

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**HIDROGEL COMO CONDICIONADOR DE
SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
Eucalyptus dunnii Maiden**

TESE DE DOUTORADO

Marcio Carlos Navroski

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**HIDROGEL COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO
PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden**

Marcio Carlos Navroski

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em
Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
Como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Maristela Machado Araújo

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Navroski, Marcio Carlos
HIDROGEL COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO PARA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden / Marcio
Carlos Navroski.-2013.
222 p.; 30cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Viveiro Florestal 2. Qualidade de mudas 3.
Hidrogel 4. Retenção de água I. Araujo, Maristela Machado
II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Marcio Carlos Navroski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: navroski@cav.udesc.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**HIDROGEL COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO PARA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden**

elaborada por
Marcio Carlos Navroski

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Maristela Machado Araújo, Dr^a (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Claudimar Sidnei Fior, Dr. (UFRGS)

Cleber Witt Saldanha, Dr. (FEPAGRO)

Luciana Magda Oliveira, Dr^a (UDESC)

Luciane Almeri Tabaldi, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 30 de agosto de 2013.

DEDICO

A DEUS, por ter me concedido a graça de concluir mais uma
etapa de minha caminhada com sucesso.

Aos meus pais, que com grande esforço e amor me deram
muito mais do que a vida.

Aos meus irmãos pelo incentivo.

A minha noiva Mariane, pelo apoio e compreensão em todos os momentos.

E a todos que acreditaram em mim, com carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais Alberto e Jandira, pelo apoio, carinho, compreensão e amor. Aos meus irmãos Roberto e Cláudia, pelo constante incentivo.

À professora e orientadora Dr^a. Maristela Machado Araújo, por toda a ajuda, compreensão, orientação e dedicação a mim dispensada, enfim por todo o apoio durante este período. Obrigado por tudo.

À Universidade Federal de Santa Maria, pelos nove anos de estudo nesta instituição, e pela oportunidade de realização do doutorado; bem como ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

À CAPES, pela bolsa concedida durante parte do doutorado, fundamental para a viabilização deste trabalho.

Aos Professores da banca de qualificação e defesa pela participação. Agradeço pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições.

Aos colegas e amigos do Viveiro Florestal, Fernando e Álvaro, pela ajuda e auxílio em todos os momentos desta trajetória.

Aos colegas do Viveiro Florestal: Jessé, Eduardo, Thaíse, Suelen e Thairini. Aos funcionários: Gervásio, pelo auxílio em todos os momentos necessitados, e ao Seu Élio, pelo auxílio, amizade e pelas histórias habituais.

Às secretárias do PPGEF, Tita e Rone por todo o apoio, amizade e auxílio.

Aos professores, colegas e amigos da Universidade do Estado de Santa Catarina, principalmente aos Professores Marcos, Geedre, André, Raul e Philippe.

À família da Mariane pelo acolhimento, amizade e apoio em todos os momentos.

E, finalmente, agradeço imensamente à Mariane, meu amor, quem escolhi – e infinitas vezes escolheria – para compartilhar todos os dias de minha vida.

“O homem põe pedra sobre pedra e faz um castelo. Deita umas sementes ao chão e faz uma floresta. Escolha cada qual o que quiser, mas por mais pequena que seja a floresta, ela é sempre maior que qualquer castelo. Mesmo sendo a sua história apenas a história de suas árvores.”

José Saramago

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

HIDROGEL COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

AUTOR: MARCIO CARLOS NAVROSKI

ORIENTADORA: MARISTELA MACHADO ARAUJO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de agosto de 2013.

A utilização de polímeros hidroretentores, misturados ao substrato, tem a função de retenção de água e a sua liberação de maneira gradativa para a planta, podendo aumentar a eficácia da irrigação, reduzindo o consumo de água e o uso de fertilizantes. O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a viabilidade do uso do hidrogel adicionado ao substrato na semeadura das mudas, verificando-se as propriedades químicas e físicas no substrato e o efeito no crescimento das mudas. O trabalho foi dividido em seis capítulos, no Cap. I foram testados diferentes substratos e dosagens do polímero vegetal. A análise química e física dos substratos e o crescimento das mudas demonstram a melhoria das propriedades dos substratos, principalmente as relacionadas à retenção de água, tendo reflexo no crescimento das mudas no viveiro. O uso de 4 g L⁻¹ do hidrogel apresentou o melhor desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus dunnii*. No Cap. II foi avaliada a relação do hidrogel com doses de adubação de liberação controlada. O uso do hidrogel apresentou melhoria das características químicas e físicas dos substratos, principalmente aos atributos que envolvem armazenamento e disponibilização de água à planta. O uso do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* pode reduzir o uso de adubação em 25 - 50%, em média, não havendo prejuízo na qualidade das mudas. O Cap. III foi relativo à avaliação das dosagens do polímero a base de poliacrilamida no crescimento das mudas e nas características do substrato, além da análise nutricional das mudas após o cultivo no viveiro. A dose em torno de 4,5 g L⁻¹ ocasionou a melhor resposta quanto às características morfológicas. O uso de dosagens abaixo de 3 g L⁻¹ ou acima de 4,5 g L⁻¹ influenciaram negativamente na maioria das características observadas. Quanto ao teor nutricional houve maior concentração de macronutrientes na parte aérea na presença do hidrogel, já em relação aos micronutrientes, houve decréscimo no teor de todos os elementos com o aumento da dose do polímero. Verificar o efeito do hidrogel em diferentes lâminas de irrigação foi o objetivo no Cap. IV. Na ausência do hidrogel, o maior desenvolvimento das mudas foi obtido com as lâminas de irrigação entre 16 a 20 mm dia⁻¹. Na presença de 3 g L⁻¹ de hidrogel o maior desenvolvimento das mudas foi obtido com a irrigação de 12 mm dia⁻¹. No Cap. V testou-se o efeito do hidrogel no plantio das mudas em vasos, relacionando com frequências de irrigação. O polímero hidroretentor possibilitou o retardamento de todos os sintomas de déficit hídrico avaliados apresentando maior influência quando a irrigação é efetuada em menor frequência. A avaliação econômica do uso do hidrogel foi abordado no Cap. VI. O uso de menores doses, aliado a economia obtida com a redução da adubação e principalmente com o consumo de água, o uso do hidrogel pode representar redução dos custos de produção. Em geral, os resultados obtidos com relação ao uso de polímeros hidroretentores ratificam a informação que a adição de hidrogéis no substrato otimiza a disponibilidade de água, acelerando o desenvolvimento das plantas, em consequência de uma melhor performance na absorção de água e nutrientes.

Palavras-chave: Viveiro florestal. Qualidade de mudas. Hidrogel. Retenção de água.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Post-Graduation Course in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

HIDRORETENTOR POLYMER IN SEEDLING PRODUCTION IN *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

AUTHOR: MARCIO CARLOS NAVROSKI

ADVISOR: MARISTELA MACHADO ARAUJO

Defense Place and Date: Santa Maria, August 30nd, 2013.

The use of polymers hidroretentores mixed to the substrate, has the function of water retention and release in a gradual way to the plant, and may increase the efficiency of irrigation, reducing the consumption of water and fertilizers. The objective of this research was to evaluate the feasibility of using the hydrogel substrate added to the sowing of seedlings, verifying the chemical and physical properties on the substrate and the reflection on the growth of seedlings. The work was divided into six chapters, in Chapter I tested different dosages of polymer substrates and vegetable. The chemical and physical analysis of substrates and growth of seedlings demonstrate the improvement of the properties of the substrates, especially those related to water retention, and reflection on the growth of seedlings in the nursery. The use of 4 g L⁻¹ of the hydrogel showed overall the best seedling development. In Chapter II we evaluated the relationship of the hydrogel with doses of controlled-release fertilizer. The use of the hydrogel showed improved physical and chemical characteristics of substrates, especially attributes involving storage and delivery of water to plant. The use of polymer hidroretentor in seedlings of *Eucalyptus dunnii* can reduce the use of fertilizer in 25 - 50% on average, with no loss in quality seedlings. The Chapter III was on the evaluation of the strengths-based polymer polyacrylamide seedling growth and the characteristics of the substrate, in addition to nutritional analysis after cultivation of seedlings in the nursery. The dosage around 4.5 g L⁻¹ brings the best answer regarding morphological. The use of doses below 3 g L⁻¹ or above 4.5 g L⁻¹ could negatively influence the majority of the observed features. All the nutrients had a higher nutritional content in shoots in the presence of the hydrogel, as compared to micronutrients, there was a decrease in the content of all elements with increasing polymer dosage. Check the effect of the hydrogel in different irrigation was the goal in Chapter IV. In the absence of the hydrogel, the further development of seedlings was obtained with irrigation between 16 to 20 mm day⁻¹. In the presence of 3 g L⁻¹ hydrogel further development of seedlings was obtained with the irrigation of 12 mm day⁻¹. In Chapter V we tested the effect of hydrogel in planting seedlings in pots, relating to irrigation frequencies. The polymer hidroretentor possible delay of all symptoms of water deficit assessed with higher influence when irrigation is performed less frequently. The economic evaluation of the costs with the use of hydrogel was discussed in Chapter VI. The use of lower doses, together with savings from the reduction of fertilization and especially with the water, the use of the hydrogel may represent reduction of production costs. In general, the results obtained with regard to the use of polymers hidroretentor confirm the information which hydrogel addition of the substrate optimizes the availability of water by accelerating the development of plants therefore better performance in absorbing water and nutrients.

Keywords: Forest nursery. Seedling quality. Hydrogel. Water retention.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – A - Porosidade total (%); B - Espaço de aeração (%) em função de diferentes composições do substrato e dosagens do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada..... 63
- Figura 2 – A - Água disponível (%); B - Água facilmente disponível (%) e C – Água tamponante (%) em função de diferentes composições do substrato e dosagens do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada..... 64
- Figura 3 – A - Água remanescente; B - capacidade de retenção de água (CRA) a tensão 10 hPa; C- capacidade de retenção de água (CRA) a tensão 50 hPa e D - capacidade de retenção de água (CRA) a tensão 100 hPa dos substratos submetido a diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*..... 68
- Figura 4 – Curva característica de retenção de água dos substratos submetidos às tensões 10, 50 e 100 hPa utilizando-se diferentes dosagens do hidrogel..... 69
- Figura 5 – A - Condutividade elétrica; B - pH e C - TTSS (teor totais de sais solúveis) em areia lavada em função da dose do polímero vegetal..... 71
- Figura 6 – Altura (cm) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal e diferentes substratos, aos 90 dias após semeadura. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada. 73
- Figura 7 – Diâmetro de coleto (cm) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal e diferentes substratos, aos 90 dias após semeadura. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada..... 76
- Figura 8 – Massa seca da parte aérea (MSPA) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura. .. 79
- Figura 9 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura. .. 80

Figura 10 – Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil® na presença (6 g L ⁻¹) e ausência (0 g L ⁻¹) do hidrogel submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa.....	94
Figura 11 – Altura (H) das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função das doses de fertilizante (% da dose recomendada) na presença (6 g L ⁻¹) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após semeadura.....	96
Figura 12– Diâmetro do coleto - DC (mm) das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função das doses de fertilizante (% da dose convencional) na presença (6 g L ⁻¹) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após semeadura.	98
Figura 13 – A - Massa seca da parte aérea - MSPA (g); B - massa seca radicular – MSR (g) e C- massa seca total – MST (g) por planta das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função das doses de fertilizante (% da dose convencional) na presença (6 g L ⁻¹) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após semeadura.	100
Figura 14 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função das doses de fertilizante (% da dose convencional), aos 90 dias após semeadura.	102
Figura 15 – A - densidade úmida (kg m ⁻³); B - umidade atual (%); C - porosidade total (%) e D- espaço de aeração (%) em substrato comercial Carolina Soil® em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	114
Figura 16 – A - Porcentagem de água disponível (AD); B - água tamponante (AT); C - água facilmente disponível (AFD) e D - água remanescente (AR) em substrato comercial Carolina Soil® em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	116
Figura 17 – Capacidade de retenção de água (CRA) do substrato comercial Carolina Soil® submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	117
Figura 18 – Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil® submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa utilizando-se diferentes dosagens do hidrogel.	118
Figura 19 – A - Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹); B - pH (em H ₂ O) em substrato comercial Carolina Soil® em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	119
Figura 20 – A - Condutividade elétrica; B - TTSS e C - pH em areia lavada em função da dose do hidrogel a base de poliácridamida.	120
Figura 21 – Altura (cm) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.	121
Figura 22 – Diâmetro de coleto – DC (mm) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.	122
Figura 23 – Massa seca da parte aérea (g) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.	124

Figura 24 – Massa seca radicular (g) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.	125
Figura 25 – Massa seca total (g) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.	126
Figura 26 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.	127
Figura 27 – Efeitos da adição de diferentes doses de hidrogel no teor de macronutrientes de N (A), P (B) e K (C) da parte aérea (caule + folhas) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> os 90 dias em viveiro.	128
Figura 28 – Efeitos da adição de diferentes doses de hidrogel no teor de macronutrientes de Ca (A), Mg (B) e S (C) da parte aérea (caule + folhas) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> os 90 dias em viveiro.	132
Figura 29 – Efeitos da adição de diferentes doses de hidrogel no teor de micronutrientes de B (A), Cu (B) e Fe (C), Mn (D) e Zn (E) da parte aérea (caule + folhas) de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> os 90 dias em viveiro.	134
Figura 30 – Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil [®] em diferentes dosagens do hidrogel submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa.	150
Figura 31 – A - Vasos com a abertura da cova para o plantio das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> . B – Mudas após o plantio.	164
Figura 32 – Avaliação da sintomatologia do estresse hídrico em plantas de <i>Eucalyptus dunnii</i> submetidas a diferentes regimes de irrigação na presença e ausência de hidrogel. A- sem sintomas; B- sintoma leve de murcha; C- sintomas moderados; D – sintomas severos e E – planta morta.	166

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Escala de valores para interpretação de propriedades físicas e químicas de substratos usados para produção de mudas florestais.38
- Tabela 2 – Determinação das características físicas analisadas nos diversos substratos contendo diferentes dosagens do polímero hidroretentor utilizados para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.....61
- Tabela 3 – Água remanescente (AR) e capacidade de retenção de água (CRA) dos substratos submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa em diferentes composições do substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.....66
- Tabela 4 – Capacidade de retenção de água (CRA) do substrato Com+CAC (Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada) submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.....67
- Tabela 5 – Determinação das características químicas analisadas nos diversos substratos contendo diferentes dosagens do polímero hidroretentor utilizados para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.....70
- Tabela 6 – Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes substratos, 90 dias após semeadura. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.....77
- Tabela 7 – Doses utilizadas do fertilizante de liberação controlada (FLC) e a porcentagem correspondente da adubação convencional (6 g L⁻¹).89
- Tabela 8 – Análise do substrato comercial (Carolina Soil[®]) na presença e ausência de hidrogel utilizado para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.....92
- Tabela 9 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função da presença (6 g L⁻¹) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após semeadura.....101

Tabela 10 – Teores de nutrientes considerados ideais em mudas de <i>Eucalyptus grandis</i>	129
Tabela 11 – Lâminas de irrigação, frequência diária, quantidade (mm) e horários de irrigação em mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	146
Tabela 12 – Análise do substrato comercial (Carolina Soil®) na presença e ausência de hidrogel utilizado para a produção de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	148
Tabela 13 – Altura (cm) e diâmetro de coleto (mm) de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função das doses de hidrogel e diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.	152
Tabela 14 – Relação H/DC de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função de diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.....	155
Tabela 15 – Médias de massa seca da parte aérea - MSPA (g), massa seca radicular – MSR (g), massa seca total – MST (g) e Índice de Qualidade de Dickson - IQD de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função das doses de hidrogel e diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.	157
Tabela 16 – Aparecimento dos sintomas de estresse, em dias, avaliados a partir do plantio até o 44º dia após o plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> em vasos, em função da presença ou ausência de hidrogel e diferentes frequências de irrigação.....	168
Tabela 17 – Número de dias em que as plantas permaneceram vivas (PPV) avaliadas a partir do plantio até o 44º dia após o plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> em vasos, em função da presença ou ausência de hidrogel e diferentes frequências de irrigações.....	170
Tabela 18 – Produtos e valores considerados na constituição dos cálculos da viabilidade do uso do hidrogel na produção de mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	176
Tabela 19 – Custos (R\$) de produção* de 1.000 mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função da variação do substrato e da dose do polímero vegetal, sendo considerados somente os itens da Tabela 18.	178
Tabela 20 – Custos de produção de 1.000 mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função da variação da dose do polímero hidrorretentor a base de poliacrilamida, sendo considerado somente os itens da Tabela 18.	179
Tabela 21 – Custos de produção de 1.000 mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função da variação da dose do FLC na ausência ou presença do hidrogel, sendo considerado para os cálculos somente os itens da Tabela 18.	180
Tabela 22 – Custos de produção (R\$) de 1.000 mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> em função da variação da irrigação e da dose do polímero a base de poliacrilamida, sendo considerados somente os itens da Tabela 18.	182

