) a	35,5 (0,85) a	28,1 (0,95) b	24,5 (1,07) a	27,7	2,25 (0,12) ab	3,02 (0,05) a	3,20 (0,04) ab	2,25 (0,06) bc	2,68
Mini PHB	19,2 (0,47) b	31,9 (1,26) a	25,1 (0,89) bc	22,2 (1,59) a	24,6	2,01 (0,03) b	2,87 (0,12) a	3,07 (0,04) bc	2,23 (0,06) c	2,55
Média	22,3	33,3	27,1	25,8		2,25	2,98	3,17	2,42	
C.V. (%) ²	7,1	7,9	6,5	10,7		5,6	5,8	2,3	5,5	
folha					caule					
g muda ⁻¹										
Polipropileno	0,50 (0,01) ab	1,15 (0,06) a	1,25 (0,08) a	0,64 (0,03) a	0,88	0,27 (0,01) ab	0,64 (0,02) b	0,65 (0,04) a	0,79 (0,06) a	0,59
PHB normal	0,61 (0,05) a	1,05 (0,02) a	1,04 (0,09) ab	0,50 (0,10) a	0,80	0,31 (0,03) a	0,79 (0,04) ab	0,44 (0,04) b	0,64 (0,07) ab	0,55
PHB escurecido	0,48 (0,01) ab	1,01 (0,08) a	1,04 (0,11) ab	0,43 (0,10) a	0,74	0,24 (0,01) ab	0,72 (0,06) b	0,48 (0,05) b	0,61 (0,04) ab	0,51
Mini polipropileno	0,56 (0,02) ab	1,17 (0,09) a	0,89 (0,03) b	0,68 (0,13) a	0,83	0,29 (0,01) a	0,68 (0,08) b	0,41 (0,01) b	0,56 (0,07) ab	0,48
Mini PHB	0,47 (0,03) b	0,98 (0,06) a	1,04 (0,11) ab	0,56 (0,10) a	0,76	0,21 (0,01) b	0,91 (0,02) a	0,42 (0,04) b	0,52 (0,05) b	0,51
Média	0,53	1,07	1,05	0,56		0,26	0,75	0,48	0,62	
C.V. (%)	2,5	11,8	14,2	30,1		10,3	21,6	14,0	17,9	
raiz					total					
g muda ⁻¹										
Polipropileno	0,36 (0,01) ab	0,50 (0,004) b	0,46 (0,03) a	0,48 (0,05) a	0,45	1,13 (0,02) abc	2,29 (0,08) a	2,36 (0,15) a	1,90 (0,12) a	1,92
PHB normal	0,38 (0,02) a	0,62 (0,02) a	0,39 (0,03) ab	0,35 (0,05) a	0,44	1,29 (0,09) a	2,47 (0,07) a	1,88 (0,16) ab	1,49 (0,21) a	1,78
PHB escurecido	0,29 (0,01) cd	0,50 (0,03) b	0,44 (0,05) ab	0,38 (0,03) a	0,40	1,02 (0,02) bc	2,23 (0,15) a	1,96 (0,21) ab	1,42 (0,11) a	1,66
Mini polipropileno	0,32 (0,01) bc	0,56 (0,05) ab	0,32 (0,01) b	0,37 (0,08) a	0,39	1,17 (0,03) ab	2,41 (0,22) a	1,62 (0,05) b	1,61 (0,29) a	1,70
Mini PHB	0,25 (0,01) d	0,59 (0,02) ab	0,38 (0,04) ab	0,32 (0,06) a	0,38	0,93 (0,06) c	2,48 (0,07) a	1,84 (0,19) ab	1,40 (0,19) a	1,66
Média	0,32	0,55	0,40	0,38		1,11	2,38	1,93	1,56	
C.V. (%)	6,8	8,7	14,8	26,0		8,0	10,2	14,3	21,1	

¹ Médias seguidas com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$); ² C.V. – Coeficiente de variação

Figura 19 – Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Bofete

Figura 20 – Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de composto (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de composto na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de composto (e), no viveiro de Mogi Guaçu

Figura 21 – Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Ibaté

Figura 22 – Aspecto das mudas (1), dos tubetes e minitubete de compósito (2), e dos sistemas radiculares (3), 90 dias após o estaqueamento, produzidas nos tubetes de polipropileno (a), de compósito na coloração normal (b) e na coloração escurecida (c), e nos minitubetes de polipropileno (d) e de compósito (e), no viveiro de Jacareí

Visualmente, as mudas não apresentaram sintomas de deficiência nutricional. A exposição do substrato resultou em dessecamento e inibição do crescimento radicular. Nesta situação, o torrão apresentou aspecto mais friável do que o torrão dos recipientes de polipropileno. Como reflexo houve menor crescimento e produção de biomassa das produzidas nos recipientes de compósito comparado aos recipientes de polipropileno.

O desenvolvimento das mudas produzidas nos minitubetes, embora menor do que nos tubetes, proporcionalmente ao volume do recipiente, produziu 26,3% mais biomassa seca de raiz do que os tubetes. A redução da disponibilidade hídrica nos minitubetes, devido ao menor volume, fez com que as mudas produzissem mais raízes para aumentar a absorção de água.

A taxa média de decomposição do compósito, aos 90 dias após o estaqueamento, nos quatro viveiros, foi de 8,0; 14,0 e 11,0%, respectivamente, para os tubetes na coloração normal, coloração escurecida e para o minitubete. Nos viveiros de Bofete, de Mogi Guaçu, de Ibaté e de Jacareí, a taxa média de decomposição do compósito foi de 2,9; 13,5; 12,0 e 15,6%, respectivamente. As maiores taxas de decomposição dos recipientes de compósito ocorreram nos viveiros com as maiores temperaturas médias. Essas médias, do estaqueamento até 90 dias após, foram de 20,8; 22,6; 24,3 e 24,3°C, respectivamente, nos viveiros de Bofete, Mogi Guaçu, Ibaté e Jacareí; e, a precipitação acumulada, de 401,5; 490,0; 394,4 e 294,0 mm.

A taxa média de decomposição do tubete de compósito na coloração normal foi de 1,3; 11,4; 10,7 e 8,8%, respectivamente, para os viveiros de Bofete, de Mogi Guaçu, de Ibaté e de Jacareí (Figura 23); na coloração escurecida, de 2,9; 18,2; 15,0 e 19,9%; e, no minitubete, de 4,7; 10,8; 10,1 e 18,2%. O tubete de compósito na coloração escurecida apresentou maior taxa de decomposição em três dos quatro viveiros. Esse resultado se justifica pelo fato da coloração escura absorver maior quantidade de raios solares do que outras colorações, e consequentemente, a fotodegradação tende a ser maior. Além disso, ocorreu o efeito da dilatação e da contração térmica. É possível que esse processo diário contribuiu para a fragmentação mais rápida dos recipientes de compósito, principalmente o de coloração escurecida.

A taxa de decomposição foi maior no processo de produção de mudas clonais do que o processo de mudas seminais. A taxa média de decomposição do compósito, na

produção seminal foi de 10,6% no verão e 5,9% no inverno; e, na produção clonal, excluindo o viveiro de Bofete, foi de 13,7%. Parte dessa maior taxa é devido ao período de enraizamento em casa de vegetação. Nesse local, com condições de temperatura e umidade relativa do ar elevadas, a abertura de fissuras e a decomposição dos compósitos iniciou rapidamente. Nos quatro viveiros, observou-se que logo após as mudas saírem da casa de enraizamento os tubetes e o minitubete de compósito já apresentavam várias fissuras. Da saída da casa de enraizamento até a expedição, entre 30 a 90 dias após o estaqueamento, os recipientes, visualmente, pouco se alteraram.

Figura 23 - Massa dos tubetes de compósito na coloração normal (a), na escurecida (b), e no minitubete (c), antes e após 90 dias do estaqueamento, nos quatro viveiros. A barra junto às médias representa seu erro padrão

As equações que relacionam a diminuição da massa com as condições ambientais dos viveiros apresentaram altos coeficientes de determinação (Tabela 15). A equação geral, considerando a decomposição dos três recipientes, também apresentou alto valor de R^2 (87%, $p = 0,01$).

Tabela 15 - Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete^{-1}) nos diferentes tubetes e minitubete de compósito, em função de diferentes variáveis independentes¹

Compósito	Equação	R ²	S _{y_x}	N
Normal	$y = 1,128 \cdot T_{\text{max}} + 1,584 \cdot T_{\text{min}} - 2,552 \cdot T_{\text{med}}$	0,99*	0,037	4
Escurecido	$y = -0,841 \cdot T_{\text{max}} + 1,130 \cdot T_{\text{med}}$	0,98*	0,353	4
Minitubete	$y = 0,118 \cdot T_{\text{min}} - 0,003 \cdot P$	0,97*	0,230	4
Normal, escurecido e minitubete	$y = -0,533 \cdot T_{\text{max}} + 0,720 \cdot T_{\text{med}}$	0,87**	0,575	12

¹ T_{max}, T_{min}, T_{med} = Temperatura máxima, mínima e média do ambiente; P = precipitação; *Significativo a 5% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade

No desdobramento dos valores de R² para verificar a contribuição das diferentes variáveis independentes, a temperatura máxima e a mínima do ambiente foram os fatores que mais contribuíram para explicar as variâncias dos valores de diminuição da massa do compósito (Tabela 16).

Tabela 16 - Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 15 para as diferentes variáveis independentes

Compósito	R ²			R ²	
	T _{max}	T _{min}	T _{med}	P	Total
Normal	0,80	0,18	0,01		0,99
Escurecido	0,83		0,15		0,98
Minitubete		0,89		0,08	0,97
Normal, escurecido e minitubete	0,75		0,12		0,87

O número médio de fissuras, nos tubetes e no minitubete de compósito, foi de 1,2; 3,2 e 3,4 fissura tubete^{-1} , respectivamente, no viveiro de Bofete, Ibaté e Jacareí (Figura 24). Nesta idade, o tubete de compósito na coloração normal apresentou 1,6 e 0,8 fissura tubete^{-1} de fissuras parciais e totais; o tubete na coloração escurecida, de 1,7 e 0,9 fissura tubete^{-1} ; e, o minitubete, de 0,6 e 2,1 fissura tubete^{-1} , respectivamente. No minitubete as fissuras facilmente atingiram mais da metade da extensão do recipiente, fato que não ocorreu com tanta facilidade nos tubetes. Apesar do maior número de fissuras totais o minitubete não teve deformação acentuada da estrutura do recipiente como nos tubetes. Isso se comprova pela menor porcentagem de notas 2 e 3.

Figura 24 – Número médio de fissura, aos 90 dias após o estaqueamento, nos tubetes de compósito na coloração normal (1) e na coloração escurecida (2), e no minitubete (3), nos viveiros de Bofete (a), de Ibaté (b) e de Jacareí (c)

A avaliação qualitativa do grau de decomposição correlacionou-se positivamente com o número de fissuras. No viveiro de Bofete, onde ocorreu o menor número de fissuras por recipiente, houve menor porcentagem de notas 2 e 3, sendo que o minitubete apresentou quase 100% de nota 1 (Figura 25a). Nos viveiros de Ibaté e de Jacareí, onde o número de fissuras foi maior em mais de 100% do que o viveiro de Bofete ocorreu predomínio de notas 2 e 3, maior taxa de decomposição e de deformação dos recipientes (Figura 25b e 25c).

O percentual médio de notas do grau de decomposição, no tubete de compósito na coloração normal, foi de 13,5; 39,2 e 47,3%, de notas 1, 2 e 3; de 5,5; 39,5 e 55,0%, no tubete de compósito na coloração escurecida; e, de 44,3; 47,2 e 8,5%, no minitubete de compósito (Figura 25), respectivamente. O tubete de compósito na coloração escurecida apresentou a maior taxa média de decomposição e a maior porcentagem de notas qualitativas 3. Esse tubete sofreu maior decomposição devido ao efeito da fotodegradação e da maior fragmentação do recipiente pela dilatação e contração térmica.

Figura 25 - Frequência média, aos 90 dias após o estaqueamento, das notas qualitativas dos tubetes de compósito na coloração normal e na escurecida, e do minitubete, nos viveiros de Bofete (a), de Ibaté (b) e de Jacaré (c)

4.7 Crescimento, produção de biomassa, concentração de nutrientes e taxa de decomposição do compósito nos plantios clonais

O crescimento médio em altura das plantas, aos 150 dias após o plantio, foi de 131,0; 144,9; 145,0 e 97,1 cm, respectivamente, nos sítios de Botucatu, Mogi Guaçu, São Miguel Arcanjo e Santa Branca; e, em diâmetro do colo, de 22,4; 26,9; 27,2 e 16,1 mm. Nos quatro sítios, o crescimento médio em altura foi de 128,9 cm nos tubetes e de 130,4 cm nos minitubetes; e, em diâmetro do colo, de 23,2 e 23,1 mm, respectivamente. A diferença de crescimento médio das plantas entre os sítios foi em função dos diferentes materiais genéticos usados comercialmente pelas empresas, e das condições edafoclimáticas dos sítios.

No sítio de Botucatu, o crescimento médio em altura das plantas foi de 128,8 cm nos tubetes e de 134,3 cm nos minitubetes; de 145,5 e 144,0 cm, no sítio de Mogi Guaçu; de 144,0 e 146,5 cm, no sítio de São Miguel Arcanjo; e, de 97,4 e 96,8 cm, no sítio de Santa Branca. Nos mesmos sítios, o crescimento médio em diâmetro do colo foi de 22,1 e 22,9 mm; de 27,2 e 26,4 mm; de 27,5 e 26,8 mm; e, de 15,9 e 16,2 mm, respectivamente.

Nessa idade, nos sítios de Botucatu, de Mogi Guaçu e de São Miguel Arcanjo, o crescimento em altura e em diâmetro do colo não diferiu entre todos os tratamentos. No sítio de Santa Branca as mudas produzidas nos tubetes de compósito na coloração escurecida foram menores em diâmetro do colo do que as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno. No sítio de Botucatu, a relação entre o crescimento em altura com o tempo não permitiu ajuste, e em diâmetro do colo a relação foi sigmóide (Figura 26). Essas mesmas relações foram lineares no sítio de Mogi Guaçu (Figura 27), e exponenciais nos sítios de São Miguel Arcanjo (Figura 28) e de Santa Branca (Figura 29).

Figura 26 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Botucatu. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 27 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Mogi Guaçu. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 28 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósitos na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de São Miguel Arcanjo. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 29 - Crescimento em altura (a) e em diâmetro do colo (DAC) (b), do plantio aos 150 dias com as mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1), e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Santa Branca. A barra junto às médias representa seu erro padrão

A produção média de biomassa seca das plantas, aos 150 dias após o plantio, nos quatro sítios, foi de 155,7; 179,8; 96,5 e 432,0 g planta⁻¹, respectivamente, para folha, caule, raiz e total. Nessa idade, nos quatro sítios, a produção média de biomassa seca de folha das plantas produzidas nos tubetes foi de 154,2 g planta⁻¹ e nos minitubetes de 158,0 g planta⁻¹; de 181,6 e 177,2 g planta⁻¹, para massa seca de caule; de 98,6 e 93,4 g planta⁻¹, para massa seca de raiz; e, de 434,3 e 428,6 g planta⁻¹, para massa seca total.