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a interação entre os fatores substrato*hidrogel; CV(%) e média geral para os parâmetros avaliados na análise de diferentes substratos e dosagens do polímero hidrorretentor.....215
- Apêndice 2 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes substratos e quatro doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.216
- Apêndice 3 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes substratos e quatro doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.....216
- Apêndice 4 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na ausência ou presença (6 g L⁻¹) do polímero hidrorretentor, aos 90 dias após semeadura.217
- Apêndice 5 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na ausência ou presença (6 g L⁻¹) do polímero hidrorretentor, aos 90 dias após semeadura.217
- Apêndice 6 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio), CV(%) e média geral para os parâmetros avaliados na análise de substrato Carolina Soil® e diferentes dosagens de hidrogel.....218
- Apêndice 7 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em cinco diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.218
- Apêndice 8 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em cinco diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.219
- Apêndice 9 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para duração dos sintomas de estresse hídrico nas plantas em vasos de *Eucalyptus dunnii*, em função da presença ou ausência de hidrogel e diferentes frequências de irrigação.219

Apêndice 10 –Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio), CV(%) e média geral para os parâmetros avaliados na análise de substrato Carolina Soil® e três diferentes dosagens de hidrogel (0; 3,00 e 6,00 g L ⁻¹).	220
Apêndice 11 –Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> sob diferentes doses do polímero hidroretentor e lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.....	221
Apêndice 12 –Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> sob diferentes doses do polímero hidroretentor e lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.....	221
Apêndice 13 –A - Preparo do substrato com mistura do polímero; B - polímero misturado ao substrato (início da hidratação); C - preenchimento em aproximadamente 80% da capacidade dos tubetes; D - mudas de <i>Eucalyptus dunnii</i> com transbordamento de substrato hidratado (tratamento com 6 g L ⁻¹); E – área de instalação do experimento do cap. IV – diferentes lâminas de irrigação. .	222

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	27
2 REVISÃO GERAL.....	31
2.1 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden (Myrtaceae)	31
2.2 Parâmetros de qualidade na produção de mudas de eucalipto.....	33
2.2.1 Parâmetros que determinam a qualidade de mudas de espécies arbóreas	34
2.3 Principais fatores que afetam a produção de mudas.....	36
2.3.1 Manejo da irrigação	36
2.3.2 Substrato	37
2.3.2.1 Propriedades Físicas	39
2.3.2.1.1 Capacidade de retenção de água	39
2.3.2.1.2 Densidade aparente.....	40
2.3.2.1.3 Porosidade	41
2.3.2.2 Propriedades Químicas	43
2.3.2.2.1 pH	43
2.3.2.2.2 Condutividade elétrica e salinidade.....	44
2.3.2.3 Tipos de substratos	45
2.3.2.3.1 Vermiculita	45
2.3.2.3.2 Casca de arroz carbonizada	46
2.3.3 Nutrição de mudas	48
2.4 Polímeros hidroretentores.....	50
3 CAPÍTULO I	53
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden INFLUENCIADO PELO USO DO POLÍMERO NATURAL E SUBSTRATOS DE CULTIVO	53
3.1 Resumo	53
3.2 Abstract.....	54
3.3 Introdução.....	54
3.4 Material e métodos	57
3.4.1 Análise do substrato e hidrogel	57
3.4.2 Crescimento inicial de mudas.....	58
3.4.3 Procedimentos estatísticos.....	60
3.5 Resultados e discussão	61
3.5.1 Análise dos substratos	61
3.5.2 Desenvolvimento inicial de <i>Eucalyptus dunnii</i>	72
3.6 Conclusões.....	81

4 CAPÍTULO II	83
INFLUÊNCIA DO HIDROGEL E DA ADUBAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	83
4.1 Resumo.....	83
4.2 Abstract	84
4.3 Introdução	85
4.4 Material e métodos.....	87
4.4.1 Análise do substrato e hidrogel.....	87
4.4.2 Crescimento inicial de mudas	88
4.4.3 Procedimentos estatísticos	91
4.5 Resultados e discussão	92
4.5.1 Análise de substrato e hidrogel	92
4.5.2 Crescimento inicial das mudas.....	95
4.6 Conclusões	103
5 CAPÍTULO III.....	105
DOSES DE HIDROGEL INFLUENCIANDO AS CARACTERÍSTICAS DO SUBSTRATO, CRESCIMENTO E TEOR NUTRICIONAL EM MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	105
5.1 Resumo.....	105
5.2 Abstract	106
5.3 Introdução	106
5.4 Material e métodos.....	108
5.4.1 Análise do substrato e hidrogel.....	108
5.4.2 Produção e crescimento das mudas.....	109
5.4.3 Análise nutricional da parte aérea das mudas	112
5.4.4 Procedimentos estatísticos	113
5.5 Resultados e discussão	113
5.5.1 Análise do substrato e hidrogel.....	113
5.5.2 Produção e crescimento das mudas.....	121
5.5.3 Análise nutricional da parte aérea das mudas	128
5.6 Conclusões	138
6 CAPÍTULO IV	139
USO DO HIDROGEL NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO.....	139
6.1 Resumo.....	139
6.2 Abstract	140
6.3 Introdução	140
6.4 Material e métodos.....	142

6.4.1	Análise do substrato e hidrogel	142
6.4.2	Produção e crescimento das mudas	143
6.4.3	Procedimentos estatísticos.....	147
6.5	Resultados e discussão	147
6.5.1	Análise de substrato e hidrogel.....	147
6.5.2	Crescimento inicial das mudas	151
6.6	Conclusões.....	158
7	CAPÍTULO V	159
	IFLUÊNCIA DO HIDROGEL NA SOBREVIVÊNCIA DE MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS	159
7.1	Resumo	159
7.2	Abstract.....	160
7.3	Introdução.....	160
7.4	Material e métodos	162
7.4.1	Produção das mudas	162
7.4.2	Transferência para vasos	163
7.5	Resultados e discussão	165
7.6	Conclusões.....	172
8	CAPÍTULO VI.....	173
	AVALIAÇÃO ECONOMICA DA UTILIZAÇÃO DO HIDROGEL NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	173
8.1	Resumo	173
8.2	Abstract.....	174
8.3	Introdução.....	174
8.4	Material e métodos	175
8.5	Resultados e discussão	177
8.5.1	Cenário I – referente ao capítulo II.....	177
8.5.2	Cenário II – referente ao capítulo III.....	178
8.5.3	Cenário III – referente ao capítulo IV	179
8.5.4	Cenário IV – referente ao capítulo V.....	181
8.5.5	Cenário V – referente ao melhor desempenho das mudas.....	182
8.6	Conclusões.....	183
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	185
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
	APÊNDICES	213

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os plantios comerciais com espécies do gênero *Eucalyptus* ocupam uma área de 5.102.030 hectares, representando a maior parcela de espécies florestais plantadas no Brasil, com 74,8% da área total no país, sendo que 5,58% deste total localizam-se no estado do Rio Grande do Sul. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, a produção de eucalipto é destinada, principalmente, para o abastecimento das indústrias de papel e celulose (ABRAF, 2012).

O plantio de árvores com objetivo de produção de madeira aliado à preservação ambiental surge como alternativa para minimizar questões econômicas e ambientais em algumas regiões. Entre as culturas mais utilizadas no Brasil está o eucalipto, entretanto, há poucas espécies deste gênero tolerantes a geadas, limitando a expansão de seu cultivo na região sul do Brasil. *Eucalyptus dunnii* Maiden se apresenta como alternativa potencial para o empreendedor florestal nesse caso, em função de exibir tolerância a esse tipo de estresse abiótico e apresentar crescimento rápido e excelente forma, além de possuir boas qualidades tecnológicas da madeira, principalmente para a produção de papel e celulose, apresentando desempenho similar ao *Eucalyptus viminalis*, amplamente testado em locais de ocorrência de geada (LEITE et al., 1973).

Outra característica que destaca a espécie é seu reduzido potencial invasivo, decorrente da escassa produção de sementes, o que dificulta sua propagação aleatória (BILLARD; LALLANA, 2005). Por outro lado, essa reduzida produção de sementes dificulta, em muito, a produção de mudas pela via sexual.

O êxito na formação de florestas de alta produção depende, em grande parte, da qualidade das mudas plantadas, que além de terem que sobreviver às condições adversas encontradas no campo após o plantio, devem produzir árvores com crescimento volumétrico economicamente desejável (GOMES et al., 1991).

Para que um programa de reflorestamento obtenha êxito, é notória a necessidade de produzir mudas de qualidade superior, uma vez que a maior resistência às condições adversas do meio e o maior tempo gasto para sua completa formação, são fatores decisivos no seu sucesso (CRUZ et al., 2004). Além disso, a sobrevivência, o estabelecimento, a frequência dos tratos culturais e o crescimento inicial das florestas, são avaliações necessárias e imprescindíveis para o êxito de qualquer empreendimento florestal e isso está diretamente

relacionado com o padrão de qualidade de mudas que são levadas para o plantio definitivo (GOMES; PAIVA, 2004).

Atualmente, as tecnologias evoluíram muito e o Brasil se tornou referência mundial em eucalipto. De produção de mudas em sementeiras e canteiros cultivados em solo às modernas estruturas suspensas, das embalagens de saco plástico e torrão paulista (usando solo como substrato) aos tubetes e *ellepots* (usando como substrato produtos elaborados), há contínua busca por novas técnicas e tecnologias, dada a importância econômica da cultura.

Dentre as novas tecnologias geradas e investigadas, podem-se citar, por exemplo, os estudos envolvendo o plantio com polímeros sintéticos, com o objetivo de reduzir as irrigações (SAAD et al., 2009).

A irrigação é um fator de grande importância no processo de produção das mudas. Uma irrigação mal conduzida pode afetar o processo produtivo, levando o excesso de água a aumentar significativamente os problemas com doenças, e a falta de água pode levar as mudas à morte. Desta forma, deve haver um manejo de irrigação adequado para se produzir mudas de qualidade sem desperdício de água.

A partir disso, a utilização de hidrogéis ou polímeros hidroretentores surge como uma alternativa para se obter uma maior eficiência no uso da água, na produção de mudas em viveiros. Os hidroretentores são substâncias orgânicas ou sintéticas capazes de absorver e armazenar significativa quantidade de água em relação ao seu peso. Podem ser naturais (derivados do amido) ou sintéticos (derivados do petróleo). Quando secos, apresentam-se na forma de pequenos grânulos (VERVLOET FILHO, 2011).

Como a maioria das tecnologias, o uso de hidroretentores, quando mal executado, pode prejudicar o desenvolvimento das plantas. Por isso, o seu uso em viveiro está principalmente relacionado a pesquisas, pois é necessário que se determine: a dose a ser utilizada, as relações do hidrogel com a perda de nutrientes e a perda de água, as quais influenciam na qualidade das mudas.

O uso de hidroretentor poderia contribuir para a maior retenção da água e diminuição da irrigação, o que poderia favorecer a produção de mudas tanto em quantidade quanto em qualidade, visto que as condições hídricas e nutricionais seriam mais constantes ao longo do processo de produção.

Neste contexto, visando identificar a influência do uso do hidrogel na produção e desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii*, o trabalho está dividido em seis capítulos, os quais estão organizados de acordo com objetivos específicos, em que:

- no capítulo I, objetivou-se testar doses do polímero hidroretentor a base de amido de milho, combinado com diferentes substratos visando à maximização da produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden aliado a análise física e química das misturas.
- no capítulo II, avaliar as propriedades físicas e químicas do substrato na presença ou ausência de polímero hidroretentor e a relação do hidrogel com doses de adubação no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.
- no capítulo III, avaliar diferentes dosagens do hidroretentor nas características físicas e químicas do substrato e a influência do polímero adicionado ao substrato de plantio no crescimento, produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*.
- no capítulo IV, buscou-se avaliar o efeito do hidroretentor, adicionado ao substrato de plantio, em diferentes lâminas de irrigação por aspersão, sobre o crescimento, produção e qualidade de mudas *Eucalyptus dunnii*.
- no capítulo V, objetivou-se avaliar o efeito do uso do hidrogel no plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* em vasos, relacionando com frequências de irrigações.
- no capítulo VI, efetuou-se os cálculos dos custos de produção das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso do hidrogel, sendo utilizados cenários conforme a utilização dos materiais.

2 REVISÃO GERAL

2.1 *Eucalyptus dunnii* Maiden (Myrtaceae)

Eucalyptus dunnii apresenta distribuição natural limitada à região de Coffs Harbour, nordeste de New South Wales e sul de Queensland, na Austrália. A amplitude longitudinal da sua distribuição está aproximadamente entre 25° e 30°15' S. Devido à restrita área de ocorrência natural é classificada como uma espécie rara, porém cada vez mais importante em plantios comerciais (THINLEY et al., 2005).

Na área de ocorrência natural, a precipitação média anual varia de 845 mm a 1.950 mm, com regime de chuvas no verão e um período de dois meses de estação seca. A temperatura média anual oscila de 14 °C a 18 °C, a temperatura máxima do mês mais quente de 24 °C a 29 °C, e a temperatura mínima do mês mais frio de -1 °C a 7 °C. A temperatura mínima absoluta nessa região varia de -5 °C a 10 °C (JOVANOVIC et al., 2000).

Eucalyptus dunnii apresenta bom comportamento em áreas mais frias (JOVANOVIC; BOOTH, 2002), sendo indicado o seu plantio em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -5 °C, sob condições de aclimação prévia por gradual redução de temperatura na estação fria, suportando até 22 geadas anuais (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (1979), *Eucalyptus dunnii* é recomendada para o plantio comercial no planalto brasileiro, desde São Paulo até o Rio Grande do Sul. Essa região apresenta clima caracterizado como submontano úmido, altitudes entre 500 e 1.300 m, temperaturas médias anuais entre 12 e 18 °C, precipitação média anual entre 1.250 e 2.500 mm, uniformemente distribuídas, sem períodos secos, com geadas frequentes e temperatura mínima absoluta de até -9 °C.

Fishwick (1976) enquadrou *Eucalyptus dunnii* dentre as cinco espécies de eucalipto que apresentaram melhor combinação de resistência a geadas e qualidade de matéria prima. A espécie tem se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência a geadas não muito severas, quando plantadas no sul do Brasil (HIGA, 1998). Segundo Paludzyszyn Filho e Santos (2005), *Eucalyptus dunnii* ocupa o primeiro lugar

em crescimento volumétrico, entre os eucaliptos plantados em área de clima temperado, atingindo produtividades da ordem de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Conforme Embrapa (1988), *Eucalyptus dunnii* comportou-se como suscetível a geadas tardias nas proximidades de Lages, SC, onde plantios com um ano de idade sofreram danos graves causados por geadas. Segundo o mesmo trabalho, a espécie é indicada para plantios comerciais no estado de Santa Catarina, em locais abaixo de 1.000 m de altitude, desde que se tomem cuidados especiais em relação às geadas. Sem dúvida sua maior importância é para altitudes acima de 700 m, onde o inverno é fator limitante a outras espécies do mesmo gênero.

Alguns testes nos Estados Unidos demonstraram que *Eucalyptus dunnii* é, dentro do gênero *Eucalyptus*, uma das espécies mais resistentes ao frio (FAO, 1979). Nas regiões baixas e frias do centro-sul da China, Arnold et al. (2004) testaram diversas espécies de eucaliptos, incluindo *Eucalyptus dunnii*. Este, por sua vez, apresentou boa adaptação, crescimento, forma e resistência ao frio, entrando na lista das espécies de maior potencial.

A madeira de *Eucalyptus dunnii* é indicada para lenha, carvão, celulose, moirões, postes e madeira serrada. A sua densidade básica, aos oito anos de idade, foi estimada em $0,48 \text{ g cm}^{-3}$. Possui excelentes características para a produção de celulose devido à composição da madeira, apresentando, na análise da composição química 7,96% de extrativos totais, 7,07% de holocelulose e 21,34% de lignina, proporcionando, assim, melhor deslignificação de sua madeira, o que torna o processo de fabricação de celulose mais eficiente e econômico (HIGA, 1998). *Eucalyptus dunnii* apresenta valores maiores de densidade básica e rendimento depurado e menor porcentagem de lignina que *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, o que comprova a utilidade da madeira para celulose e demais usos (GONZAGA, 1983).

Quase que a totalidade das mudas em escala comercial é formada a partir de sementes, devido às dificuldades da espécie em se trabalhar com propagação vegetativa. Segundo Paludzyszyn Filho et al. (2006), algumas espécies de *Eucalyptus*, como no caso o *Eucalyptus dunnii*, apresentam dificuldades para a propagação vegetativa devido ao baixo índice de enraizamento. Além disso, a maioria das espécies resistentes ao frio apresentam recalcitrância ao enraizamento (ASSIS; MAFIA, 2007), fato esse que pode dificultar ainda mais a clonagem.

2.2 Parâmetros de qualidade na produção de mudas de eucalipto

A qualidade das plantas é resultante de diversas características fisiológicas e morfológicas que controlam as possibilidades de crescimento. O manejo inadequado das mudas em viveiro (sombreamento, irrigações em excesso, adubações inadequadas, competição com ervas daninhas, etc.) e as influências genéticas podem afetar significativamente a qualidade das plantas (RUBIRA; BUENO, 1996).

A capacidade de produção de um viveiro está relacionada diretamente com a qualidade dos insumos usados (sementes, substratos, fertilizantes, água, recipientes e estrutura de suporte das plantas), com a localização geográfica (chuva, vento, granizo e geada) e com as técnicas de produção e manejo adotadas (sombreamento, espaçamento entre plantas, frequência de irrigação e lâmina de água aplicada, fertirrigação e tratos culturais). O produtor não pode aumentar o crescimento das plantas mais do que a capacidade que o sítio comporta, sem que a qualidade seja afetada (LOPES, 2004).

Segundo Silva (2003), o conceito de qualidade não é absoluto e fatores como a espécie e/ou o lugar do plantio das mudas influenciam fortemente esta definição. Além disso, uma muda de boa qualidade para uma determinada região pode não ser apropriada para outra, assim como uma conífera não pode ter o mesmo critério de qualidade que uma folhosa, pois cada espécie possui especificidades fisiológicas e morfológicas.

As características nas quais as empresas florestais se fundamentam para classificação da qualidade das mudas de eucalipto, baseadas na avaliação das plantas pertencentes à unidade amostral, são: altura média (entre 15 e 30 cm), diâmetro do coleto (mínimo de 2 mm), sistema radicular (desenvolvimento, formação e agregação), rigidez da haste (amadurecimento das plantas), número de pares de folhas (mínimo de três), aspecto nutricional (sintomas de deficiência) e resistência a pragas e doenças (sanidade) (GOMES et al., 1996). Wendling e Dutra (2010) consideram que as mudas de *Eucalyptus* com no mínimo 15 cm de altura e diâmetro de coleto 2 mm são adequadas para o plantio.

Quanto aos recipientes para a produção de mudas, os tubetes são os mais utilizados, principalmente, por permitir a melhor qualidade devido ao melhor controle da nutrição e a 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. Devido à maior proteção das raízes o período de plantio poderá ser prolongado, uma vez que essas não se

danificam durante o ato de plantar, promovendo maiores índices de sobrevivência e de crescimento (SANTOS et al., 2000).

O tipo de recipiente e suas dimensões exercem influências sobre a qualidade e os custos de produção de mudas de espécies florestais (CARNEIRO, 1987). Os volumes dos recipientes influenciam a disponibilidade de nutrientes e água (BÖHM, 1979), devendo ser ressaltado que o maior volume promove a melhor arquitetura do sistema radicular, apesar de grandes dimensões acarretarem maiores custos de produção, de transporte, de distribuição e de plantio (GONZALEZ, 1988; GOMES et al., 1990).

Os recipientes pequenos (55 cm^3), tipo tubetes de plástico rígido, são os mais utilizados atualmente pelos viveiros de produção de mudas de *Eucalyptus*. Entretanto, os mesmos podem restringir o crescimento do sistema radicular de mudas de eucaliptos de diferentes espécies (REIS et al., 1989). Tubetes com volume superior podem proporcionar mudas com melhor qualidade e sistema radicular melhor formado. Gomes et al. (2003) pesquisando os tamanhos de tubetes mais adequados para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, em função do tempo de permanência em viveiro, concluíram que o tubete de 110 cm^3 de volume deve ser considerado para mudas com 90 dias de idade, proporcionando bons parâmetros morfológicos das mudas.

2.2.1 Parâmetros que determinam a qualidade de mudas de espécies arbóreas

A qualidade de mudas pode ser definida como os atributos necessários para que ocorra maior sobrevivência e bom desenvolvimento após o plantio no campo. A obtenção de mudas de qualidade antes do plantio definitivo é importante para o silvicultor e isto pode ser alcançado de forma rápida e fácil por meio da observação dos parâmetros morfológicos (FONSECA et al., 2002).

Chaves e Paiva (2004) descreveram que os parâmetros mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas de espécie arbóreas são a altura da planta (H), o diâmetro do coleto (DC), a massa seca total (MST), a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR). Destacaram as razões H/DC, H/MSP, MSPA/MSR e o índice de qualidade de Dickson (IQD), como complementares.

Para Carneiro (1995) os parâmetros que determinam qualidade de mudas de espécies arbóreas podem ser de natureza fenotípica (parâmetros morfológicos) e de natureza interna

(parâmetros fisiológicos). O autor afirmou que a alta qualidade parece aumentar a sobrevivência, por assegurar que a absorção de água pelas mudas iguale ou exceda as perdas e concluiu que se deve considerar como parâmetro de qualidade de mudas a MST, a MSPA, a MSR e a razão MSR/MSPA.

As características morfológicas são consideradas as mais importantes na avaliação da qualidade de mudas, especialmente em programas de reflorestamento. Esses parâmetros são facilmente mensuráveis e muito dizem sobre a funcionalidade e vigor das mudas (ARAÚJO, 2009).

Os parâmetros morfológicos, no entanto, não devem ser utilizados isoladamente na qualificação de mudas, evitando-se, por exemplo, selecionar mudas mais altas, porém mais fracas por terem menor diâmetro do coleto. Os autores afirmam que as mudas menores podem apresentar maior vigor se tiverem caules mais espessos, pois além de serem mais resistentes à dessecação sofrem menos tombamentos (FONSECA et al., 2002). Por outro lado, segundo Rose et al. (1990), normalmente maior altura da planta implica em maior área foliar disponível para a fotossíntese e transpiração, e maior biomassa se em adequadas condições ambientais.

O porte ideal para o plantio depende das condições de umidade do solo, da vegetação competidora e da presença de animais predadores. Mudanças de menor altura e maior diâmetro são preferíveis para sítios áridos, enquanto mudas mais altas são mais adequadas para os locais onde há alto nível de matocompetição ou predação por animais (MEXAL; LANDIS, 1990).

Altura das mudas determina a capacidade de fotossíntese e a área de transpiração, e é altamente correlacionada com número de folhas. Este parâmetro representa bem o crescimento, mas tem uma relação imprevisível com a sobrevivência, especialmente em locais mais secos. Desta forma, normalmente não pode ser relacionada com a sobrevivência a campo (DURVEA, 1985).

O diâmetro está relacionado com o vigor das plantas, pois a média do diâmetro de uma população, em qualquer tempo, pode ser correlacionada com a média do tamanho do sistema radicular. Caules com maior diâmetro tendem a ter mais brotação, favorecendo o estabelecimento e sobrevivência das plantas a campo (ROSE et al., 1990).

Apesar dos vários caracteres morfológicos, fisiológicos e de performance serem estudados, poucos são utilizados operacionalmente, dificultando relacionar quais características obtidas no viveiro confirmam determinada situação ou desempenho no plantio (MEXAL; LANDIS, 1990). Diversos estudos têm apontado que o diâmetro do coleto é a

variável que melhor prediz o desempenho no pós-plantio, indicando a qualidade das mudas, porém ocorrem variações para cada espécie e condições de plantio (RITCHIE et al., 2010).

Gomes et al. (2002) relatam que apesar do êxito das plantações florestais dependerem, em grande parte, das mudas utilizadas, a escolha dos parâmetros que avaliam a sua qualidade ainda não está totalmente definida e, quase sempre, a sua mensuração abrange somente quesitos como altura e diâmetro de coleto.

2.3 Principais fatores que afetam a produção de mudas

2.3.1 Manejo da irrigação

A água é, provavelmente, o fator ambiental mais limitante ao estabelecimento e desenvolvimento das mudas, pois o estado energético da planta é o resultado da interação entre a demanda evaporativa atmosférica, o potencial de água do solo, a densidade e a distribuição do sistema radicular e processos fisiológicos (FERREIRA, 1997).

A água utilizada na irrigação de plantas pode ser definida como a relação entre a quantidade de água que a cultura necessita e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade (LIMA et al., 2004). O conceito prevalecente é de que quanto mais água for aplicada, melhor para a planta, mas de acordo com inúmeros trabalhos da área de irrigação, quando a quantidade de água é aplicada em excesso, ocorre decréscimo na produtividade (SALOMÃO; BASÍLIO, 2006).

Wendling e Gatto (2002) consideraram que as irrigações de maior intensidade são mais eficazes, ao passo que as irrigações frequentes e de baixa intensidade molham apenas a camada superficial do substrato.

Para alcançar todos os objetivos da prática de irrigação, que englobam maximização da produção, racionalização do uso da mão de obra, energia, água e fertilizante, e aplicação correta da água, é imprescindível adotar um correto manejo da irrigação (MIRANDA; PIRES, 2003).

A uniformidade de distribuição de água de irrigação é um dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação de funcionamento do sistema, sendo, inclusive, um dos componentes para determinação do nível de eficiência no qual o sistema trabalha e pelo qual a

lâmina aplicada deverá ser corrigida para fornecer água de modo a permitir o pleno desenvolvimento da cultura. (MANTOVANI et al., 2007).

No caso de substrato, o excesso de umidade favorece o surgimento de doenças e lixiviação de nutrientes. Dificulta, inclusive, a absorção de nutrientes pelas raízes em função de condições desfavoráveis de oxigenação (ANDRIOLO, 2004).

A disponibilidade de água é um fator de relevância na maximização de ganhos de produtividade agrícola, desempenhando um papel fundamental na vida da planta, participando de uma série de reações bioquímicas e processos de movimento de água entre solo – planta – atmosfera, através da difusão, fluxo em massa e osmose. Em geral, os sais, os açúcares e outros solutos, se movimentam entre as células e órgãos, além de regularem a abertura e fechamento dos estômatos (FERRAZ, 1983).

A qualidade fisiológica das mudas apresenta grande relação nos efeitos de ordem morfológica. A quantificação da necessidade hídrica na sua formação é extremamente importante, pois a falta ou excesso pode limitar o desenvolvimento dessas mudas (NOVAES et al., 2002). Considerando que a falta de água leva ao estresse hídrico, (desejável somente na rustificação) e indiretamente à diminuição da absorção de nutrientes (SILVA et al., 2005).

Na definição da intensidade de irrigação, o substrato é insumo decisivo, pois a capacidade de retenção de água esta associada aos componentes utilizados na sua formulação, porosidade, densidade, entre outros aspectos (FERMINO, 2002).

2.3.2 Substrato

Segundo Wendling et al. (2006), a principal função do substrato é sustentar a muda e fornecer condições adequadas para o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicular, assim como fornecer os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta. Este substrato deve ser isento de sementes de plantas invasoras, pragas e patógenos.

A necessidade de produção de grande quantidade de mudas em um curto espaço de tempo, para atender aos plantios comerciais, tem favorecido a evolução rápida de diferentes técnicas de preparo. O substrato usado para produção de mudas tem por finalidade garantir o desenvolvimento da planta com boa qualidade, em curto período de tempo e baixo custo (CUNHA et al., 2006).

O uso acentuado de substratos artificiais, geralmente com baixo teor de nutrientes, porém adequados em suas características físicas e estruturais, faz com que a adição de fertilizantes seja a principal fonte de nutrientes disponível para a planta, durante o cultivo (OLIET et al., 1999). Desta forma, recomenda-se a adição de nutrientes no substrato, quando o mesmo for de baixa fertilidade, para promover o suprimento dos elementos necessários, economizando-se tempo no processo de produção das mudas. Sua formulação e dose são variáveis em função do tipo de substrato utilizado e da espécie a ser produzida, sendo recomendada a realização de uma análise química do substrato, e caso haja necessidade de se elevar o nível de fertilidade, pode-se consultar as tabelas de recomendação de adubação (WENDLING et al., 2006).

Gonçalves e Poggiani (1996) indicam valores adequados para algumas características físicas e químicas de substratos para o crescimento de mudas de espécies florestais (Tabela 1).

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

Propriedades	Nível			
	Baixo	Médio	Alto	Adequado
Físicas				
Densidade global (g cm^{-3})	<0,25	0,25-0,50	>50	0,45-0,55
Porosidade total (%)	<55	55-75	>75	75-85
macroporosidade (%)	<20	20-40	>40	35-45
microporosidade (%)	<25	<25-50	>50	45-55
Capacidade máx. de retenção de água ($\text{mL } 50 \text{ cm}^{-3}$)	<15	15-25	>25	20-30
Químicas				
Relação C total / N total	8 a 12/1	12 a 18/1	>18/1	8 a 12/1
pH em CaCl_2 0,01 M	<5,0	5,0-6,0	>6,0	5,5-6,5
P resina (mg dm^{-3})	<200	200-400	>400	400-800
K trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	<15	15-30	>30	30-100
Ca trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	<100	100-150	>150	100-200
Mg trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	<50	50-100	>100	50-100
C.T.C. efetiva ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	<100	100-200	>200	>200

Fonte: Gonçalves e Poggiani (1996).

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

condições de cada local de produção e devidamente ajustada, caso haja necessidade (WENDLING et al., 2006).

A boa formação de mudas destinadas à implantação de povoamentos florestais para a produção de madeira e de povoamentos mistos para fins de preservação ambiental e/ou, recuperação de áreas degradadas está relacionada com o nível de eficiência dos substratos (GONÇALVES; POGGIANI, 1996). A superioridade das plantas conduzidas em diferentes substratos dependerá das propriedades do substrato, como por exemplo, sanidade, volume relativamente constante quando seco e úmido, capacidade de retenção de água, densidade, porosidade, drenagem, aeração e salinidade baixa (HARTMANN; KESTER, 1975).

2.3.2.1 Propriedades Físicas

2.3.2.1.1 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água de um substrato divide-se entre água facilmente disponível (volume de água liberado entre tensões negativas de 10 a 50hPa), água tamponante (volume de água liberado entre tensões negativas de 50 a 100hPa) e água remanescente (volume de água que permanece no substrato depois de aplicada a tensão negativa de 100hPa) (DE BOODT; VERDONCK, 1972). Avaliações da tensão da água durante cultivos em recipientes sugerem, no entanto, que esses valores são apenas referenciais. Conforme a espécie, o substrato e a situação de cultivo, os limites são variáveis (GRUSZYNSKI, 2002).

A curva de retenção, ou disponibilidade de água de um meio é o resultado da relação entre a umidade volumétrica e a tensão de umidade do meio, fornecendo informações sobre a habilidade para reter e liberar água e do volume de água disponível às plantas sob baixas tensões. A sua determinação é importante na medida em que informa o volume de água disponível às plantas dentro de cada faixa de tensão em uma determinada amostra (SPIER et al., 2008).

Conforme De Boodt e Verdonck (1972), o volume de água retido no substrato na tensão 0 hPa (totalmente saturado) define a porosidade total (PT) do substrato e na tensão 10 hPa determina o volume de ar presente no substrato após cessar a livre drenagem. Assim, a

diferença entre a PT do substrato e o volume de água retido a 10 hPa corresponde ao espaço de aeração (EA) do substrato.

O volume de água retido no substrato na faixa de tensão entre 10 e 100 hPa representa a água disponível (AD) às plantas. Entretanto, dentro dessa faixa de tensão encontram-se diferentes forças de retenção de água. Assim, após observar que tensões acima de 50 hPa afetavam desfavoravelmente o crescimento das plantas, definiu-se esse valor para separar o volume de água facilmente disponível (AFD) para as plantas e o volume de água tamponante (AT) do substrato. Portanto, AFD é o volume de água retido entre a tensão de 10 e 50 hPa e AT, entre a tensão de 50 e 100 hPa (DE BOODT; VERDONCK, 1972).

A água tamponante é considerada o volume de água retido no substrato que é utilizado quando, eventualmente, ocorre alguma situação de estresse hídrico no qual a tensão matricial do substrato atinge valores superiores a 50 hPa. O volume de água retido no substrato após se aplicar a tensão de 100 hPa corresponde ao volume de água não disponível para a planta, denominado água remanescente (AR) do substrato (DE BOODT; VERDONCK, 1972).

Após a irrigação, à medida que o substrato vai secando, o espaço ocupado pelo ar (macroporos) vai aumentando, enquanto diminui o espaço ocupado pela água facilmente disponível. O sinal para a próxima irrigação é alcançado quando se atinge o valor da água tamponante. Esta água, embora possa ser utilizada pelas plantas, em caso de estresse hídrico, exige um grande gasto de energia (FERMINO, 2002).

Independente do tamanho do recipiente, a altura saturada é a mesma, assim o conteúdo relativo de água em um recipiente menor é maior que em um recipiente maior. Quanto maior a altura do recipiente maior será o fluxo de água, para o mesmo substrato, isto porque a base do recipiente atua como uma barreira, onde a água se encontra à pressão atmosférica igual a zero (FERMINO, 2002). Desta forma, a reduzida altura dos recipientes pode causar o encharcamento dos substratos, devido ao aumento de retenção de água.

2.3.2.1.2 Densidade aparente

A densidade aparente é a massa do substrato por unidade de volume ocupada pelo mesmo (CARNEIRO, 1995). O valor da densidade é importante para interpretar outras características, como porosidade, espaço de aeração, disponibilidade de água, além de salinidade e teor de nutrientes (FERMINO, 2003). Indica também o peso do substrato, fator

considerado importante para o transporte, manipulação dentro do viveiro e ainda na estabilidade das plantas. Lembrando que substratos muito leves não apresentam um bom suporte para as plantas, assim como substratos muito densos podem prejudicar o crescimento radicular das mudas, através da impedância mecânica (MARTÍNEZ, 2002).

Da mesma forma, Kämpf (2005) comenta que a densidade é um importante fator a ser considerado, pois permite interpretar algumas propriedades físicas do substrato. Por exemplo, quanto mais alta a densidade de um substrato, mais difícil o seu uso em recipiente, quer pela limitação ao crescimento das plantas, quer pela dificuldade no transporte. Segundo a autora, a densidade do substrato deve ser diretamente proporcional à altura do recipiente de cultivo. Além disso, dentre os componentes do substrato não deve ser utilizado solo, a menos que os recipientes apresentem alturas iguais ou superiores a 20 cm, ainda assim, para essa altura, a proporção de solo não deve ser superior a 10% do volume total.