No sítio de Botucatu, a produção média de biomassa seca das plantas foi de 149,5; 195,0; 101,1 e 445,7 g planta⁻¹, respectivamente, para folha, caule, raiz e total;

de 262,1; 259,4; 141,6 e 663,2 g planta⁻¹, para o sítio de Mogi Guaçu; de 142,1; 203,0; 110,2 e 455,3 g planta⁻¹, para o sítio de São Miguel Arcanjo; e, de 69,0; 61,9; 33,1 e 163,9 g planta⁻¹, para o sítio de Santa Branca. A diferença de produção média de biomassa das plantas entre os sítios também foi devido aos diferentes materiais genéticos e as condições edafoclimáticas dos sítios. O menor crescimento em Botucatu foi decorrente do ataque da ferrugem (*Puccinia psidii* Winter). Alguns tratamentos foram prejudicados e comprometeu as comparações. No trabalho de Masson (2009), a redução de volume causada pela ferrugem foi da ordem 27%, no de Takahashi (2002) entre 20 e 41%, e no de Santos (2006) de 48%. Fotoperíodo, temperatura e umidade do ar foram as principais condições climáticas que favoreceram o ataque da ferrugem, além da susceptibilidade do material genético (ALFENAS et al, 2004). A heterogeneidade observada no plantio é explicada por Tuleen e Frederiksen (1982). Segundo esses autores as plantas sadias adjacentes às doentes e, ou mortas tendem a produzir mais devido à baixa competição por luz, água e nutrientes, assim como as doentes tendem a produzir menos devido à dominância das sadias. Isso justifica a grande amplitude de variação dos dados de crescimento e de produção de biomassa no sítio de Botucatu. O sítio de Santa Branca sofreu atraso na instalação do experimento em campo. Nesse sítio, no período entre o plantio e 150 dias após, houve o menor índice pluviométrico e a menor temperatura média, dos quatro sítios, condições climáticas que limitaram o desenvolvimento do plantio.

No sítio de Botucatu, a produção média de biomassa seca de folha das plantas, foi de 140,6 g planta⁻¹ para os tubetes e de 162,8 g planta⁻¹ para os minitubetes; de 269,3 e 251,4 g planta⁻¹, no sítio de Mogi Guaçu; de 137,5 e 149,0 g planta⁻¹, no sítio de São Miguel Arcanjo; e, de 69,2 e 68,6 g planta⁻¹ no sítio de Santa Branca, respectivamente. Nos mesmos sítios, a produção média de biomassa seca de caule foi de 183,1 e 212,9 g planta⁻¹; de 270,0 e 243,6 g planta⁻¹; de 212,0 e 189,4 g planta⁻¹; e, de 61,2 e 62,8 g planta⁻¹; para a produção média de biomassa seca de raiz foi de 101,9 e 100,0 g planta⁻¹; de 146,2 e 134,7 g planta⁻¹; de 113,8 e 104,8 g planta⁻¹; e, de 32,4 e 34,1 g planta⁻¹; e, para a produção média de biomassa seca total, de 425,6 e 475,8 g planta⁻¹; de 685,4 e 629,8 g planta⁻¹; de 463,4 e 443,2 g planta⁻¹; e, de 162,8 e 165,6 g planta⁻¹. Aos 150 dias após o plantio, nos sítios de Botucatu, de Mogi Guaçu e de São

Miguel Arcanjo a produção de biomassa de todos os componentes não diferiu. No sítio de Santa Branca, as mudas produzidas nos tubetes de compósito na coloração escurecida, apresentaram menor produção de biomassa seca de folha, de caule, de raiz e total do que as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno; não havendo diferenças entre as demais comparações.

Nos quatro sítios, a relação entre a produção de biomassa de todos os componentes com o tempo foi exponencial (Figura 30; 31; 32 e 33), exceto para as mudas produzidas nos tubetes de compósito na coloração normal e na escurecida em Botucatu, que não permitiu ajuste em decorrência do ataque de ferrugem.

A comparação visual dos diferentes tratamentos, aos 15 e aos 30 dias após o plantio, nos sítios de Botucatu (Figura 34), de Mogi Guaçu (Figura 37), de São Miguel Arcanjo (Figura 40) e de Santa Branca (Figura 43), demonstrou pequeno aporte de biomassa e início de emissão de novas raízes. Nos tubetes e no minitubete de compósito, observou-se que as raízes tendem a desenvolverem pelas fissuras ou pelo orifício inferior do tubete. Aos 60 e 90 dias após o plantio, nos mesmos sítios (Figura 35; 38; 41 e 44, respectivamente), ocorreu rápido acúmulo de biomassa e desenvolvimento do sistema radicular. As raízes continuam a sair pelas fissuras e pelo orifício, porém o compósito se apresenta frágil e quebradiço. Aos 90 dias o sistema radicular apresenta um desenvolvimento vigoroso e rompe os recipientes de compósito, dessa forma não há mais restrição física ao crescimento das raízes. Aos 120 e 150 dias após o plantio, nos mesmos sítios (Figura 36; 39; 42 e 45, respectivamente) o crescimento e acúmulo de biomassa foi muito rápido, não havia restrição para o sistema radicular e os recipientes de compósito estavam fragmentados e muito decompostos. No sítio de Botucatu, aos 150 dias após o plantio, observaram-se visualmente nas folhas os sinais (esporos na coloração amarela) do ataque da ferrugem. No sítio de Santa Branca, o desenvolvimento foi menor em todas as idades de avaliação, em virtude do atraso do plantio.

Figura 30 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Botucatu. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 31 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Mogi Guaçu. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 32 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y₁) e de compósito na coloração normal (y₂) e na escurecida (y₃), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y₄) e de compósito (y₅), no sítio de São Miguel Arcanjo. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 33 - Massa seca de folha (a), de caule (b), de raiz (c) e total (d), do plantio até os 150 dias, das mudas produzidas nos tubetes (1) de polipropileno (y_1) e de compósito na coloração normal (y_2) e na escurecida (y_3), e nos minitubetes (2) de polipropileno (y_4) e de compósito (y_5), no sítio de Santa Branca. A barra junto às médias representa seu erro padrão

Figura 34 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 35 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 36 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 37 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Mogi Guaçu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 38 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Mogi Guaçu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 39 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Mogi Guaçu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 40 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de São Miguel Arcanjo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na coloração escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 41 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de São Miguel Arcanjo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 42 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de São Miguel Arcanjo, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 43 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 15 (a) e 30 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Santa Branca, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 44 – Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 60 (a) e 90 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Botucatu, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

Figura 45 - Aspecto do crescimento e do enraizamento das mudas com 120 (a) e 150 (b) dias após o plantio no campo, no sítio de Santa Branca, produzidas nos tubetes de polipropileno (1) e de compósito na coloração normal (2) e na escurecida (3), e nos minitubetes de polipropileno (4) e de compósito (5)

A concentração média dos nutrientes, aos 150 dias após o plantio, na folha, no caule e na raiz, nos sítios de Botucatu e de Mogi Guaçu (Tabela 17), de São Miguel Arcanjo e de Santa Branca (Tabela 18), demonstrou haver absorção e acúmulo diferenciado dos nutrientes, possivelmente em função da fertilidade do solo e da capacidade de absorção de nutrientes entre os materiais genéticos.

No sítio de Botucatu, houve diferença de concentração de K na folha, no caule e na raiz, de N e de P no caule e de S na raiz; no sítio de São Miguel Arcanjo na concentração de K na folha e na raiz; no sítio de Santa Branca na concentração de P no caule e de Mg na raiz; e, no sítio de Mogi Guaçu, não houve diferença na concentração de todos os nutrientes em todos os componentes da biomassa. De acordo com o trabalho de Bellote e Silva (2000), as concentrações de Mg e S na folha, estão abaixo da faixa adequada nos quatro sítios. As concentrações de N, P e K em Mogi Guaçu, e de K em São Miguel Arcanjo, também estão fora da faixa adequada. Como as flutuações climáticas sazonais influenciam as variações dos teores de nutrientes minerais nas folhas (BELLOTE; SILVA, 2000), a análise dos tecidos realizada em maio e em junho pode apresentar diferenças que não seriam observadas em outra época de amostragem.