A densidade do substrato dentro do recipiente vai depender da pressão aplicada no momento do preenchimento, do peso das partículas ao caírem uma sobre as outras, da umidade presente nas partículas ou o efeito da irrigação (FERMINO, 2003). Para Carneiro (1995), a água da chuva também pode aumentar a densidade, devido à compactação, assim como em viveiros de raiz nua, onde máquinas e equipamentos promovem a compactação (CARNEIRO, 1995). Segundo o mesmo autor, a constituição dos materiais presentes afetam na densidade do substrato, sendo que altos níveis de matéria orgânica diminuem a densidade quando comparados a materiais minerais. Além da origem dos componentes utilizados para a formulação do substrato, a sua proporção também influencia na densidade, onde a combinação de diferentes proporções de materiais com diferentes densidades podem aumentar ou diminuir a densidade do substrato formulado.

2.3.2.1.3 Porosidade

Porosidade de um substrato são os espaços ocupados por água, ar e raízes e sua quantidade é determinada pelo arranjo das partículas sólidas (CARNEIRO, 1995). É determinada pelo grau de agregação e estruturação das partículas que compõem o substrato, os microporos que retém água e os macroporos que retém ar (WENDLING; DUTRA, 2010).

A porosidade é de fundamental importância para o crescimento das plantas, visto que a grande concentração de raízes formadas nos recipientes exigem elevado fornecimento de

oxigênio e rápida remoção do gás carbônico formado, desta forma o substrato deve ser suficientemente poroso, a fim de permitir trocas gasosas eficientes, evitando falta de ar para a respiração das raízes e para a atividade dos microrganismos no meio (KÄMPF, 2005).

Os substratos, em geral, têm maior porosidade quando comparados com o solo, pois a maioria dos materiais utilizados tem partículas com poros internos, além daqueles externos, possuindo também maior percentual de poros com maior dimensão. Os poros internos presentes em alguns substratos podem estar fechados, sem contato com o meio externo, não interferindo, portanto na porosidade, ou então estar abertos, como ocorre nos materiais orgânicos, formando uma rede de canais com o meio externo (FERMINO, 2002).

A combinação de partículas de tamanhos diferentes pode levar a uma redução da porosidade em comparação com os valores apresentados pelo conjunto formado só com as partículas de mesmo tamanho. Isto se explica pelo efeito cimentante quando as partículas menores alojam-se entre os espaços livres formados pelo arranjo das partículas maiores (FERMINO, 2002).

Os poros podem ser classificados em macroporos e microporos. Quando o substrato encontra-se saturado por água, os macroporos estão preenchidos por ar e o seu volume é definido como espaço de aeração, enquanto que os microporos estão preenchidos por água e este volume representa a capacidade de retenção hídrica de um substrato (KÄMPF, 2005).

A porosidade deve apresentar um bom equilíbrio entre os microporos que retém água, e os macroporos que retém ar. Segundo Gonçalves e Poggiani (1996), o substrato deve apresentar boa homogeneidade no tamanho das partículas e poucas partículas inertes, principalmente as grandes, as quais tornam o meio muito poroso, diminuindo a capacidade de agregação e retenção de água e nutrientes, principalmente, para o uso em recipientes com pequeno volume.

O tamanho das partículas tem influência determinante sobre o volume de água e ar do substrato. Altas proporções de partículas maiores tornam o meio com alto espaço de aeração, enquanto partículas menores fecham os poros, aumentando a capacidade de retenção de água e diminuindo o espaço de aeração (FERMINO, 2003). Segundo o mesmo autor a compactação leva a uma diminuição da porosidade total, na medida em que as partículas ficam muito mais próximas umas das outras, aumentando a proporção de microporos, conseqüentemente, diminuindo o espaço de aeração e aumentando a retenção de água do substrato.

O conhecimento das relações entre ar e água permite determinar o melhor manejo da água para atender à demanda das espécies, em suas diversas fases de cultivo. É importante

decidir pelo manejo de produção mais adequado para manter durante o cultivo as características determinadas inicialmente (FERMINO, 2002).

2.3.2.2 Propriedades Químicas

2.3.2.2.1 pH

O pH indica a acidez ou a alcalinidade relativa da solução aquosa diluída no substrato. A importância do seu conhecimento está no fato deste se relacionar diretamente à disponibilidade de nutrientes, bem como, nas propriedades fisiológicas das plantas (KÄMPF, 2005).

Muitas reações físicas, químicas e biológicas do substrato e, por consequência, o desenvolvimento de mudas, dependem do pH. Seu valor é resultado da atividade dos íons H⁺ no substrato, não sendo um valor fixo. Depende do complexo coloidal e seus íons associados, capacidade de troca de cátions (CTC), conteúdo de umidade, concentração do conteúdo de dióxido de carbono, época do ano, além de outros fatores. Diferenças de até 0,3% podem ser ignoradas, por não serem significativas (CARNEIRO, 1995).

Segundo South e Davey (1983), o pH talvez seja a mais importante propriedade química do substrato. Valores inadequados de pH afetam a disponibilidade de nutrientes. Em substratos com pH abaixo de 5,0 pode ocorrer a deficiência de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro, enquanto que em pH acima de 6,5 são esperadas deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre (VALERI; CORRADINI, 2000; MEURER, 2007). Desta forma, segundo Gonçalves e Poggiani (1996), para as espécies florestais o intervalo adequado de pH está entre 5,5 e 6,5.

Bonnet (2001), trabalhando com diferentes substratos a base de lodo anaeróbico, observou no tratamento, a base casca de pinus e lodo compostado (70/30), uma altura média de mudas de *Mimosa scabrella* de 22,08 cm, enquanto que o tratamento a base de casca de pinus e composto de lodo anaeróbico calado (70/30) apresentou altura média de 6,33 cm. Esse resultado segundo o autor, deve-se ao alto pH do lodo anaeróbico (8,8), o qual diminui a disponibilidade de nutrientes, enquanto que o lodo compostado (pH 5,0) apresenta maior concentração de nutrientes, devido a sua fração orgânica.

2.3.2.2.2 Condutividade elétrica e salinidade

A condutividade elétrica (CE) é um indicativo da concentração de sais ionizados na solução e fornece um parâmetro da estimativa da salinidade do substrato (KÄMPF, 2005). A CE é expressa em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S cm}^{-1}$) ou milisiemens por centímetro (mS cm^{-1}). Os valores adequados da condutividade elétrica do substrato variam entre espécies, cultivares e clones. Em geral, para as espécies florestais, ela deve estar entre 1,5 a 3,0 mS cm^{-1} . Segundo Rodrigues (2002) altos valores de CE, representados por níveis altos de salinidade, podem danificar as raízes e os pêlos radiculares, impedindo a absorção de água e nutrientes, afetando a atividade fisiológica e favorecendo a incidência e a severidade de alguns patógenos.

A salinidade refere-se ao teor de constituintes inorgânicos presentes no substrato capazes de se dissolver em água. Esses constituintes inorgânicos referem-se a todos os íons, nutrientes e não nutrientes. A sensibilidade à salinidade varia entre as espécies e a idade da planta, sendo que quanto mais jovem maior a sensibilidade (KÄMPF, 2005).

A salinidade de substratos representa o teor total de sais solúveis, que expressa a concentração de sais em determinado volume de substrato. Desta forma em substratos não basta observar a condutividade elétrica, mas considerar a densidade do material. Para o mesmo valor de condutividade elétrica, maior será a salinidade, quanto maior for a densidade do material (FERMINO, 2002). A concentração de sais de um substrato pode afetar negativamente o cultivo, sendo que a condutividade elétrica acima de 3,5 $\mu\text{S m}^{-1}$ é considerada excessiva para a maior parte das plantas (MARTINEZ, 2002). Esta característica está relacionada com a capacidade de troca catiônica (CTC), onde substratos inertes são facilmente dessalinizados a partir de lavagem ou ainda no manejo da adubação.

Faz-se necessário o conhecimento da salinidade, visto que a mesma pode causar perdas na produção, sendo que seu valor é facilmente obtido através da leitura da condutividade elétrica. Segundo Kämpf (2005) a salinidade é um dos itens a ser levado em consideração na escolha do material, onde se busca obter materiais com salinidade abaixo de 1,0 g L^{-1} .

A salinidade excessiva pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, e consequente diminuição do potencial osmótico junto à solução do solo/substrato, na região das raízes, provocando uma diminuição do potencial da água. Esse efeito sobre as plantas é semelhante ao provocado por um estresse por falta de água, com a diferença que em situação de excesso

de salinidade pode haver água disponível, porém difícil de ser absorvida (TAIZ; ZEIGER, 2009).

2.3.2.3 Tipos de substratos

Os substratos para a produção de mudas podem ser formados por um único material ou pela combinação de diferentes tipos de materiais; podem ser preparados no viveiro ou comprados prontos. No mercado podem ser encontrados diversos tipos de substratos prontos para o uso (casca de pinus semidecomposta, húmus, fibra de coco, turfa, vermiculita, entre outros), puros ou em mistura, tendo cada um características próprias de preço e qualidade (KRATZ, 2011).

Uma série de materiais podem ser usados como substrato. Abaixo seguem alguns relacionados com o presente projeto.

2.3.2.3.1 Vermiculita

A vermiculita é uma forma de mica expandida, obtida através do aquecimento desta rocha a temperaturas superiores a 1000 °C, de modo que sua grade cristalina (2:1) se expande, resultando num produto leve, macio, estéril, com boa disponibilidade de Mg e K, pH em água $\geq 6,5$, CTC ($109 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 160 Kg m^{-3} de densidade (GONÇALVES; POGGIANI, 1996).

A vermiculita é um mineral praticamente inerte, de estrutura variável, muito leve, constituído de lâminas ou camadas justapostas, com grande aeração, alta capacidade de troca catiônica e retenção de água. Pode ser usada pura ou em misturas para promover maior aeração e porosidade a outros substratos menos porosos. Outra aplicação que tem sido recomendada é na parte superior do tubete, onde funciona como isolante térmico, diminuindo também a perda de água através da evaporação (WENDLING; GATTO, 2002).

A vermiculita não é aconselhada a ser usada pura devido ao seu alto custo, necessidade de adubações frequentes, principalmente de micronutrientes e por não permitir a

formação de um sistema radicular bem agregado a ela, ou a capacidade de formar torrão, dificultando desta forma o transporte das mudas até o local de plantio (NEVES et al., 1990).

A vermiculita ao sofrer compactação não volta à forma original quando cessada a compressão, tendo como consequência aumento na densidade e diminuição de sua porosidade (FERMINO, 2002).

2.3.2.3.2 Casca de arroz carbonizada

A casca de arroz carbonizada é resultante da combustão incompleta da casca de arroz sobre alta temperatura e condições de baixo oxigênio. É um produto extremamente leve, estéril, de fácil manuseio, alta porosidade, boa aeração e baixa capacidade de retenção de água (WENDLING; GATTO, 2002).

Esse material, segundo Melo et al. (2006), tem sido utilizado como substrato, pois é estável física e quimicamente, sendo assim, mais resistente à decomposição. Dentre as principais vantagens da casca de arroz está a sua disponibilidade, visto que é oriunda de uma das culturas mais consumidas pelo ser humano no mundo, embora em alguns locais específicos não haja disponibilidade.

As características de casca de arroz carbonizada podem ser equiparadas a outros materiais incinerados, como a cinza de caldeira, biomassa e bagaço de cana carbonizado (GONÇALVES; POGGIANI, 1996). Porém, segundo os mesmos autores, se a casca estiver muito carbonizada, haverá predomínio de partículas menores, aumentando a retenção de água.

A baixa densidade da casca de arroz carbonizada é uma característica importante quando se deseja aumentar a porosidade total do substrato, de modo a permitir maior drenagem da água de irrigação ou, ainda, proporcionar uma melhor aeração do sistema radicular da muda (COUTO et al., 2003). Apesar de a densidade ser um fator importante na escolha dos componentes de um substrato, esta característica não pode ser considerada de forma isolada para escolha de um substrato (KÄMPF, 2005). Como exemplo, a autora menciona que a casca de arroz carbonizada e a areia apresentam valores de densidade extremamente diferentes, no entanto, quando submetidos à tensão negativa de 100hPa, apresentam a mesma capacidade de retenção de água.

Klein et al. (2002), avaliando as alterações nas propriedades físico-hídricas de substratos comerciais, com a mistura de casca de arroz carbonizada em diferentes proporções,

concluíram que a casca de arroz pode ser utilizada para otimizar as propriedades físico-hídricas de substratos hortícolas, melhorando a disponibilidade de água às plantas e a aeração. Segundo o mesmo autor, o uso da casca de arroz carbonizada quando combinado com substratos comerciais pode reduzir os custos de produção, principalmente em regiões com oferta do material.

Lang e Botrel (2008) obtiveram maior produtividade em mudas de *Eucalyptus grandis* com a adição de 50% de casca de arroz no substrato comercial a base de casca de pinus, reduzindo o custo de produção da muda, já que a casca de arroz pode ser obtida por menor valor quando comparada com o substrato comercial.

A substituição de substrato comercial a base de casca de *Pinus* por casca de arroz carbonizada, entre 60 e 70%, proporciona maior crescimento de mudas de cafeeiro, proporcionando, além do aumento da produtividade, redução do custo de produção (VALLONE et al., 2004).

As propriedades físicas da casca de arroz carbonizada podem variar conforme o manejo adotado na sua carbonização e a procedência do material (ALMEIDA, 2005), conforme pode ser observado em alguns trabalhos. Para Stringheta et al. (1997) a porosidade total foi de 64%, enquanto que para Almeida (2005) foi de 87,6% e Gonçalves e Poggiani (1996) de 82%. Segundo Kratz et al. (2012), a redução no tamanho das partículas de casca de arroz carbonizada proporcionou um aumento da densidade aparente e microporosidade e uma diminuição proporcional na porosidade total e macroporosidade. Tal fato pode estar relacionado ao tamanho das partículas dos materiais analisados, o qual está diretamente associado ao tempo de carbonização da casca, sendo que quanto maior este tempo, menor será o tamanho das partículas e, conseqüentemente maior microporosidade.

As características químicas também podem variar conforme o manejo adotado no processo de carbonização. Gonçalves e Poggiani (1996) obtiveram melhor resultado no período de 35 minutos de carbonização, visto que nesse tempo o pH médio foi de 5,48 em CaCl_2 e 5,96 em água, valores que estão dentro da faixa considerada adequada para o crescimento de mudas, ou seja, de 5,5 a 6,5.

2.3.3 Nutrição de mudas

A fertilização é um dos pontos críticos na produção de mudas de qualidade em viveiro, pois as plântulas esgotam rapidamente os nutrientes armazenados nas sementes (JACOBS; LANDIS, 2009). Quando o meio não fornece ou não tem quantidades adequadas dos elementos minerais, as plantas não terão suas exigências nutricionais atendidas, portanto, haverá redução no crescimento devido à carência nutricional (FAQUIN, 2002).

A nutrição influencia tanto a taxa relativa de crescimento de uma planta, como a taxa que uma dada área foliar pode assimilar o dióxido de carbono (DAVIDE; FARIA, 2008). Os principais nutrientes, classificados como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), são exigidos em maiores quantidades para suprir as necessidades das plantas; e os elementos-traço, classificados como micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B e Cl), são requeridos em menores quantidades, porém todos são essenciais, não podendo ser substituídos (LARCHER, 2006). Os elementos hidrogênio, carbono e oxigênio não são considerados nutrientes minerais, pois são obtidos primariamente da água ou do dióxido de carbono (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Um importante conceito no campo da fertilização é expresso pela lei do mínimo, introduzida por Liebig, segundo o qual o desenvolvimento das plantas é limitado pelo nutriente que se encontra em baixa concentração, em relação às suas necessidades, mesmo na presença de quantidades adequadas dos demais nutrientes (GIANELLO; GIASSON, 2004).

Desta forma, além da quantidade absoluta de nutrientes no meio de crescimento, o balanço adequado desses nutrientes é fundamental, pois o desenvolvimento das plantas é limitado pelo fator de crescimento que estiver em condições mínimas, seja nutricional, climático ou outro (JACOBS; LANDIS, 2009; GIANELLO; GIASSON, 2004).

A diagnose de fertilidade para recomendação de fertilização pode ser realizada por meio da análise química do solo (ou substrato) e pela análise de tecido vegetal. A primeira reflete os níveis de nutrientes no meio de crescimento, potencialmente disponíveis para as raízes das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009), e a segunda pode revelar deficiências ou excessos de um ou mais nutrientes, permitindo que sejam realizadas as correções, evitando o comprometimento da produtividade e da qualidade dos produtos agrícolas (CARMO et al., 2000).

Mudas produzidas em viveiro podem adquirir os nutrientes de diferentes fontes, incluindo o substrato, água de irrigação, micro-organismos benéficos e fertilizantes. Entre os

fertilizantes inorgânicos existem diversos disponíveis, variando de acordo com sua matéria-prima, quantidade de nutrientes e mecanismos de liberação (JACOBS; LANDIS, 2009).

De forma geral, é acrescentada ao substrato uma adubação de base, com macro e micronutrientes, comumente na forma sólida, e no decorrer do crescimento das mudas são realizadas fertilizações de cobertura, na forma líquida, com nitrogênio e potássio, ou com soluções nutricionais mais completas (MORAES NETO et al., 2003a).