No sítio de Botucatu, parte das diferenças observadas entre os diferentes tratamentos é resultado do efeito do ataque da ferrugem. No trabalho de Silveira et al. (1997), na ocorrência de ferrugem houve aumento das concentrações de P, Ca e S na folha. Aliado a esse efeito da concentração, a heterogeneidade de crescimento entre plantas sadias e doentes, também pode ter influenciado.

A temperatura média, do plantio até os 150 dias, foi de 22,7; 22,2; 24,0 e 19,6°C, respectivamente, nos sítios de Botucatu, Mogi Guaçu, São Miguel Arcanjo e Santa Branca (Figura 46); e, a precipitação acumulada, foi de 872,6; 576,5; 652,0 e 225,8 mm.

Tabela 17 – Concentração média dos macronutrientes¹ nos diferentes componentes das mudas e recipientes, aos 150 dias após o plantio, nos diferentes sítios. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses

Tubete e compósito	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
Botucatu						
folha						
Polipropileno	24,6 (1,0)	1,35 (0,09)	9,0 (0,4) b	4,3 (0,3)	1,62 (0,24)	1,45 (0,05)
PHB normal	25,3 (1,8)	1,45 (0,02)	9,3 (0,2) ab	4,7 (0,3)	1,62 (0,24)	1,56 (0,17)
PHB escurecido	26,1 (0,2)	1,60 (0,14)	10,1 (0,3) a	4,8 (0,2)	1,55 (0,07)	1,29 (0,12)
Mini polipropileno	23,9 (0,8)	1,49 (0,09)	9,4 (0,3) ab	4,5 (0,2)	1,46 (0,02)	1,60 (0,16)
Mini PHB	23,9 (0,4)	1,49 (0,03)	9,4 (0,3) ab	4,5 (0,2)	1,39 (0,02)	1,37 (0,14)
caule						
Polipropileno	8,2 (0,6) b	0,83 (0,13) b	7,9 (0,4) b	5,2 (0,2)	0,83 (0,09)	0,72 (0,05)
PHB normal	11,1 (1,7) a	0,96 (0,09) ab	8,4 (0,3) ab	5,5 (0,5)	0,99 (0,13)	0,65 (0,05)
PHB escurecido	12,0 (2,4) a	1,14 (0,12) a	9,3 (0,1) a	6,0 (0,1)	1,06 (0,10)	0,76 (0,09)
Mini polipropileno	10,2 (2,2) ab	1,03 (0,05) ab	8,9 (0,3) ab	6,1 (0,1)	0,97 (0,02)	0,72 (0,05)
Mini PHB	10,1 (0,4) ab	1,03 (0,12) ab	8,7 (0,4) ab	5,8 (0,3)	0,87 (0,05)	0,65 (0,05)
raiz						
Polipropileno	6,3 (0,3)	0,50 (0,00)	5,4 (0,2) ab	4,4 (0,2)	0,79 (0,07)	0,57 (0,08) b
PHB normal	6,7 (0,7)	0,50 (0,06)	5,6 (0,3) ab	4,3 (0,2)	0,94 (0,13)	0,65 (0,05) ab
PHB escurecido	7,0 (0,4)	0,58 (0,05)	6,2 (0,2) a	4,1 (0,1)	0,87 (0,09)	0,65 (0,05) ab
Mini polipropileno	6,8 (0,2)	0,50 (0,04)	5,1 (0,1) b	4,1 (0,2)	0,81 (0,12)	0,65 (0,05) ab
Mini PHB	6,8 (0,1)	0,54 (0,04)	4,9 (0,4) b	4,3 (0,2)	0,85 (0,12)	0,80 (0,08) a
Mogi Guaçu						
folha						
Polipropileno	17,2 (2,1)	0,75 (0,07)	7,2 (0,2)	4,4 (0,2)	0,92 (0,13)	1,03 (0,08)
PHB normal	17,6 (0,2)	0,79 (0,06)	7,5 (0,2)	3,8 (0,1)	0,93 (0,04)	0,91 (0,14)
PHB escurecido	19,6 (3,3)	0,88 (0,13)	6,8 (0,3)	4,5 (0,3)	1,09 (0,07)	1,14 (0,28)
Mini polipropileno	18,4 (0,7)	0,77 (0,05)	7,2 (0,1)	4,5 (0,4)	1,01 (0,05)	1,06 (0,09)
Mini PHB	17,9 (1,1)	0,80 (0,06)	6,8 (0,5)	4,0 (0,2)	0,99 (0,03)	1,03 (0,08)
caule						
Polipropileno	5,8 (0,0)	0,47 (0,04)	6,5 (0,2)	6,6 (0,3)	0,40 (0,01)	0,40 (0,00)
PHB normal	5,3 (0,4)	0,49 (0,00)	5,5 (0,7)	5,2 (0,6)	0,43 (0,04)	0,50 (0,07)
PHB escurecido	5,4 (0,4)	0,48 (0,08)	5,7 (0,6)	6,3 (0,6)	0,52 (0,05)	0,43 (0,04)
Mini polipropileno	5,1 (0,2)	0,43 (0,02)	6,2 (0,4)	6,6 (0,1)	0,41 (0,02)	0,38 (0,03)
Mini PHB	5,7 (0,3)	0,45 (0,04)	6,1 (0,7)	6,2 (0,4)	0,43 (0,05)	0,36 (0,04)
raiz						
Polipropileno	4,3 (0,3)	0,29 (0,01)	4,2 (0,2)	5,2 (0,6)	0,24 (0,02)	0,43 (0,04)
PHB normal	4,1 (0,2)	0,30 (0,02)	4,3 (0,2)	4,9 (0,7)	0,25 (0,00)	0,46 (0,08)
PHB escurecido	3,8 (0,4)	0,28 (0,02)	4,0 (0,0)	4,6 (0,2)	0,28 (0,05)	0,43 (0,04)
Mini polipropileno	3,7 (0,2)	0,29 (0,03)	4,3 (0,3)	4,8 (0,2)	0,28 (0,02)	0,50 (0,07)
Mini PHB	4,0 (0,0)	0,28 (0,06)	4,6 (0,3)	5,4 (0,7)	0,24 (0,06)	0,50 (0,07)

¹ Médias seguidas com a mesma ou sem a letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$)

Tabela 18 – Concentração média dos macronutrientes¹ nos diferentes componentes das mudas e recipientes, aos 150 dias após o plantio, nos diferentes sítios. O erro padrão da média é apresentado entre parênteses