A utilização de elevadas doses de fertilizantes solúveis, na adubação de base, eleva a concentração salina no substrato, podendo prejudicar a germinação, causando distúrbios nutricionais e atrasando o crescimento inicial das mudas (GONÇALVES et al., 2005).

Os fertilizantes de liberação controlada (FLC) representam uma tecnologia avançada, desenvolvida para o fornecimento de nutrientes minerais especialmente aplicados à produção de mudas em viveiros (LANDIS; DUMROESE, 2009). Se comparado com os fertilizantes solúveis, os FLC podem superar problemas como o aumento da mortalidade ocasionada pelo efeito osmótico, devido à elevada concentração de sais na zona de enraizamento; intensa competição com as plantas daninhas; contaminação de águas subterrâneas e dos rios; além da diminuição dos custos das práticas de aplicação de fertilizantes solúveis (FAN et al., 2004).

Os fertilizantes de liberação lenta e controlada caracterizam-se por fornecer os nutrientes às plantas, lentamente, durante certo tempo, sincronizando a demanda com a disponibilidade no substrato (VALERI; CORRADINI, 2005). Não existe uma diferenciação oficial entre fertilizante de liberação lenta e controlada, sendo que o primeiro é caracterizado por baixa solubilidade e o segundo é encapsulado ou revestido com resina (TRENKEL, 1997).

Os fertilizantes encapsulados solúveis em água possuem uma camada de resina orgânica permeável, e normalmente contém NPK. O processo de liberação dos nutrientes ocorre por várias etapas. Num primeiro momento, o vapor da água da irrigação é absorvido através de poros microscópicos do revestimento. Cria-se um gradiente osmótico, dentro da cápsula, tornando o revestimento flexível para expandir. Isto aumenta os pequenos poros e os nutrientes são liberados no solo ou no substrato e a água entra para o encapsulado. A frequência de irrigação e a temperatura média são os principais fatores ambientais que afetam a velocidade deste processo. As taxas de liberação são ajustadas pelo fabricante, alterando a espessura e a natureza do material (revestimento), e a duração pode variar de 3 a 18 meses (VALERI; CORRADINI, 2005; LANDIS; DUMROESE, 2009).

O uso dos fertilizantes de liberação lenta e controlada ganhou reconhecimento como uma importante ferramenta para alcançar os objetivos no reflorestamento, de modo que sua incorporação ao substrato é uma abordagem relativamente nova para a nutrição de mudas em

viveiros florestais. Essa nova tecnologia, permite incorporar o fertilizante no substrato, nutrindo as mudas na fase de viveiro, bem como, fertilizando após o plantio a campo (HAASE et al., 2006).

2.4 Polímeros hidroretentores

Polímeros hidroretentores podem ser de origem natural (derivado do amido) ou sintéticos (derivados do petróleo), que são valorizados por suas habilidades em absorver e estocar água. Os hidroabsorventes mais frequentemente usados são os polímeros sintéticos propenamidas (originalmente denominados poliacrilamida ou PAM) e os copolímeros propenamida-propenoato (originalmente conhecidos com poliacrilamida acrilato ou PAA (TERRACOTTEM, 1998).

Esses polímeros têm propriedades especiais, como diferente capacidade de retenção de água e diferentes possibilidades de reserva de água para as raízes das plantas. Estas propriedades tornam os polímeros aptos à aplicação em diferentes tipos de solo, em diferentes condições ambientais e para diferentes espécies de plantas (COTTHEM, 1998).

O polímero sintético a base de poliacrilamida, com capacidade de absorver 150 a 400 vezes sua massa seca, pode ser utilizado para aumentar a capacidade de armazenamento de água do substrato, minimizando os problemas associados à disponibilidade irregular ou deficitária de água, sendo uma alternativa para a baixa disponibilidade de água no solo, quando esta possa afetar de forma negativa o crescimento e o desenvolvimento das plantas (PREVEDELLO; LOYOLA, 2007).

No entanto, os dados científicos de seu uso são restritos e os resultados são variáveis, devido às diferenças existentes entre espécies, cultivares, doses utilizadas, condições ambientais, dificultando a extrapolação de resultados (OLIVEIRA et al., 2004). O uso destes hidroretentores, como substituto da irrigação complementar, visa utilizar a água armazenada na estrutura do hidrogel na época de maior disponibilidade hídrica, e possibilitar posterior uso pela planta na época de deficiência hídrica.

A grande maioria dos estudos publicados é realizada com os polímeros aniônicos, que atuam estruturando o solo, controlando erosão, melhorando a infiltração de água e ajudando na recuperação de solos salinos (WALLACE; WALLACE, 1986; SHAINBERG; LEVY, 1994). Poucos são os estudos realizados com os polímeros hidroabsorventes que têm atuação

direta na retenção de água. Esses polímeros não reagem com os constituintes do solo, mas exercem efeito direto, aumentando a retenção de água pelo solo (NIMAH et al., 1983).

Segundo Oliveira et al. (2004), alguns polímeros sintéticos hidroabsorventes estão sendo utilizados na produção de frutas, hortaliças e mudas de diversas espécies, bem como na formação de gramados em jardins, campos de futebol e de golfe. No entanto, as informações científicas de seu uso como condicionadores de solo são restritas, sendo necessário se conhecer e quantificar a contribuição advinda da aplicação de polímeros hidroabsorventes na disponibilidade de água, em diferentes meios de cultura e condições. Segundo os mesmos autores, à medida que aumenta a concentração do polímero nos solos, ocorre maior retenção de água.

Não existem muitos estudos envolvendo o uso de hidroretentores em culturas florestais, ou espécies arbóreas, sendo que a maioria dos relatos do uso destes produtos é em relação a espécies agrícolas. Em estudo envolvendo *Brachiaria decumbens*, Dusi (2005) testou doses do hidroretentor e doses de nitrogênio, sendo que a incorporação do polímero hidroretentor, associado à adubação nitrogenada a produção de massa seca foliar e radicular não foram prejudicados com a redução do nitrogênio à metade da dose ideal para a planta.

Testando doses de hidrogel em maracujazeiro-doce, Hafle et al. (2008) ressaltaram que a massa seca da parte aérea, da raiz e total apresentaram comportamento quadrático com aumentos de 105,2, 84,26 e 152,86%, respectivamente, nas doses de 5,34, 5,24 e 5,23 g L⁻¹ do polímero. Em doses mais elevadas, entretanto, o efeito tornou-se negativo, resultados esses em que os autores atribuíram ao aumento do número de folhas e de raízes e do comprimento do sistema radicular nas mudas, ocasionado por uma retenção maior de água e disponibilidade dos nutrientes, nas doses acima citadas.

Azzam (1983) afirma que os polímeros a base de poliacrilamidas não são degradadas biologicamente, por isso uma vez aplicada ao solo sofrem uma paulatina degradação ou dissociação por ação do cultivo, dos raios ultravioletas do sol e um contínuo fracionamento. Wallace et al. (1986) afirmaram que os produtos finais da dissociação do polímero são: dióxido de carbono, água e amoníaco e, portanto, confirmam que não existe nenhum problema relacionado à toxicidade residual.

3 CAPÍTULO I

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden INFLUENCIADO PELO USO DO POLÍMERO NATURAL E SUBSTRATOS DE CULTIVO

3.1 Resumo

O uso do hidrogel misturado aos substratos pode permitir maior retenção de água e fertilizantes para disponibilizar às plantas. Na produção de mudas florestais há diversas opções de produtos para a composição dos substratos, o que exige que se conheça o efeito da adição dos géis hidroretentores aos substratos. Desta forma, objetivou-se testar diferentes doses do polímero natural, combinado com diferentes substratos visando à maximização da produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden aliado a análise química e física das misturas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado em arranjo bifatorial 4 x 4, em que os níveis do fator “A” referiram-se aos diferentes substratos e os níveis do fator “B”, às doses do hidroretentor. Para cada tratamento também foi realizada análise física e química do substrato. Após 90 dias de semeadura foi realizada avaliação de parâmetros morfológicos das mudas. Com a adição do hidrogel houve melhora das características físicas e químicas dos substratos, principalmente às relacionadas com porosidade, água disponível e capacidade de retenção de água. As dosagens de 2 e 4 g L⁻¹ do hidroretentor proporcionaram, em geral, os maiores valores de altura, massa seca da parte aérea e índice de qualidade de Dickson. O diâmetro de coleto foi maior com a utilização de 6 g L⁻¹ do hidrogel. O hidroretentor ocasionou diferentes comportamentos conforme a composição dos substratos. Quando a casca de arroz carbonizada foi utilizada, o uso do hidrogel proporcionou elevação da altura e diâmetro de coleto. O uso de vermiculita (50%) teve menor influência em função das dosagens do hidroretentor. Assim, o hidrogel, em dosagens adequadas, pode aumentar a qualidade das mudas de *Eucalyptus dunnii* e diminuir o tempo de permanência no viveiro quando se faz uso de substratos com menor capacidade de retenção de água, como é o caso da casca de arroz carbonizada.

Palavras-chave: Produção de mudas. Retenção de água. Polímero hidroretentor. Vermiculita. Casca de arroz carbonizada.

3.2 Abstract

The use of substrates mixed with the hydrogel may allow a higher water retention and provide fertilizer to the plants. In seedling production there are several product options for the composition of the substrates, which requires knowing the effect of the addition of hidrotentores gels to substrates. Thus, this study aimed to test different doses of the natural polymer, combined with different substrates in order to maximize the yield and quality of *Eucalyptus dunnii* Maiden combined with chemical and physical analysis of mixtures. The experiment was conducted in a greenhouse using a randomized design in 4 x 4 factorial arrangement, in which the levels of the factor "A" referred to the different substrates and the levels of the factor "B", at doses of hidrotentor. For each treatment was also performed physical and chemical analysis of the substrate. After 90 days of sowing was assessment of morphological seedling. With the addition of the hydrogel was improved physical and chemical characteristics of substrates, especially those relating to porosity and water available water -holding capacity. Dosages of 2 and 4 g L⁻¹ hidrotentor provided, in general, higher values of height, dry weight of shoot and Dickson quality index. The collect diameter was higher with the use of 6 g L⁻¹ of the hydrogel. The hidrotentor caused different behaviors according to the composition of the substrates. When the rice hulls was used, the use of hydrogel resulted in higher height and diameter collect. The use of vermiculite (50 %) had less influence on the basis of measurements of hidrotentor. Therefore, the hydrogel in appropriate dosages can increase the quality of *Eucalyptus dunnii* and reduce the time spent in the nursery when use is made of substrate with low water retention capacity, as is the case with rice hulls.

Keywords: Seedling production. Water retention. Polymer hidrotentor. Vermiculite. Rice hulls.

3.3 Introdução

A demanda por produtos florestais está expandindo cada vez mais e, para atendê-la, faz-se necessária a implantação de novos plantios, os quais, para serem rentáveis, devem possuir alta produtividade, que permitam um ciclo de corte relativamente curto, associados à boa qualidade do produto.

Desta forma, ao se levar em consideração a instalação de povoamentos florestais, um dos fatores a serem priorizados é a qualidade da muda, visto que apresenta repercussão direta na produtividade e qualidade do produto final (CALDEIRA et al., 2007).

Muitos esforços têm sido realizados para melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção das mudas e dentre os fatores que influenciam na qualidade está o substrato. Os substratos para a produção de mudas podem ser formados por um único material ou pela combinação de diferentes tipos de materiais, podendo ser formulados no viveiro ou comprados prontos. No mercado podem ser encontrados diversos tipos de substratos prontos para o uso, puros ou em mistura, tendo, cada um, características próprias de preço e qualidade (SPERANDIO et al., 2011).

Para a escolha adequada do substrato destinado à produção de mudas devem-se levar em consideração os fatores econômicos, relacionados aos custos, disponibilidade, qualidade e facilidade de manuseio; fatores químicos, relacionados principalmente ao pH, a condutividade elétrica e ao nível de fertilidade do material; e fatores físicos, se referindo às características desejáveis do material, como textura e densidade, que interferem na aeração, capacidade de retenção de água e agregação do substrato (WENDLING et al., 2002). Além disso, um bom substrato deve ter ausência de plantas invasoras, sobretudo gramíneas (DAVIDE; SILVA, 2008).

É difícil encontrar um material que, isoladamente, atenda a todas as exigências da espécie a ser cultivada. Por essa razão, são incorporados aos substratos materiais que melhorem suas características físicas e/ou químicas. Estes são denominados condicionadores e integram a mistura em proporções menores do que 50% (KÄMPF, 1992). De modo geral, pode-se dizer que é preferível a mistura de dois ou mais materiais para a obtenção de um substrato adequado e de boa qualidade (BACKES, 1989). Segundo o mesmo autor, a escolha dos materiais utilizados deve considerar a espécie a ser cultivada, as condições de produção (sistema de irrigação, fertilização, tamanho de recipiente, etc.), a disponibilidade e preço do material, além de aspectos técnicos relacionados ao seu uso.

Na produção de mudas de espécies florestais podem ser utilizados componentes a base de composto orgânico, como esterco bovino, vermicomposto e os compostos de resíduos sólidos urbanos (PAIVA; GONÇALVES, 2001). Entretanto, estes compostos orgânicos são geralmente utilizados como componentes de misturas, que incluem também casca de arroz carbonizada, vermiculita, fibra de coco, casca de pinus, entre outros. Estes componentes são utilizados, fundamentalmente, para melhorar as condições de drenagem do substrato (WENDLING et al., 2002; GONÇALVES, 1995).

Além do substrato utilizado, fatores como a adubação das mudas e a água para a irrigação são considerados os principais custos de produção de mudas florestais nos viveiros. Com o intuito de diminuir custos com nutrientes e irrigação, além de benefícios ambientais devido ao menor consumo de água e lixiviação de nutrientes, nos últimos anos vem sendo pesquisado o uso de géis hidrotentores, também chamados de hidrogéis ou polímeros retentores de água.

O polímero retentor de água vem sendo comercializado com as justificativas de que, ao ser incorporado ao substrato, permite maior retenção de água e de fertilizantes, que podem lentamente ser liberados para as plantas em função dos ciclos absorção – liberação. Além disso, segundo Taylor e Halfacre (1986), a adição de hidrogel, em função de sua elevada capacidade de troca catiônica (CTC), reduz a lixiviação de nutrientes.

Dependendo da composição, os géis hidrotentores podem absorver mais de 500 vezes seu peso em água, o que permite recomendá-los em diversos campos, como fruticultura, olericultura e silvicultura principalmente para uso em viveiro e a campo no transplante de mudas. Entretanto, alguns fatores influenciam o estado nutricional de plantas cultivadas com hidrotentores, tais como: períodos prolongados de disponibilidade da solução de nutrientes, diminuição da lixiviação, capacidade de troca de cátions do polímero, capacidade de quelação do polímero, capacidade de tamponamento do pH e participação do polímero como fonte de nutrientes (TAYLOR; HALFACRE, 1986).

O uso dos hidrotentores tem o intuito de melhorar as condições de umidade dos substratos, desta forma, são importantes estudos envolvendo a adição desses polímeros no substrato de plantio em tubetes, assim como a dose ideal para cada volume desses mesmos substratos.

Desta forma, objetivou-se testar doses do polímero hidrotentor a base de amido de milho, combinado com diferentes substratos visando à maximização da produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden aliado a análise química e física das misturas.

3.4 Material e métodos

3.4.1 Análise do substrato e hidrogel

A caracterização física e química do substrato comercial (Carolina Soil[®]) e misturas desenvolvidas e utilizadas no estudo foi realizada no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme a instrução normativa nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003). Para a realização das análises, foram encaminhadas amostras de 2,5 litros de cada mistura de substrato sem adubação e contendo as diferentes doses do polímero comercial Zeba[®] a base de amido de milho (0; 2; 4 e 6 g L⁻¹) utilizados na produção das mudas.

Dentre os atributos físicos relativos à densidade e umidade do substrato foram avaliada a densidade úmida (kg m⁻³); densidade seca (kg m⁻³), umidade (%) e porosidade total (%). As determinações do espaço de aeração e água disponível foram realizadas através do uso de funis de tensão, com 0, 10, 50 e 100 cm de coluna de água, correspondendo às tensões de 0, -10, -50 e -100 hPa. Após os procedimentos laboratoriais foram obtidas as seguintes variáveis (todas expressas em %):

1. Porosidade total (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0 hPa);
2. Espaço de Aeração (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão -10 hPa;
3. Água Facilmente Disponível (AFD): volume de água encontrado entre -10 e -50hPa;
4. Água Tamponante (AT): volume de água encontrado entre -50 e -100hPa;
5. Água disponível (AD): obtida pela soma de AFD + AT;
6. Água remanescente (AR 100): volume de água que permanece na amostra após ser submetida à tensão de -100 hPa; e
7. Capacidade de Retenção de Água (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão.

Os atributos químicos analisados foram a condutividade elétrica e o pH, com o uso de condutivímetro e potenciômetro (pHmetro), respectivamente. Para ambas as determinações utilizou-se a diluição de 1:5 (v/v), com água deionizada.