Tubete e compósito	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
São Miguel Arcanjo						
folha						
Polipropileno	24,3 (2,3)	1,24 (0,05)	6,5 (0,2) b	5,3 (0,1)	2,42 (0,09)	1,23 (0,23)
PHB normal	27,7 (0,9)	1,46 (0,04)	7,0 (0,4) ab	5,5 (0,2)	2,31 (0,07)	1,03 (0,15)
PHB escurecido	28,5 (1,7)	1,40 (0,09)	7,1 (0,0) ab	5,8 (0,4)	2,57 (0,10)	1,16 (0,18)
Mini polipropileno	25,9 (3,3)	1,40 (0,26)	7,1 (0,1) ab	5,4 (0,2)	2,30 (0,26)	1,33 (0,18)
Mini PHB	28,8 (2,2)	1,41 (0,12)	7,7 (0,4) a	5,7 (0,1)	2,56 (0,05)	1,49 (0,19)
caule						
Polipropileno	5,7 (0,3)	0,48 (0,05)	6,1 (0,4)	4,4 (0,3)	0,88 (0,03)	0,33 (0,08)
PHB normal	6,4 (0,5)	0,56 (0,03)	6,6 (0,3)	4,6 (0,4)	0,82 (0,06)	0,43 (0,04)
PHB escurecido	6,6 (0,5)	0,51 (0,03)	6,0 (0,0)	4,6 (0,4)	0,82 (0,04)	0,36 (0,04)
Mini polipropileno	6,9 (0,6)	0,53 (0,06)	6,6 (0,3)	4,9 (0,1)	0,95 (0,05)	0,33 (0,08)
Mini PHB	6,5 (0,4)	0,53 (0,05)	6,7 (0,2)	4,5 (0,4)	0,89 (0,08)	0,36 (0,04)
raiz						
Polipropileno	5,0 (0,1)	0,42 (0,20)	4,1 (0,2) ab	3,7 (0,3)	0,78 (0,09)	0,41 (0,01)
PHB normal	5,0 (0,2)	0,31 (0,00)	4,0 (0,1) ab	4,0 (0,6)	0,94 (0,06)	0,47 (0,03)
PHB escurecido	4,7 (0,5)	0,27 (0,04)	3,8 (0,2) ab	3,8 (0,4)	0,90 (0,13)	0,42 (0,06)
Mini polipropileno	4,8 (0,7)	0,25 (0,03)	3,4 (0,0) b	3,4 (0,3)	0,74 (0,06)	0,39 (0,07)
Mini PHB	4,9 (0,7)	0,31 (0,05)	4,4 (0,7) a	3,6 (0,2)	0,87 (0,13)	0,44 (0,07)
Santa Branca						
folha						
Polipropileno	31,5 (3,2)	1,47 (0,17)	11,7 (1,7)	4,9 (0,1)	1,67 (0,18)	0,89 (0,07)
PHB normal	33,8 (1,2)	1,55 (0,05)	12,3 (0,7)	4,0 (0,1)	1,48 (0,21)	1,08 (0,06)
PHB escurecido	33,9 (1,1)	1,68 (0,07)	11,5 (0,4)	4,2 (0,1)	1,63 (0,02)	1,05 (0,09)
Mini polipropileno	33,0 (0,7)	1,60 (0,08)	12,5 (0,6)	4,3 (0,2)	1,40 (0,14)	1,05 (0,09)
Mini PHB	34,1 (0,4)	1,63 (0,23)	12,7 (1,0)	4,4 (0,2)	1,48 (0,06)	0,89 (0,07)
caule						
Polipropileno	9,8 (0,0)	0,69 (0,06) c	11,5 (0,8)	5,3 (0,5)	1,01 (0,03)	0,36 (0,03)
PHB normal	10,9 (0,4)	0,76 (0,10) bc	11,5 (1,0)	4,7 (0,4)	0,90 (0,07)	0,33 (0,00)
PHB escurecido	11,1 (0,4)	0,96 (0,09) ab	12,3 (1,3)	4,8 (0,3)	1,09 (0,04)	0,42 (0,06)
Mini polipropileno	10,1 (0,2)	0,84 (0,03) abc	12,7 (0,4)	5,3 (0,1)	0,98 (0,05)	0,39 (0,03)
Mini PHB	11,2 (0,3)	1,01 (0,13) a	13,3 (0,8)	5,1 (0,2)	1,10 (0,07)	0,42 (0,06)
raiz						
Polipropileno	9,0 (0,3)	0,59 (0,03)	7,9 (0,8)	4,7 (0,3)	1,14 (0,07) ab	0,44 (0,03)
PHB normal	9,0 (1,1)	0,56 (0,02)	7,5 (0,1)	4,2 (0,0)	0,95 (0,04) b	0,50 (0,00)
PHB escurecido	10,0 (0,4)	0,67 (0,03)	8,1 (0,3)	4,3 (0,3)	1,25 (0,04) a	0,47 (0,03)
Mini polipropileno	9,6 (0,1)	0,60 (0,05)	8,1 (0,4)	4,8 (0,4)	1,03 (0,03) ab	0,47 (0,03)
Mini PHB	9,2 (0,6)	0,66 (0,02)	8,3 (0,2)	5,1 (0,3)	1,15 (0,06) ab	0,50 (0,00)

¹ Médias seguidas com a mesma ou sem a letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$)

Figura 46 – Temperatura média (1) e precipitação acumulada (2), dos períodos de avaliação, nos sítios de Botucatu (a), de Mogi Guaçu (b), de São Miguel Arcanjo (c) e de Santa Branca (d)

Nessa idade, a taxa média de decomposição foi de 62,3; 58,5; 48,2 e 53,9%, para os sítios de Botucatu, de Mogi Guaçu, de São Miguel Arcanjo e de Santa Branca, respectivamente. Não houve uma relação direta da taxa média de decomposição dos recipientes de compósito com as condições climáticas. No sítio de Santa Branca a precipitação foi menos da metade do que as precipitações dos demais sítios, e a temperatura média foi em torno de 3,0°C inferior. Já no sítio de São Miguel Arcanjo ocorreu a segunda maior precipitação e a maior temperatura média entre todos os sítios, porém, teve a menor taxa de decomposição. Parte desse resultado pode ser explicado pela relação água/oxigênio que influencia a velocidade de decomposição de resíduos por microrganismos. Nesse sítio o elevado índice pluviométrico conjugado ao alto teor de argila reduziu a oxigenação do solo e consequentemente a atividade microbiana. No sítio de Botucatu ocorreu o maior índice pluviométrico entre os sítios, porém, o solo é de textura arenosa, e não ocorreu problema na relação água/oxigênio.

A taxa média de decomposição dos compósitos, aos 150 dias após o plantio, nos quatro sítios, foi de 46,3; 55,7 e 65,1% da massa inicial, para os tubetes de compósito na coloração normal e na escurecida, e no minitubete, respectivamente (Figura 47). Nessa idade, a diminuição média de massa desses recipientes foi de 5,5; 6,2 e 4,5 g

tubete⁻¹ da massa inicial. Isso justifica a maior taxa de decomposição do minitubete, pois é o recipiente com menor massa inicial. Já a maior decomposição do tubete de compósito na coloração escurecida é reflexo de sua maior decomposição no viveiro. O ataque microbiológico e a maior fotodegradação predispuseram esses recipientes a maior biodegradação no solo.

Figura 47 – Diminuição da massa dos tubetes de compósito na coloração normal (y_1) e na escurecida (y_2), e do minitubete (y_3), do plantio até 150 dias após, nos sítios de Botucatu (a), de Mogi Guaçu (b), de São Miguel Arcanjo (c) e de Santa Branca(d). A barra junto às médias representa seu erro padrão

Os tubetes de compósito na coloração normal apresentaram taxa média de decomposição de 49,2; 39,2; 41,2 e 55,6%; na coloração escurecida de 56,6; 50,2; 51,3 e 64,8%; e, no minitubete de 81,1; 86,1; 52,0 e 41,3%, nos mesmos sítios. Não se observou uma tendência de comportamento da taxa de decomposição dos diferentes recipientes de compósito nos diferentes sítios. No sítio de Santa Branca, os tubetes de compósito na coloração normal e na escurecida tiveram as maiores taxas de decomposição, em contrapartida o minitubete teve sua menor taxa de decomposição entre todos os sítios. Nesse sítio temperatura e precipitação foram inferiores as demais, ficando claro que há outros fatores além das condições climáticas que atuam na decomposição dos compósitos.

A relação entre diminuição de massa dos recipientes de compósito com o tempo de decomposição após o plantio foi linear em todos os sítios para os três recipientes, exceto tubete na coloração normal, que foi quadrática em São Miguel Arcanjo e em Santa Branca (Figura 47).

Considerando todo o ciclo, 90 dias de produção das mudas mais 150 dias após o plantio, a taxa média de decomposição foi de 50,7; 61,9 e 69,6%, para os tubetes de compósito na coloração normal e na coloração escurecida, e no minitubete, respectivamente. No ciclo do viveiro de Bofete + o sítio de Botucatu, a taxa média de decomposição dos recipientes de compósito foi de 63,2%; no ciclo do viveiro e do sítio de Mogi Guaçu, de 64,3%; no ciclo do viveiro de Ibaté + o sítio de São Miguel Arcanjo, de 54,3%; e, no ciclo do viveiro de Jacareí + o sítio de Santa Branca, de 61,1%.