Foram também realizadas análises de pH, de condutividade elétrica e de teor total de sais solúveis (TTSS) em amostras de areia lavada com a adição do hidrogel (em cada dose). O pH e a condutividade elétrica foram analisadas da mesma forma que o substrato. Já o teor total de sais solúveis (TTSS) das amostras foi determinado através de cálculo considerando a CE (mS cm^{-1}) e a densidade do material, em suspensão areia:água deionizada na proporção de 1:10 (m/v), expressa como teor de KCl (RÖBER; SCHALLER, 1985).

3.4.2 Crescimento inicial de mudas

O estudo foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais ($29^{\circ}43'S$; $53^{\circ}43'W$) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), entre março e junho de 2012. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo 'Cfa' (subtropical úmido), caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C , e do mês mais quente superior a 22°C , com precipitação média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). Ocorrem na região às quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem entre junho e agosto, e os mais quentes entre dezembro e março.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×4 , em que os níveis do fator "A" referiram-se aos diferentes substratos e os níveis do fator "B" às doses do hidroretentor (0; 2; 4 e 6 g L^{-1} de substrato). Os substratos utilizados foram: 1) Comercial – Com (Carolina Soil[®]); 2) Comercial ($1/2$) + vermiculita expandida de granulometria média ($1/2$) (Com+Ver); 3) Comercial ($1/2$) + casca de arroz carbonizada ($1/2$) (Com+CAC) e 4) Comercial ($1/3$) + casca de arroz carbonizada ($1/3$) + vermiculita expandida de granulometria média ($1/3$) (Com+Ver+CAC). O experimento foi realizado com seis repetições, cada uma composta por 24 plantas, sendo posteriormente consideradas para avaliação as oito plantas centrais de cada parcela.

O substrato comercial (Carolina Soil[®]), segundo o fabricante, é composto por turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK. As características descritas na embalagem do produto são: $\text{pH}=5,0 (\pm 0,5)$; condutividade elétrica= $0,7 (\pm 0,3)\text{ mS cm}^{-1}$; densidade seca= 101 kg m^{-3} ; capacidade de retenção de água - CRA= 55% e umidade máxima= 60%. A vermiculita expandida de granulometria média possui $\text{pH}= 7,0 (\pm 0,5)$; condutividade elétrica= $0,7 (\pm 0,5)\text{ mS cm}^{-1}$; densidade seca= 80 kg m^{-3} ; capacidade de retenção de água - CRA= 60% e umidade máxima= 10%.

O hidrorretentor (Zeba[®]) corresponde a um polímero de origem vegetal derivado de milho, usado para absorver, reter e disponibilizar água e nutrientes às plantas. Conforme dados do fabricante, cada partícula do hidrorretentor retém mais de 500 vezes seu peso em água e libera em torno de 95% da mesma, sob demanda das plantas. Possui uma vida útil de aproximadamente um ano.

As sementes de *Eucalyptus dunnii* utilizadas são originárias de Área de Produção de Sementes da empresa da qual foi feita a aquisição do material. Conforme os dados fornecidos pela empresa o lote possuía pureza de 90% e porcentagem de germinação média de 80%. Após a aquisição das sementes até a semeadura (aproximadamente 1 ano) as sementes foram acondicionadas em embalagem de plástico semipermeável (90 micras de espessura) e armazenadas em câmara fria ($T = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{UR} = 85\%$).

Para a instalação do experimento, foram utilizados tubetes com a capacidade de 110 cm^3 . Ao substrato foi realizada a adição do polímero hidrorretentor, conforme o tratamento, e da adubação. A adubação de base utilizada foi composta de fertilizante de liberação controlada na formulação 18-5-9 de NPK, respectivamente, sendo utilizada a dose de 6 g L^{-1} de substrato, conforme recomendado por Bernardi et al. (2012), sendo o tempo de liberação dos nutrientes em torno de 4 a 6 meses. Para proporcionar uma mistura homogênea e garantir uma boa distribuição do polímero e do fertilizante ao substrato foi utilizada a porção de 5 litros de substrato a cada mistura.

Após a mistura do polímero e do adubo, procedeu-se o preenchimento dos tubetes com substrato conforme cada tratamento, dispostos nas bandejas e, em seguida submetidos à mesa vibratória por aproximadamente 10 segundos. Buscou-se um preenchimento dos tubetes em aproximadamente 80% do volume máximo possível para evitar derramamento do substrato após a hidratação com o hidrogel devido à expansão das partículas do hidrorretentor durante a sua hidratação.

A semeadura foi efetuada colocando-se duas a três sementes em cada recipiente. Para a cobertura das sementes foi utilizada uma fina camada peneirada de vermiculita visando cobertura homogênea sobre as pequenas sementes da espécie, sem adição do polímero.

Após a semeadura, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, onde permaneceram até a avaliação do experimento (90 dias). Com 40 dias, procedeu-se o raleio das mudas, permanecendo a mais vigorosa e centralizada no recipiente. Aos 60 dias procedeu-se a diminuição da densidade das mudas na bandeja em 50%, passando da densidade inicial de 400 plantas/m^2 para 200 plantas/m^2 . A irrigação foi realizada por uma barra de irrigação composta por aspersores do tipo microaspersão, com uma lâmina de 4 mm/dia, divididos em 4

horários, sendo acionada por um timer às 8:00 h, às 11:00 h, às 14:00 h e a última às 17:00 h. Optou-se em realizar todo o experimento em casa de vegetação com irrigação reduzida para melhor visualizar os efeitos do gel hidrorretentor sobre cada um dos substratos testados.

A avaliação das plantas foi efetuada aos 90 dias após a semeadura, através das seguintes variáveis: altura em centímetros (H), diâmetro do colo em milímetros (DC), relação altura/diâmetro do colo (H/DC), massa seca da parte aérea em gramas (MSPA), massa seca radicular em gramas (MSR), massa seca total em gramas (MST). Também foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o qual é determinado em função da altura da parte aérea (H), do diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) que é dada pela soma da massa seca do colo e das folhas e da massa seca de raízes (MSR), por meio da fórmula (DICKSON et al., 1960):

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

A altura da parte aérea das mudas foi determinada a partir do colo até o lançamento do último par de folhas, utilizando-se uma régua graduada em milímetros. O diâmetro do colo das mudas foi determinado na altura do tubete com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As mudas foram cortadas e separadas em parte aérea e radicular. A parte radicular contendo o substrato foi lavada em água corrente e, com auxílio de peneiras, foi efetuada a separação das raízes. Tanto as raízes quanto a parte aérea foi colocada em estufa com temperatura de 70 °C até atingir peso constante, sendo após pesadas em balança de precisão.

3.4.3 Procedimentos estatísticos

Após avaliar a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância. Quando necessário, realizou-se o desdobramento das interações, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott e/ou regressão polinomial a 5% de probabilidade de erro. No caso de efeito significativo de equações quadráticas, determinou-se o ponto de máxima eficiência técnica (MET). O pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) foi utilizado para a análise dos dados.

3.5 Resultados e discussão

3.5.1 Análise dos substratos

De acordo com a análise de variância (Anexo 1), houve efeito significativo ($p < 0,001$) para os fatores principais (substrato e dose do hidrogel) para os atributos água remanescente (AR), capacidade de retenção de água - CRA10, CRA50 e CRA100. Para os demais houve interação entre os fatores testados ($p < 0,05$).

Para os atributos densidade úmida (DU), densidade seca (DS) e umidade atual (UA), apesar da interação significativa entre os fatores testados pela análise de variância, os dados estão representados na Tabela 2, devido ao baixo ajuste das equações e por representar menor influência no substrato em comparação às características de retenção de água e porosidade, considerando-se o fator hidrogel e substrato.

Tabela 2 – Determinação das características físicas analisadas nos diversos substratos contendo diferentes dosagens do polímero hidrorretentor utilizados para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

Determinação	Substrato	Dose hidrorretentor (g L ⁻¹)			
		0	2	4	6
Densidade Úmida (kg m ⁻³)	Com	211,93	220,11	226,79	237,45
	Com+Ver	224,06	221,38	222,14	213,21
	Com+CAC	211,65	221,25	219,64	232,33
	Com+Ver+CAC	206,21	204,89	210,45	196,78
Densidade Seca (kg m ⁻³)	Com	113,62	112,58	111,68	117,38
	Com+Ver	144,85	137,26	152,35	132,14
	Com+CAC	129,21	132,75	135,10	133,56
	Com+VER+CAC	137,74	142,44	143,51	137,92
Umidade atual (%)	Com	46,39	48,85	59,75	50,56
	Com+Ver	35,35	38,00	37,42	38,02
	Com+CAC	38,95	40,00	38,48	42,49
	Com+VER+CAC	33,20	30,45	31,72	29,88

A porosidade total (PT) elevou-se à medida que aumentou a dose do hidrogel em todos os substratos testados (Figura 1A). Sem a adição do hidrogel o substrato Com+CAC apresentou a maior PT, mantendo a tendência com a adição do polímero. O substrato Com+Ver, que apresentou a menor PT sem o hidrogel, aumentou de maneira progressiva com o aumento da dose, sendo um dos substratos com maior PT na dose $6,0 \text{ g L}^{-1}$ do hidrogel.

Comportamento contrário (Figura 1B) foi observado para o espaço de aeração (EA). O aumento da dose de hidrogel adicionado ao substrato ocasionou diminuição do EA. Os substratos com adição da CAC apresentaram maior EA em relação aos demais, mas também declinando com o aumento da quantidade de hidrogel. A CAC possui partículas de diferentes tamanhos gerando uma melhor distribuição granulométrica. Ainda, nesse aspecto, deve-se considerar que a composição e a forma das partículas dos substratos têm influência na porosidade de aeração. Paiva e Gomes (2000) mencionam que a aeração do substrato depende da quantidade e do tamanho das partículas que definem a sua textura.

Conforme os valores indicados como adequados para porosidade total dos substratos por Gonçalves e Poggiani (1996), a maioria dos substratos são considerados adequados, estando estes na faixa de 75 a 85% (Tabela 1). Entretanto, de acordo com De Boodt e Verdonck (1972), um substrato considerado ideal deve apresentar porosidade total de, pelo menos, 85%. Desta forma, os tratamentos com adição de hidrogel e CAC na sua composição apresentam as melhores características para este atributo. Segundo Couto et al (2003), a baixa densidade da CAC é uma característica importante quando se deseja aumentar a porosidade total do substrato, de modo a permitir uma melhor aeração do sistema radicial da muda.

Comportamento semelhante quanto à porosidade foi obtido por Martyn e Szot (2001), testando dosagens de hidrogel com o uso de casca de plantas como substrato. Segundo os autores a porosidade obtida foi mais baixa (62,2%) no substrato controle, sem adição do hidrogel, enquanto que as demais combinações proporcionaram valores mais elevados, variando de 80,5 - 83,9%. Ainda segundo os autores, a quantidade de microporos variou de 4,2 para 6,7%. Verificou-se que quando foram aplicadas as doses mais altas de hidrogel, a contribuição dos microporos aumentou em comparação com o substrato de controle.

Quanto ao EA (%), que é a diferença entre a porosidade total e o volume de água retida na tensão de 10 hPa, os valores obtidos encontram-se de acordo com os valores considerados ideais (20-30%) por De Boodt e Verdonck (1972), mesmo havendo a diminuição com o aumento da dose do hidrogel, a exceção do substrato comercial que apresentou valores inferiores com a adição superior a $4,0 \text{ g L}^{-1}$ do polímero.

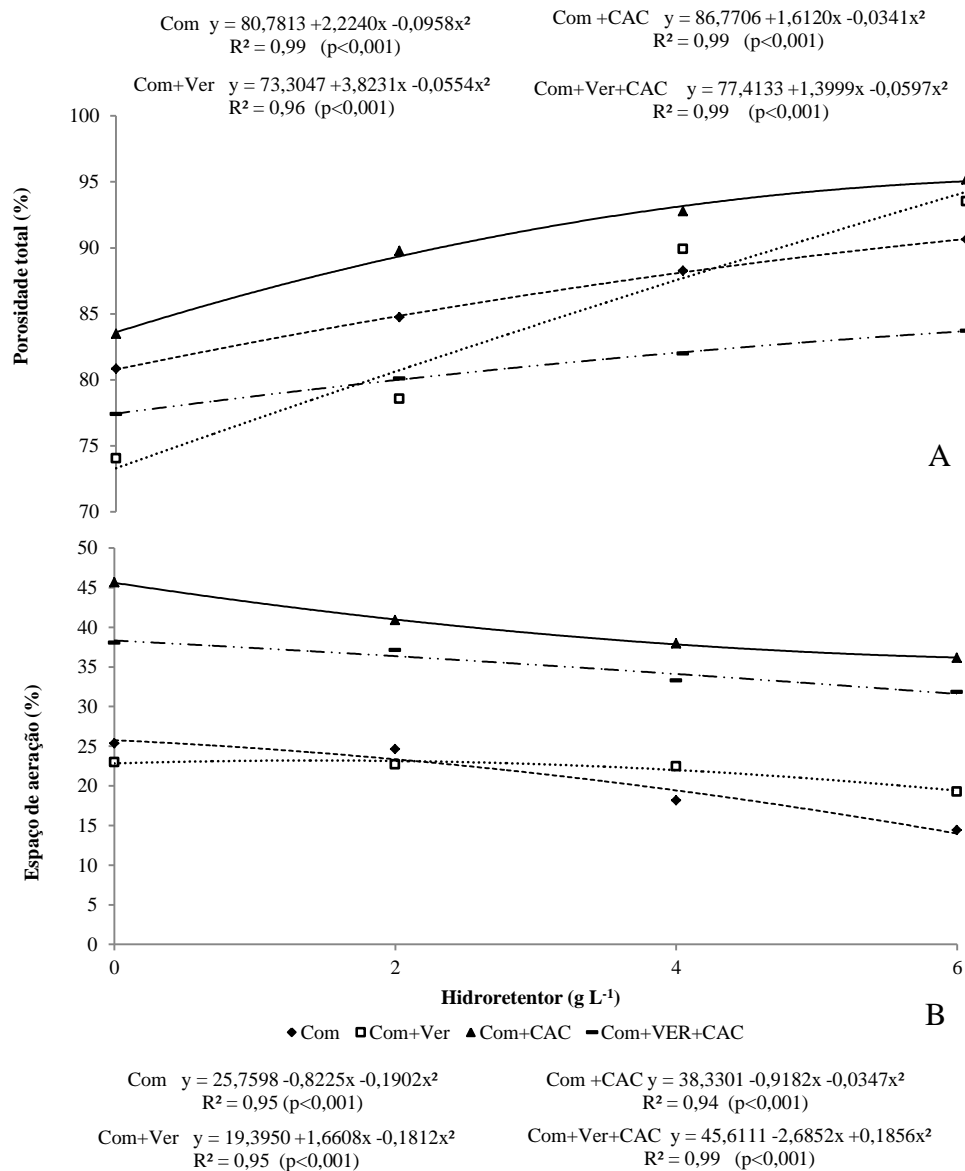


Figura 1 – A- Porosidade total (%); B – Espaço de aeração (%) em função de diferentes composições do substrato e dosagens do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

A adição do hidrogel provavelmente causa o preenchimento dos maiores poros, diminuindo o espaço de aeração, mas aumentando a retenção de água e a capacidade de retenção de água (Figura 2, Figura 3).

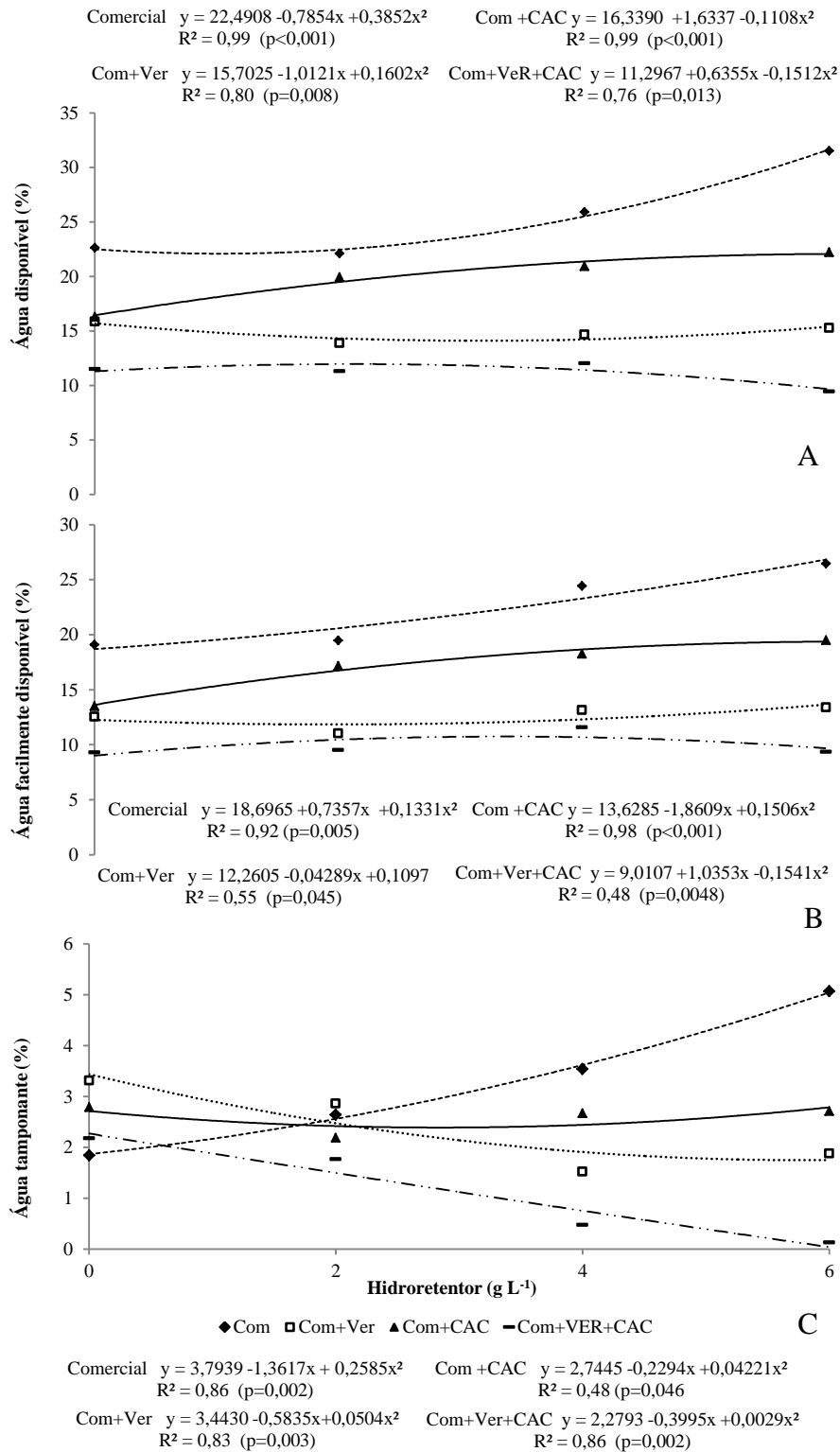


Figura 2 – A- Água disponível (%); B – Água facilmente disponível (%) e C – Água tamponante (%) em função de diferentes composições do substrato e dosagens do polímero hidretoentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil®; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil®+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil®+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil®+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

A água disponível (AD) e a água facilmente disponível (AFD) apresentaram comportamento similar (Figura 2A e 2B). Ambas variaram conforme a dose do hidrogel adicionado e também em relação à mistura para compor o substrato. O substrato comercial e Com+CAC apresentaram aumento da AD e AFD com a elevação da dose do polímero. Já o substrato Com+Ver e Com+Ver+CAC não foram influenciadas pela presença do hidrogel, apresentando estabilidade ou até leve queda com a adição de maiores doses do polímero.