No sítio de Botucatu e de São Miguel Arcanjo, as equações que relacionam a diminuição da massa com as condições ambientais apresentaram altos coeficientes de determinação para os tubetes de compósito na coloração normal e na escurecida; no sítio de Mogi Guaçu para o tubete de coloração escurecida e para o minitubete; e, no sítio de Santa Branca para o minitubete. As demais apresentaram valores intermediários (Tabela 19). Todas as equações conjuntas dos três recipientes e dos quatro sítios apresentaram valores intermediários.

Tabela 19 – Equações que estimam a diminuição da massa (g tubete⁻¹) dos diferentes recipientes de compósito, nos quatro sítios, em função de diferentes variáveis independentes¹

Sítio	Compósito	Equação	R ²	S _{y_x}	N
Botucatu	normal	$y = 14,753 - 1,103 \cdot T_{min} + 0,042 \cdot P$	0,95***	0,457	6
	escurecido	$y = 14,118 - 14,343 \cdot T_{max} - 16,600 \cdot T_{min} + 29,549 \cdot T_{med} + 0,053 \cdot P$	0,99***	0,003	6
	mini	$y = 0,042 \cdot T_{med}$	0,59**	0,886	6
	normal, escurecido e mini	$y = 1,056 \cdot T_{max} - 1,830 \cdot T_{min} + 0,0340 \cdot P$	0,62***	1,120	18
Mogi Guaçu	normal	$y = 0,035 \cdot T_{med}$	0,51*	0,832	6
	escurecido	$y = - 0,643 \cdot T_{max} + 0,825 \cdot T_{med}$	0,85**	0,518	6
	mini	$y = - 27,848 - 43,393 \cdot T_{max} - 49,218 \cdot T_{min} + 92,553 \cdot T_{med} + 0,041 \cdot P$	0,99*	0,214	6
	normal, escurecido e mini	$y = - 9,418 - 14,978 \cdot T_{max} - 15,757 \cdot T_{min} + 31,061 \cdot T_{med}$	0,52**	0,762	18
São Miguel Arcanjo	normal	$y = 0,608 \cdot T_{max} - 0,7013 \cdot T_{med}$	0,84**	0,519	6
	escurecido	$y = 19,757 \cdot T_{max} + 18,890 \cdot T_{min} - 38,740 \cdot T_{med} - 0,0072 \cdot P$	0,99**	0,188	6
	mini	$y = 0,004 \cdot P$	0,46*	0,778	6
	normal, escurecido e mini	$y = 6,035 \cdot T_{max} + 5,533 \cdot T_{min} - 11,635 \cdot T_{med}$	0,69***	0,664	18
Santa Branca	normal	$y = 0,087 \cdot T_{min}$	0,50*	1,250	6
	escurecido	$y = 0,025 \cdot P$	0,50*	1,421	6
	mini	$y = - 7,366 \cdot T_{max} - 7,534 \cdot T_{min} + 14,865 \cdot T_{med}$	0,83*	0,389	6
	normal, escurecido e mini	$y = 0,071 \cdot T_{min}$	0,40***	1,160	18
Botucatu, Mogi Guaçu, Santa Branca e São Miguel Arcanjo	normal	$y = 0,033 \cdot T_{max}$	0,41***	1,122	24
	escurecido	$y = 0,047 \cdot T_{med}$	0,53***	1,004	24
	mini	$y = 0,034 \cdot T_{med}$	0,34***	1,080	24
	normal, escurecido e mini	$y = 0,041 \cdot T_{med}$	0,42***	1,062	72

¹ Tmax, Tmin, Tmed = Temperatura máxima, mínima e média do ambiente; Umax, Umin, Umed = Umidade relativa do ar máxima, mínima e média; P = precipitação; * Significativo a 10% de probabilidade; ** Significativo a 5% de probabilidade; *** Significativo a 1% de probabilidade

Quando se faz o desdobramento dos valores de R² para verificar a contribuição das diferentes variáveis independentes, constatou-se que a temperatura máxima e média do ambiente foram os fatores que mais contribuíram para explicar as variâncias dos valores de diminuição da massa dos compósitos (Tabela 20).

Tabela 20 - Desdobramento dos coeficientes de determinação obtidos nas equações apresentadas na tabela 19, para as diferentes variáveis independentes

Sítio	Compósito	R ²			R ²	R ²
		Tmax	Tmin	Tmed	P	Total
Botucatu	normal		0,25		0,70	0,95
	escurecido	0,02	0,32		0,65	0,99
	mini			0,59		0,59
	normal, escurecido e mini	0,42	0,03		0,17	0,62
Mogi Guaçu	normal			0,51		0,51
	escurecido	0,67		0,18		0,85
	mini	0,10	0,14	0,46	0,29	0,99
	normal, escurecido e mini	0,16	0,09	0,27		0,52
São Miguel Arcanjo	normal	0,51		0,33		0,84
	escurecido	0,57	0,14	0,23	0,05	0,99
	mini				0,46	0,46
	normal, escurecido e mini	0,49	0,09	0,11		0,69
Santa Branca	normal		0,50			0,50
	escurecido				0,50	0,50
	mini	0,42	0,01	0,40		0,83
	normal, escurecido e mini			0,40		0,40
Botucatu, Mogi Guaçu, Santa Branca e São Miguel Arcanjo	normal	0,41				0,41
	escurecido			0,53		0,53
	mini			0,34		0,34
	normal, escurecido e mini			0,42		0,42

5 CONCLUSÕES

- O aumento da dose de N na fertilização de base não proporcionou aumento da taxa de decomposição dos tubetes de compósito noventa dias após a semeadura.

A Hipótese I não foi corroborada;

- O aumento do teor de madeira não proporcionou aumento da taxa de decomposição dos tubetes de compósito. As formulações apresentaram taxas médias de decomposição semelhantes nas estações climáticas, com o aumento das doses de N e com o tempo;

A Hipótese II não foi corroborada;

- A estação climática afetou a taxa de decomposição dos tubetes de compósito;

A Hipótese III foi corroborada;

- A abertura de fissuras nos tubetes de compósito causou deformação da estrutura do tubete, dificultando o manejo das mudas no sistema de produção atual;

- No verão, o crescimento em altura e em diâmetro do colo das mudas seminais não apresentou diferença para os três recipientes; e, no inverno, as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno ficaram maiores que as mudas produzidas nas duas formulações de compósito, para essas mesmas variáveis;

- A produção de biomassa de folha, de caule, de raiz e total das mudas seminais, no verão, não diferiu para os três recipientes; e, no inverno, as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno produziram mais biomassa que as mudas produzidas nas duas formulações de compósito, exceto raiz;

- As concentrações de N, Ca e Mg na folha e de N na raiz das mudas seminais produzidas nos tubetes de polipropileno foram menores do que as produzidas nos compósitos. O conteúdo médio diferiu apenas para o N na raiz;

A Hipótese IV foi parcialmente corroborada. No verão, o alto índice pluviométrico aliado ao problema de drenagem do substrato modificou o comportamento de crescimento das mudas seminais;

- O crescimento médio em altura e em diâmetro do colo das plantas dos plantios seminais da primavera e do outono não apresentou diferença para os três recipientes;

- Em ambos os plantios, a produção de biomassa, para todos os componentes, não diferiu;

- Os tubetes de compósito não impediram o desenvolvimento do sistema radicular. As raízes cresceram através das aberturas das fissuras e pelo orifício inferior do recipiente;

A Hipótese V não foi corroborada;

- O crescimento médio em altura e em diâmetro do colo das mudas clonais, aos 90 dias após o estaqueamento, apresentou diferença nos tubetes em Ibaté, e nos minitubetes em Bofete. Nas demais comparações não houve diferença;

- A produção média de biomassa seca de folha das mudas clonais não diferiu entre os tubetes e entre os minitubetes; de caule diferiu entre os tubetes em Ibaté e os minitubetes em Bofete e Mogi Guaçu; de raiz diferiu entre os tubetes em Bofete e Mogi Guaçu e os minitubetes em Bofete;