Em relação à água tamponante (AT), houve mudança de comportamento de acordo com a mistura do substrato e a adição do polímero (Figura 2C). Enquanto que o substrato comercial apresentou aumento da AT com o aumento da dose do polímero, a mistura com vermiculita, CAC, ou ambos proporcionou diminuição da quantidade de AT ou tendência de estabilidade.

De acordo com Abad et al. (1993), em condições ótimas, o substrato ideal deve apresentar entre 24 e 40% de água disponível (AD) para as plantas e 4 a 10% de água tamponante (AT). Somente o substrato comercial com a adição de 4,0 e 6,0 g L⁻¹ de hidrogel foi possível atingir o mínimo destes atributos. Da mesma forma ocorre com a água facilmente disponível (AFD), no qual o recomendado é entre 20 a 30% segundo Abad et al. (1993); Carrijo et al. (2002); Fermino (2003) e Grassi Filho e Santos (2004).

Para a água remanescente (AR) e capacidade de retenção de água (CRA), nas três tensões submetidas, não houve interação entre os fatores, mas houve efeito para os fatores isolados. Em relação à composição do substrato, a maior quantidade de AR foi obtida no tratamento Com+Ver, diferenciando dos demais tratamentos (Tabela 3). Para a capacidade de retenção de água na tensão 10 hPa, o substrato comercial apresentou a maior CRA, seguido pelo substrato Com+Ver. O substrato Com+CAC apresentou CRA intermediária, e a mistura dos três compostos apresentou a menor retenção de água nesta tensão. Na aplicação de tensões maiores (50 e 100 hPa), a maior retenção de água foi obtida com o substrato Com+Ver, diferenciando dos demais.

A capacidade de retenção de água é determinada pelo teor, quantidade e características dos componentes do substrato, principalmente a matéria orgânica e alguns tipos de material inerte. Alguns materiais como a vermiculita retêm naturalmente grande quantidade de água, o que pode reduzir substancialmente a necessidade de irrigações ao longo do dia (FERRARI, 2003). Conforme Wendling e Gatto (2002), a vermiculita possui alta capacidade de troca catiônica e retenção de água. Não é aconselhada ser usada pura devido ao seu alto custo, necessidade de adubações frequentes e por não permitir a formação de um sistema radicial bem agregado a ela.

O substrato comercial também apresentou alta capacidade de retenção de água, superando a mistura dos três compostos. O substrato com menor capacidade de retenção foi a mistura com CAC.

Tabela 3 – Água remanescente (AR) e capacidade de retenção de água (CRA) dos substratos submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa em diferentes composições do substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

Composição substrato	Atributo (%)			
	AR (%)	CRA 10 hPa (%)	CRA 50 hPa (%)	CRA 100 hPa (%)
Com	39,87 b*	65,48 a	43,65 b	39,87 b
Com+Ver	52,25 a	60,16 b	49,65 a	47,25 a
Com+CAC	30,45 b	50,14 c	33,04 d	30,45 d
Com+CAC+Ver	34,63 b	45,71 d	35,03 c	34,63 c

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Vários trabalhos mostram que a CAC é um material que apresenta baixa capacidade de retenção de água necessitando de irrigação constante, o que pode tornar inconveniente a sua utilização em cultivos comerciais, sendo necessárias misturas com outros materiais (MELLO, 2006), ou adição de polímeros retentores de água. Devido à ausência de interação entre os fatores, os dados de CRA não são mostrados individualmente para cada substrato e dose de hidrogel, mas de maneira informativa a Tabela 4 contém os resultados obtidos.

A retenção do substrato Com+CAC aumentou de maneira progressiva com a adição do hidrogel. O acréscimo de um condicionador de solo, como o hidrogel, exibe a possibilidade do uso do material como substrato para a produção de mudas de qualidade, principalmente com a melhoria de algumas características como a capacidade de retenção de água no recipiente. De acordo com Medeiros et al. (2008), é necessária a indicação de substratos de baixo custo, que retenham as proporções adequadas de água e ar e permitam uma adequada circulação da solução nutritiva. Desta forma, a adição de uma porcentagem de CAC ao

substrato convencional, mais o uso de hidrogel pode representar um cumprimento destes quesitos.

O tipo de mistura dos substratos, bem como a proporção de componentes de diferentes grupos, deve ser feito objetivando o ajuste das propriedades físicas, principalmente de retenção de água, uma vez que as químicas, em geral, podem ser facilmente modificadas com práticas de adubação e manejo de irrigação (WENDLING et al. 2002).

Tabela 4 – Capacidade de retenção de água (CRA) do substrato Com+CAC (Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada) submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Dose hidrogel (g L ⁻¹)	CRA 10 hPa	CRA 50 hPa	CRA 100 hPa
0	24,33	37,82	21,53
2,0	31,74	48,88	29,55
4,0	36,55	54,82	33,89
6,0	39,50	59,03	36,82

Em relação à água remanescente (Figura 3A) e a capacidade de retenção de água (Figura 3B, 3C e 3D) em todas as tensões submetidas, o valor aumentou com a quantidade do polímero adicionado aos substratos.

Quando o substrato apresenta baixa capacidade de retenção, a água disponível às plantas diminui rapidamente, exigindo irrigações frequentes. O contrário acontece com alta capacidade de retenção, a água disponível às plantas é mantida por mais tempo, o que permite um maior intervalo entre as irrigações. O inconveniente da baixa capacidade de retenção de água de um substrato agrava-se ainda mais quando a demanda evaporativa da atmosfera é elevada. Neste caso, torna-se difícil o manejo correto da irrigação, podendo acarretar em maior volume de água drenada e, conseqüentemente, maior perda de nutrientes, no caso de utilização da fertirrigação (FERNANDES, CORÁ, 2001). Desta forma, a utilização do hidrogel pode auxiliar nessa retenção de água, diminuindo a irrigação ou a sua frequência, especialmente em períodos mais quentes e com menor umidade relativa do ar, momento que a demanda evaporativa aumenta. Além disso, a demanda hídrica do eucalipto é muito elevada em comparação a outras espécies, e conseqüentemente a irrigação deve ser maior. Dessa forma, o conhecimento da capacidade de retenção de água é importante para permitir um manejo racional das plantas em função da quantidade de água disponível.

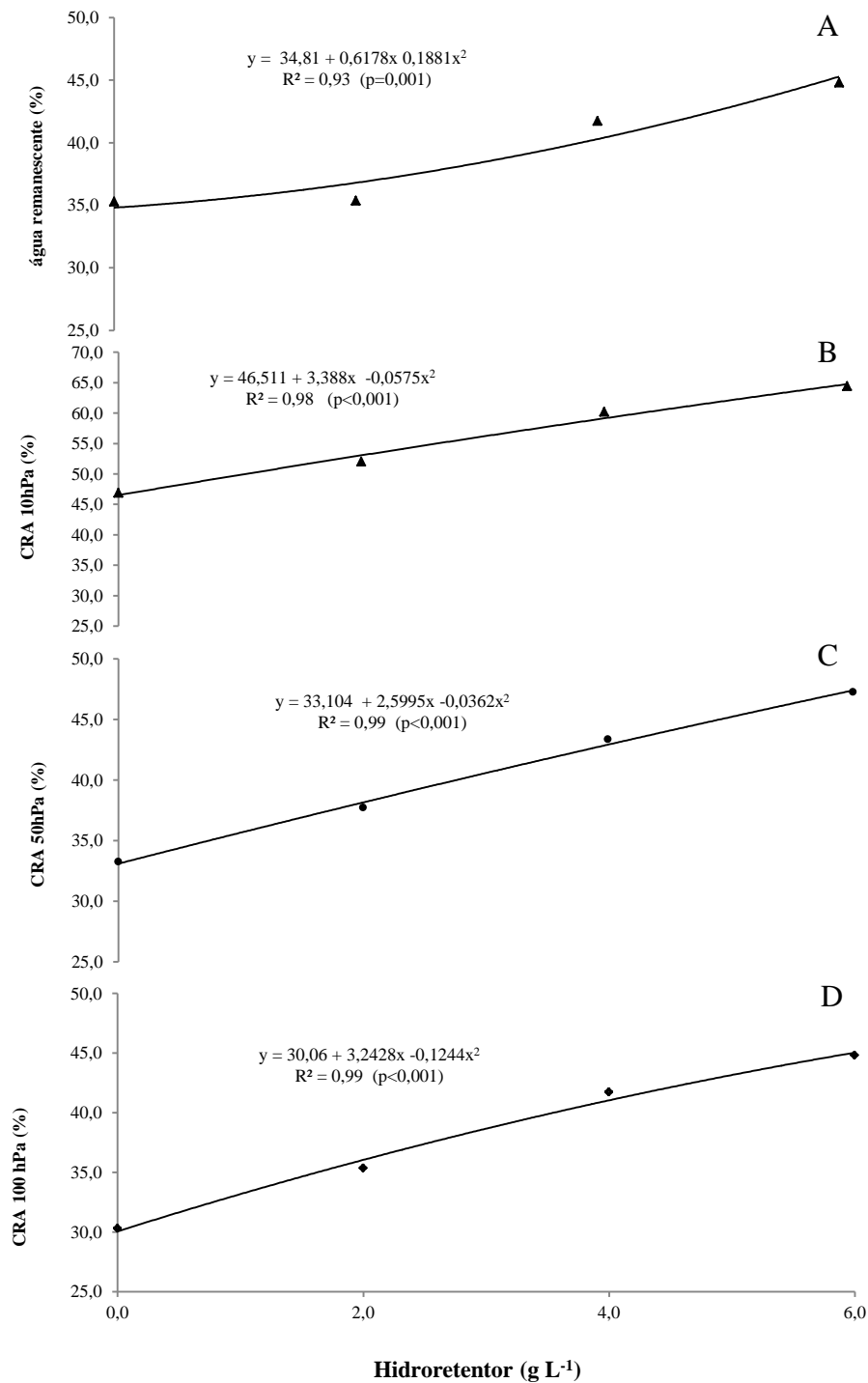


Figura 3 – A- Água remanescente; B- capacidade de retenção de água (CRA) a tensão 10 hPa; C- capacidade de retenção de água (CRA) a tensão 50 hPa e D - capacidade de retenção de água (CRA) a tensão 100 hPa dos substratos submetido a diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Considerando os padrões estabelecidos por Gonçalves e Poggiani (1996); e Martínez (2002) mesmo sem a adição do hidrogel no substrato a quantidade de água retida em tensões

disponíveis para as plantas são categorizadas como acima do nível ideal no qual varia entre 20-30% submetido a 50 hPa.

O comportamento das curvas de retenção (Figura 4) demonstra que os hidrogéis podem funcionar como reservatórios de água no substrato. A curva de retenção de água do substrato representa a relação entre a umidade volumétrica e o potencial matricial, ou seja, a força com que a água está sendo retida pelo mesmo, fornecendo assim informações sobre a habilidade do material em reter e liberar água, dando ideia do volume de água disponível às plantas (SPIER et al., 2008). A determinação da curva de retenção é importante à medida que informa o volume de água disponível às plantas dentro de cada faixa de potencial matricial em uma determinada amostra do substrato (SPIER et al., 2008).

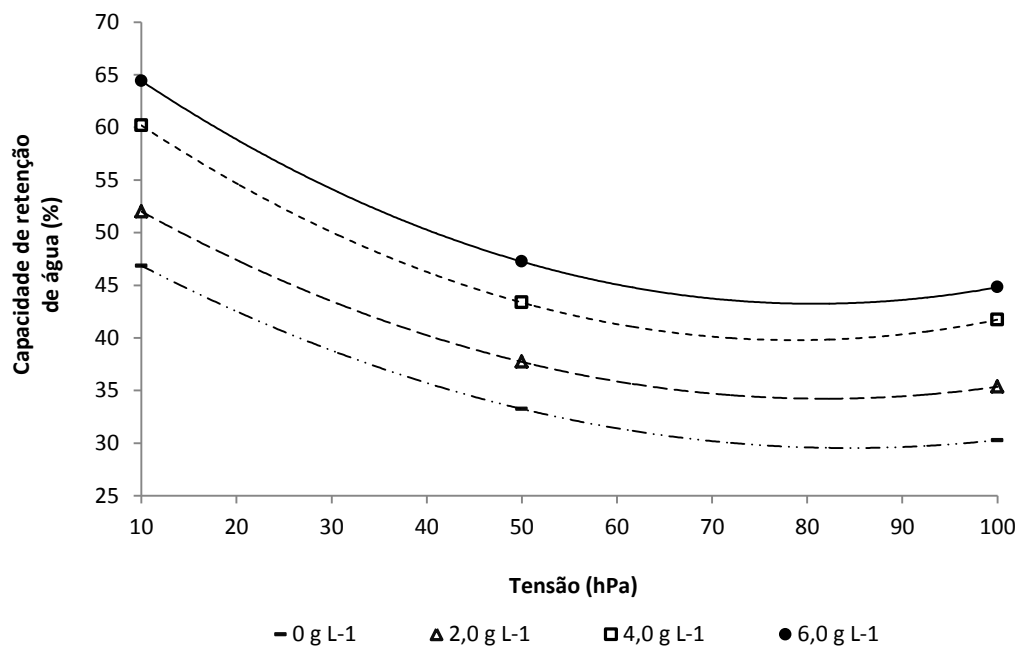


Figura 4 – Curva característica de retenção de água dos substratos submetidos às tensões 10, 50 e 100 hPa utilizando-se diferentes dosagens do hidrogel.

Para os atributos químicos condutividade elétrica (CE) e pH, apesar de ter interação entre os fatores testados pela análise de variância, os dados estão representados na Tabela 5, devido ao baixo ajuste das equações.

A CE apresentou, em geral, um aumento com a adição de maiores doses do polímero, sendo que a maior variação ocorreu com o substrato obtido da mistura Com+Ver+CAC, praticamente dobrando a CE com a adição de 6 g L⁻¹ em comparação a ausência do hidrogel.

Dentre os substratos, o comercial apresentou os maiores valores de CE, independente da presença do hidrogel ou dose testada.

Tabela 5 – Determinação das características químicas analisadas nos diversos substratos contendo diferentes dosagens do polímero hidroretentor utilizados para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

Determinação	Substrato	Dose hidroretentor (g L ⁻¹)			
		0	2	4	6
CE (mS cm ⁻¹)	Com	0,4633	0,3966	0,4500	0,4966
	Com+Ver	0,1967	0,2167	0,2033	0,2500
	Com+CAC	0,2433	0,3000	0,300	0,3300
	Com+VER+CAC	0,1367	0,1533	0,1967	0,2433
pH	Com	4,88	5,33	5,61	5,86
	Com+Ver	5,98	5,83	6,21	6,20
	Com+CAC	6,15	5,01	5,88	6,03
	Com+VER+CAC	6,34	6,47	6,59	6,09

A salinidade inicial do substrato pode afetar o crescimento das plantas, onde valores de condutividade elétrica acima de 3,5 mS cm⁻¹ são considerados excessivos para a maioria das espécies. Desta forma, dentre os substratos e doses do hidrogel analisados todos os tratamentos possuem valores bem abaixo do considerado limite para que possa ocorrer toxicidade. Deve-se lembrar que a salinidade presente no momento do cultivo é maior do que a analisada, visto que, a análise dos substratos foi realizada somente com a adubação contida no substrato comercial. Dessa forma, a maior CE obtida para o substrato comercial deve-se a adubação já incorporada a este. Consequentemente os tratamentos com menor proporção de substrato comercial (Com+Ver+CAC) apresentaram a menor CE.