A Hipótese VI foi parcialmente corroborada. Houve diferença de crescimento e de produção de biomassa em alguns viveiros;

A Hipótese VII não foi corroborada. O tubete de compósito na coloração escurecida decompôs mais do que na coloração normal, possivelmente pela maior fotodegradação e pelo efeito da dilatação e da contração térmica, que fissurou e fragmentou mais. Não há necessidade de usar o tubete de compósito na coloração escurecida;

- O crescimento médio em altura e em diâmetro do colo das plantas clonais, aos 150 dias após o plantio, não diferiu em três sítios entre todos os recipientes. No sítio de Santa Branca, o diâmetro do colo das mudas produzidas no tubete de compósito na coloração escurecida foi menor do que no tubete de polipropileno;

- A produção de biomassa seca de folha, de caule, de raiz e total, aos 150 dias após o plantio clonal, não diferiu em três sítios entre todos os recipientes. No sítio de

Santa Branca, as mudas produzidas nos tubetes de compósito na coloração escurecida, apresentaram menor produção de biomassa seca de folha, de caule, de raiz e total do que as mudas produzidas nos tubetes de polipropileno;

- O desenvolvimento das mudas produzidas nos minitubetes foi satisfatório e comparável ao dos tubetes, principalmente após o plantio;

- Os tubetes e o minitubete de compósito não impediram o desenvolvimento do sistema radicular. As raízes cresceram através das aberturas das fissuras e pelo orifício inferior do recipiente;

- De forma geral, excluindo o sítio de Botucatu, onde ocorreu a ferrugem, não se observou efeito sistemático positivo ou negativo na concentração de nutrientes nos diferentes tecidos vegetais, aos 150 dias após o plantio clonal, das mudas produzidas nos diferentes tubetes e minitubetes;

A Hipótese VIII não foi corroborada;

- A diminuição da massa dos tubetes ou minitubete de compósito, tanto no processo de produção de muda seminal ou clonal, pôde ser prevista com alta precisão em função das condições ambientais;

- Após o plantio das mudas seminais, a diminuição da massa dos tubetes de compósito também pôde ser prevista com alta relação em função das condições ambientais de campo;

- Após o plantio das mudas clonais, a diminuição da massa dos tubetes e do minitubete de compósito (coloração normal) apresentou alta relação com as condições edafoclimáticas em dois sítios e, na coloração escura, em três sítios;

A Hipótese IX foi corroborada para a maioria dos compósitos individualmente em viveiro e em campo.

Referências

AGNELLI, J.A.M. Reciclagem de polímeros: situação brasileira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 4, n. 4, p. 9-18, 1996.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 442 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2009 – Ano Base 2008**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 20 jun. 2009.

BALTIERI, R.C.; CARNEIRO, A.L.; MEI, L.H.I. Blendas ambientalmente degradáveis de poli(ácido 3-hidroxibutírico)(PHB) e amido modificado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 5., 1999, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Polímeros, 1999. p. 2913-2924.

BELLOTE, A.F.J.; DA SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 4, p. 105-132.

BRASIL, U.M.; SIMÕES, J.W.; SPELTZ, R.M. Tamanho adequado dos tubetes de papel na formação de mudas de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 4, p. 29-34, 1972.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 2002. 408 p.

CAMPINHOS JR, E.; IKEMORI, Y.K. Nova Técnica para a Produção de Mudas de Essências Florestais. **IPEF**, n. 23, p. 43-46, 1983.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. Propriedades mecânicas dos compósitos polihidroxibutirato/ amido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 5., 1999, Águas de Lindóia. **Anais...** São Carlos: Associação Brasileira de Polímeros, 1999. res. n. 132. 1 CD-ROM.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. Wood flour/polyhydroxybutyrate composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 3., 2000, São Pedro. **Proceedings...** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000. p. 426-430.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. Compósitos de polihidroxibutirato com fibras naturais: preparação e caracterização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 6., 2001, Gramado. **Anais...** São Carlos: Associação Brasileira de Polímeros, 2001. res. n. 369. 1 CD-ROM.

CARASCHI, J.C.; RAMOS, U.M.; LEÃO, A.L. Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1609-1614, 2002.

CARNEIRO, J.G.A. **Influência dos recipientes e de estações de semeadura sobre o comportamento do sistema radicular e dos parâmetros morfológicos de mudas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* L.** Curitiba: UFPR, 1987. 81 p.

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

CARVALHO, C.M.; NOVAES, A.B.; JOSÉ, A.R.S.; BARBOSA, A.A.; SOUZA, I.V.B. Produção de mudas de espécies florestais de rápido crescimento. In: NOVAES, A.B. **Reflorestamento no Brasil.** Vitória da Conquista: UESB, 1992. p. 93-103.

CARVALHO NETO, J.P. **Adubação NPK na produção de minestacas de eucalipto em solução nutritiva.** 2010. 29 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2010.

CAVALCANTE, M.S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1982. 40 p.

COSTA, P.R.Y.; MACHADO, M.L.C.; PEREIRA, N.C.; MIRANDA, L.F.; PRADELLA, J.G.C. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos PHB (polihidroxibutirato)/pó de madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006. p. 2913-2924.

COUTINHO, B.C.; MIRANDA, G.B.; SAMPAIO, G.R.; DE SOUZA, L.B.S.; SANTANA, W.J. A importância e as vantagens do polihidroxibutirato (plástico biodegradável). **Holos**, Natal, v. 3, p. 76-81, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SOLOS, 1999. 212 p.

FAGUNDES, N.B.; FIALHO, A.A. Produção de mudas de *Eucalyptus* via sementes no sistema tubete na COPENER. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 13, p. 33-38, 1987.

FERREIRA, C.A.G.; DAVIDE, A.C.; CARVALHO, L.R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.

FONSECA, E.P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento.** 2000. 113 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2000.

FREITAS, A.J.P.; KLEIN, J.E.M. Aspectos técnicos e econômicos da mortalidade de mudas no campo. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 11., 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p. 736.

FREITAS, T.A.S.; BARROSO, D.G.; CARNEIRO, J.G.A.; PENCHEL, R.M. LAMÔNICA, K.R.; FERREIRA, D.A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 853-861, 2005.

FRANCHETTI, S.M.M; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis – uma solução para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

GATENHOLM, P.; KUBÁT, J.; MATHIASSEN, A. Biodegradable natural composites. I. Processing and properties. **Journal Applied Polymer Science**, New York, v. 45, p. 1667-1677, 1992.

GATENHOLM, P.; MATHIASSEN, A. Biodegradable natural composites. II. Synergistic effects of processing cellulose with PHB. **Journal Applied Polymer Science**, New York, v. 51, p. 1231-1237, 1994.

GOMES, J.M. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em “win-strip”. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 35-42, 1991.

GOMES, J.M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e do dosagens de N-P-K.** 2001. 164 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; PEREIRA, A.R. Uso de diferentes substratos e suas misturas na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* por meio de semeadura direta em tubetes e bandeja de isopor. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 9, n. 1, p. 58-86, 1985.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N.; COUTO, L. Produção de mudas de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 15-23, 1996.

GOMES, J. M. COUTO, L.; BORGES, R.C.G.; FREITAS, S.C. Influência do tamanho da embalagem plástica na produção de mudas de Ipê (*Tabebuia serratifolia*) de Copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e de Angico Vermelho (*Piptadenia peregrina*). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 14, n. 1, p. 26-34, 1990.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

GONÇALVES, J.L.M. Uso de resíduo industrial como substrato para a produção de mudas em tubetes na RIPASA Ftal SA. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 13, p. 24-30, 1987.

GONÇALVES, J.L.M. Produção de mudas de eucalipto e pinus usando sistema de tubetes. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 10., 1995, Concórdia (Argentina). **Anais...** Concórdia: INTA, 1995. p.1-4.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 1, p. 1-45.

GONÇALVES, J.L.M. **Recipientes de cultivo**. Nota de aula da disciplina LCF 621- Implantação Florestal. 2010. 1v.

GONÇALVES, J.L.M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES NETO, S.P.; MANARA, M.P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 11, p. 309-350.

GRIFFITH, L.G. Polymeric biomaterials. **Acta Materialia**, Oxford, UK, v. 48, p. 263-277, 2000.

HANSON, H.P.; DIXON, R.K.; DICKENSON, R.E. Effect of container and shape on the growth of northern red oak seedlings. **Hortscience**, St. Joseph, v. 22, p. 1293-1295, 1987.

HUANG, J.C.; SHETTY, A.S.; WANG, M.S. Biodegradable plastics: A review. **Advances in Polymer Technology**, Malden, v. 10, n. 1, p. 23-30, 1990.

KELLER, L. **Viabilidade do uso do sistema de blocos prensados na produção de mudas de três espécies arbóreas nativas**. Seropédica, 2006. 40 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

KELLER, L.; LELES, P.S.S.; OLIVEIRA NETO; S.N.; COUTINHO, R.P.; NASCIMENTO, D.F. Sistema de blocos prensados para produção de mudas de três espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

KELMAN, A. The relationship of pathogenicity in *Pseudomonas solanacearum* to colony appearance on a tetrazolium mediu. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 44, p. 693-695, 1954.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2. 663 p.

KORNER, I.; REDEMANN, K.; STEGMANN, R. Behaviour of biodegradable plastics in composting facilities. **Waste Management**, Kidlington, v. 25, n. 4, p. 409-415, 2005.

LEÃO, A.L.; TAN, I.H. Potencial of municipal solid waste (MSW) as a source of energy in São Paulo: Its Impact on CO₂ Balance. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 14, n. 1, p. 83-89, 1998.

LEITE, H.G.; JACOVINE, L.A.G.; SILVA, C.A.B.; PAULA, R.A. DE; PIRES, I.E.; SILVA, M.L. da. Determinação dos custos da qualidade em produção de mudas de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 955-964, 2005.

MACHADO, M.L.C.; PEREIRA, N.C.; MIRANDA, L.F.; TERENCE, M.C.; PRADELLA, J.G.C. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero biodegradável poli-3-hidroxi-butirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 65-71, 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MASSON, M.V. **Ferrugem do eucalipto: planejamento evasivo, estimativa de dano e análise da viabilidade do controle químico**. 2009. 167 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2009.

MATTEI, V.L. Deformações radiculares em plantas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes quando comparadas com plantas originadas por semeadura direta. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 9-21, 1994.

NASCIMENTO, J.F. **Estudo da processabilidade e da caracterização do poli(ácido 3-hidroxi-butírico) – PHB obtido a partir de cana de açúcar**. 2001. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PACHEKOSKI, W.M. **Desenvolvimento de blendas biodegradáveis constituídas de polihidroxi-butirato – PHB e poli(ácido láctico) – PLA para a fabricação de filmes**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

PARVIAINEN, J.; CARNEIRO, J.G.A.; KOLSTRÖN, T. Different Forest tree seedling production methods and their effects on stem quality of the tree stands according the point of harvesting. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba:UFPR, 1992. p. 20-33.

PICCOLI, R.A.M.; QUIROZ, L.H.C.; FLEURY, A.; MATTOS, M.N.; OLIVEIRA, V.; BONOMI, A. Otimização da produção de polihidroxibutirato por via fermentativa, baseada num modelo matemático cibernético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000. Águas de São Pedro. **Anais...** Campinas: Universidade de Campinas, 2000. res. n. 839. 1 CD-ROM.

POIRIER, Y.; SOMERVILLE, C.; SCHECHTMAN, L.A.; SATKOWSKI, M.M.; NODA, I. Synthesis of high-molecular-weight poly([R]-(-)-3-hydroxybutyrate) in transgenic *Arabidopsis thaliana* plant cells. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 7-12, 1995.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MAESTRI, M. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 13, n. 1, p. 1-18, 1989.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; BERNARDO, A.L.; MAESTRI, M. Efeito da poda de raízes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* produzidas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 43-54, 1991.

REIS, G.G.; REIS, M.G.E.; RODRIGUES, F.L.; BERNARDO, A.L.; GARCIA, N.C.P. Efeito da poda de raízes de mudas de eucaliptos produzidas em tubetes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 137-145, 1996.

ROSA, D.S.; HANG-CHUI, Q. S.; PANTANO FILHO, R.; AGNELLI, J.A.M. Avaliação da Biodegradação de Poli- α -(Hidroxibutirato), Poli- α -(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli- α -(caprolactona) em Solo Compostado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 12, n. 4, p. 311-317, 2002.

ROSA, D.S.; FILHO, R.P. **Biodegradação – um ensaio com polímeros**. Itatiba: Moara Editora, 2003. 112 p.

ROSA, D.S.; LOTTO, N.T.; LOPPES, D.R.; GUEDES, C.G.F. The use of roughness for evaluating the biodegradation of poly-b-(hydroxybutyrate) and poly-b-(hydroxybutyrate-co-b-valerate). **Polymer Testing**, Amsterdam, v. 23, p. 3-8, 2004.

SANTOS, C.A.G. **Estudos epidemiológicos da ferrugem de eucalipto causado por *Puccinia psidii* em plantios irrigados**. 2006. 66 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2006.

SCOPEL, H.V.; SILVEIRA, E.R. **Influência de adubações convencionais e adubação com liberação lenta (osmocote) no desenvolvimento inicial de plântulas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*)**. Pato Branco: Área de Conhecimento (CNPq): Agronomia, 2010. 20 p. (Relatório Final de Pesquisa Científica).

SENTELHAS, P.C.; MARIN, F.R.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; BARBIERI, V. **Análise dos dados climáticos e do balanço hídrico climatológico de Piracicaba**. Piracicaba: DFM/ESALQ/USP, 1998. 81 p.

SHARMA, R.; RAY, A.R. Polyhydroxybutyrate, its copolymers and blends. **Journal of Macromolecular Science**, Philadelphia, v. 35, n. 2, p. 327-359, 1995.

SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, F.R.A.; SILVA, C.R. **Influência do cultivo mínimo e da fertilização sobre a ocorrência de ferrugem em plantios de *Eucalyptus grandis* na VCP**. Piracicaba: VCP, 1997. 14 p. (Relatório Técnico).

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. IPEF: Piracicaba, 2000. cap. 3, p. 79-104.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (ha) – 2000**. Disponível em: http://www.sbs.org.br/area_plantada.htm. Acesso em: 20 dez. 2008.

SQUIO, C.R.; ARAGÃO, G.M.F. Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-hidroxibutirato) e poli(3-hidroxibutirato-co-valerate) por bactérias. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 615-622, 2004.

TAKAHASHI, S.S. **Ferrugem do eucalipto**: índice de infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionadas à intensidade da doença no campo. 2002. 101 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

TANAHASHI, N.; DOI, Y. Thermal properties and stereoregularity of poly(3-hydroxybutyrate) prepared from optically active beta-butyrolactone with a zinc-based catalyst. **Macromolecules**, Washington, v. 24, n. 20, p. 5732-5733, 1991.

TINUS, R.W.; McDONALD, S.E. **How to grow tree seedlings in containers in greenhouses**. Fort Collins: USDA Forest Service; Dept. of Agriculture, 1979. 256 p.

TULEEN, D.M.; FREDERIKSEN, R.A. Evaluating a crop loss model for head smut of sorghum. **Phytopathology**, Lancaster, v. 72, p. 1278-1280, 1982.

TURRA, A.; MALUF, A.; MANZANO, A.B. A invasão dos plásticos nos oceanos. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 246, p. 40-45, 2008.

VALERI, S.V.; CORRADINI, L. Fertilização de em viveiros para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 6, p. 191-216.

ZANI FILHO, J.; BALLONI, E.A.; STAPE, J.L. Viveiro de mudas florestais – Análise de um sistema operacional atual e perspectivas futuras. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 168, p. 1-20, 1989.