Em relação ao pH, a adição do polímero de amido de milho não apresentou um padrão de variação em relação a presença ou dose, principalmente por se tratar de um polímero mais neutro (Figura 5B). Entre os substratos, as misturas contendo a CAC apresentaram maior pH. A CAC apresenta maior pH devido ao processo da carbonização, entretanto, esses valores de pH da CAC podem variar conforme o manejo adotado no processo de carbonização. Baitel et al. (2008) observaram que com o aumento no tempo de carbonização da casca de arroz ocorre

elevação no pH do substrato formado, variando de 4,37 no menor tempo (18 min) até 9,05 no maior tempo (53 min), devido ao aumento dos teores de óxidos.

Para verificar uma possível influência do polímero nas propriedades químicas do substrato foi realizada análise em amostras de areia lavada (material inerte) com água destilada. Neste caso, a adição do polímero vegetal ocasionou o aumento da condutividade elétrica, pH e teor total de sais solúveis (TTSS) (Figura 5).

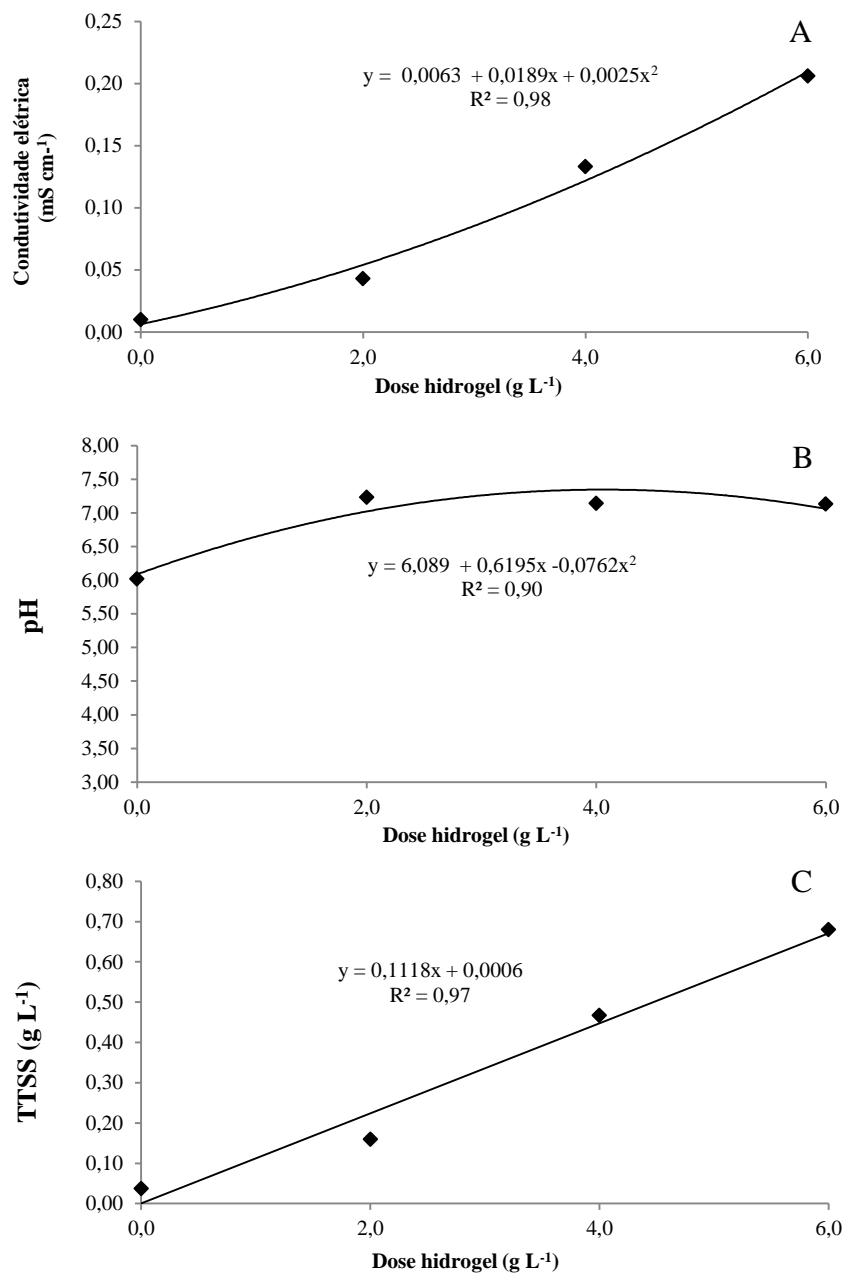


Figura 5 – A- Condutividade elétrica; B- pH e C - TTSS (teor totais de sais solúveis) em areia lavada em função da dose do polímero vegetal.

A areia lavada sem hidrogel praticamente não apresentou sais nas amostras, entretanto, com a adição do hidrogel, o teor de sais aumentou de forma progressiva conforme a dose do polímero. A concentração de sais solúveis apresenta este comportamento, pois é altamente influenciada pelo grau de hidratação do meio (BELLÉ, 1990). Entretanto, mesmo com a maior dose do hidrogel o teor de sais é baixo, não afetando o desenvolvimento das plantas.

A adição do polímero na menor dose ($2,0 \text{ g L}^{-1}$) provocou o aumento de 6,0 para 7,0 no grau de pH, indicando que o aumento na concentração de hidrogel não alterou substancialmente o valor de pH.

3.5.2 Desenvolvimento inicial de *Eucalyptus dunnii*

A análise de variância mostrou que houve interação entre os fatores principais para a variável altura ($p < 0,001$) e diâmetro de coleto ($p < 0,001$) (Apêndice 2). Para a relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) houve efeito significativo somente para o fator substrato ($p < 0,001$), da mesma forma para a variável massa seca radicular – MSR ($p = 0,042$) e massa seca total – MST ($p = 0,048$). Para a variável massa seca da parte aérea – MSPA houve efeito significativo para os dois fatores principais, substrato ($p = 0,027$) e dose do hidroretentor ($p = 0,038$). Para o índice de qualidade de Dickson (IQD) houve efeito significativo somente para a dose do hidroretentor ($p = 0,045$) (Apêndice 3).

Efeito significativo do hidrogel também foi observado em outro estudo. Maldonado-Benitez et al. (2011) estudando a combinação de hidrogel com diferentes substratos em mudas de *Pinus* obtiveram interação, ou efeito do fator principal entre misturas de substratos e doses de hidrogel para as variáveis altura, diâmetro, peso seco da parte aérea, peso seco radicular, relação parte aérea raiz e índice de qualidade de Dickson. Este resultado indica que alguns componentes para a formação de substratos têm influência na qualidade das mudas de *Pinus* conforme a quantidade de hidrogel.

Utilizando o substrato comercial, observou-se que a maior altura das mudas foi obtida empregando-se a dose de $1,58 \text{ g L}^{-1}$ do polímero vegetal (Figura 6). A não utilização do polímero resultou em menor altura em relação aos demais tratamentos. Provavelmente, o aumento da retenção de água com a dose do hidrogel e o substrato comercial ser um produto com alta capacidade de retenção de água (Tabela 3), doses mais elevadas do polímero podem

ter causado um acúmulo excessivo de água, prejudicando o crescimento da muda em altura, podendo dificultar a absorção de nutrientes pelo sistema radicular.

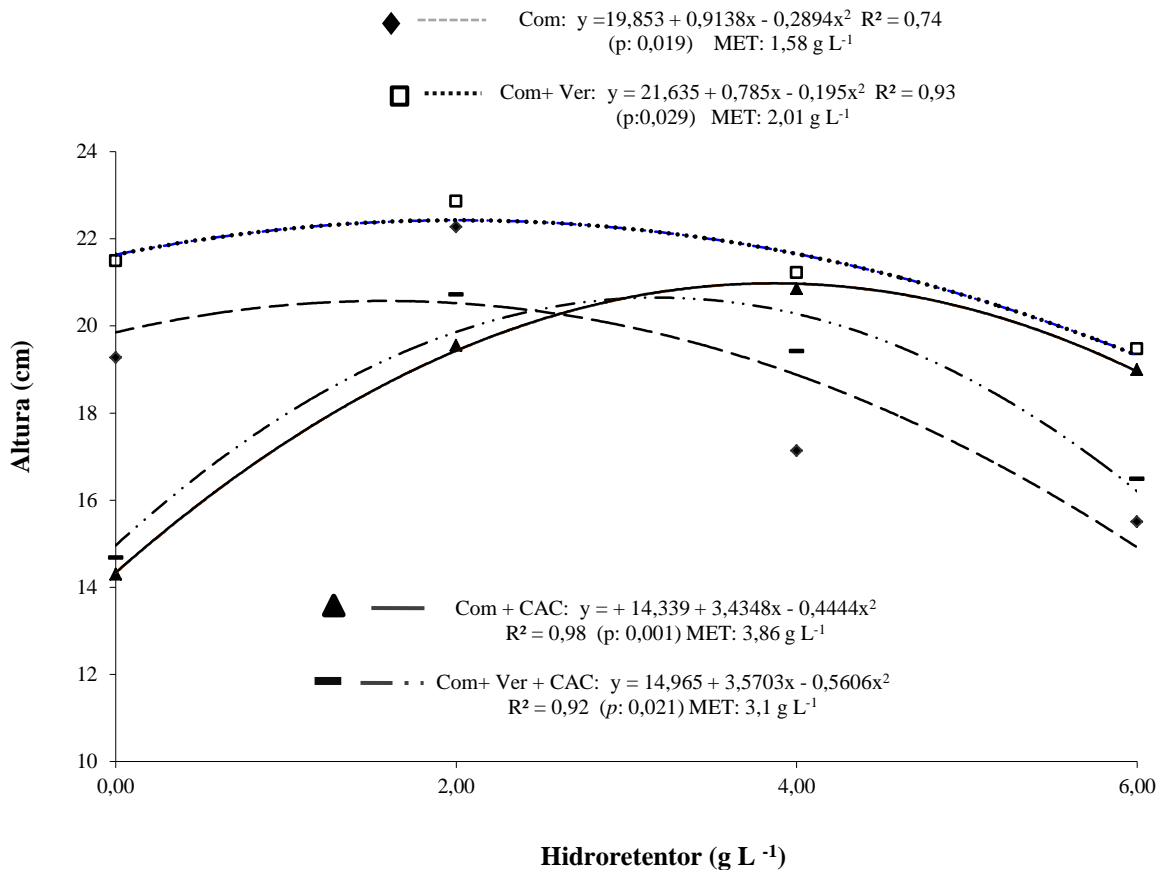


Figura 6 – Altura (cm) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal e diferentes substratos, aos 90 dias após semeadura. Com: Substrato Comercial Carolina Soil®; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil®+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil®+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil®+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

O substrato comercial mais casca de arroz (Com+CAC) propiciou o aumento da altura das mudas quando utilizou-se 3,86 g L⁻¹ do polímero vegetal (Figura 6). A concentração mais elevada (6 g L⁻¹) provocou redução na altura das mudas. O não uso do polímero, neste tipo de substrato, produziu mudas de menor porte. Provavelmente, este fato decorre da perda de água e nutrientes pelo uso da casca de arroz, sendo este um componente do substrato poroso e com menor capacidade de retenção de água (Tabela 3). Estas características são confirmadas por diversos autores (KÄMPF, 2005; FERMINO; BELLÉ, 2000; BACKES et al., 1988) os quais

citam que a casca de arroz carbonizada possui as seguintes características: baixa densidade, pH próximo da neutralidade, baixa salinidade, elevada porosidade, destacando-se pelo elevado espaço de aeração, baixa retenção de água e manutenção da estrutura no decorrer do cultivo.

Justifica-se o uso de casca de arroz devido ao menor custo, entretanto o uso deste material como substrato para mudas florestais, muitas vezes, esbarra na baixa disponibilidade de nutrientes e alta lixiviação. O uso do hidroretentor é uma alternativa viável quando se faz uso deste tipo de material, por possibilitar menor lixiviação de nutrientes e maior retenção de água, o que irá contribuir para a melhoria da qualidade final das mudas. Estas propriedades são reforçadas por Gonçalves et al. (2000), no qual comentam que alguns substratos leves, de baixa densidade, como a casca de arroz carbonizada elevam a macroporosidade das misturas reduzindo a capacidade de retenção de água do substrato.

O uso de casca de arroz carbonizada como componente de substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus* foi justificada em estudo de Lang e Botrel (2008). Para os autores, o uso do substrato composto por 50% de substrato comercial (Plantmax®) e 50% de casca de arroz carbonizada proporcionou melhores resultados na variável altura, diâmetro de coleto, peso da matéria seca da parte aérea e da raiz de mudas de *Eucalyptus grandis*, comparando-se com outras combinações de misturas com de casca de arroz, vermiculita, cama de aviário e substrato comercial (Plantmax®).

Estudando a influência de misturas de substratos e dose de hidrogel na produção de mudas de *Pinus*, Maldonado-Benitez et al. (2011) encontraram maior altura das mudas de *Pinus* com o uso de 4 g L^{-1} do hidrogel utilizando a mistura dos substratos casca de *Pinus* e serragem, sendo este um componente de substrato também considerado de maior aeração, a exemplo da casca de arroz carbonizada. Os autores também descreveram que a obtenção deste substrato não possibilitou grande retenção de água e nutriente, mas com o uso do hidrogel essa característica pode ser alterada, influenciando no bom crescimento das mudas.

Quando utilizada a mistura do substrato comercial e vermiculita expandida, o polímero vegetal não apresentou grande influência em comparação aos demais substratos, sendo que a maior altura foi alcançada com o uso de $2,01 \text{ g L}^{-1}$ do polímero vegetal (Figura 6). No uso da maior dose do hidrogel (6 g L^{-1}) as mudas tiveram menor altura em comparação à ausência do hidroretentor.

Tendo em vista que o substrato comercial misturado a vermiculita expandida apresentou alta capacidade de retenção de água, os resultados indicam que o uso do hidrogel pode ser suprimido, ou utilizado em menor dose (2 g L^{-1}). Os resultados da análise física do

substrato refletem nas características morfológicas, principalmente na redução da altura das mudas com o aumento da dose do hidrogel e utilização do substrato Com+Ver. Em relação ao DC houve pequeno acréscimo com a maior dose do hidrogel.

Segundo Gonçalves et al. (2000), substratos com maior CRA requerem maior rigor de controle de irrigação, com o intuito de evitar o encharcamento, fato que provavelmente tenha ocorrido com as maiores doses do polímero. Substratos com maior CRA possuem, normalmente, menores perdas por lixiviação de nutrientes, podendo, desta forma, produzir mudas com maior altura e diâmetro do coleto (HUETT; MORRIS, 1999). Este comportamento foi verificado em alguns tratamentos deste estudo, onde maiores doses de hidrogel proporcionou incremento em altura das mudas de *Eucalyptus dunnii*.

O excesso de umidade no solo ou substrato pode provocar estresse para as plantas. Esta condição leva a falta de oxigênio para as raízes, o que provoca a morte dos tecidos radiculares por favorece a fermentação láctica e acidose nas células, podendo também levar a redução na absorção de nutrientes e água por falta de energia, ocasionando a diminuição do desenvolvimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O desenvolvimento de qualquer parte da planta está comprovadamente relacionado à disponibilidade de água e nutrientes (LOPES, 2004). A falta de água e nutriente afeta diretamente o crescimento em altura e em diâmetro, reduzindo a expansão celular e a formação da parede celular, influenciando negativamente a produção de reguladores de crescimento (SASSE et al. 1996). Tal implicação foi constatada na utilização de concentrações adequadas do hidroretentor, proporcionando incremento de altura e diâmetro do coleto.

A dose 3,18 g L⁻¹ do polímero vegetal apresentou a maior média de altura das mudas de *Eucalyptus dunnii* na mistura dos componentes - casca de arroz carbonizada e vermiculita expandida - ao substrato comercial (Figura 6). O aumento da dose do hidrogel mostra uma tendência de diminuição de altura das mudas. O não uso do polímero também ocasionou a formação de mudas com altura reduzida.

O diâmetro do coleto para as mudas em substrato comercial apresentou comportamento diferente do obtido para altura (Figura 7). A altura das mudas foi maior em doses intermediárias do hidrogel, já o diâmetro do coleto aumentou conforme as doses do polímero vegetal.

O uso de maior dose do hidroretentor possibilitou maior disponibilidade de água e nutrientes às mudas, principalmente em substratos com alta capacidade de lixiviação e baixa retenção de água, como é o caso da casca de arroz carbonizada. O uso entre 4 a 6 g L⁻¹ do

hidroretentor possibilitou maior diâmetro do coleto para as mudas, proporcionando, desta forma, melhor qualidade. O diâmetro de coleto no uso de substrato comercial + vermiculita expandida também aumentou com a dose de hidroretentor utilizada (Figura 7). Observou-se uma tendência crescente do diâmetro de coleto com o aumento da dose do hidroretentor obtendo-se o maior valor com o uso de 6 g L^{-1} do polímero.

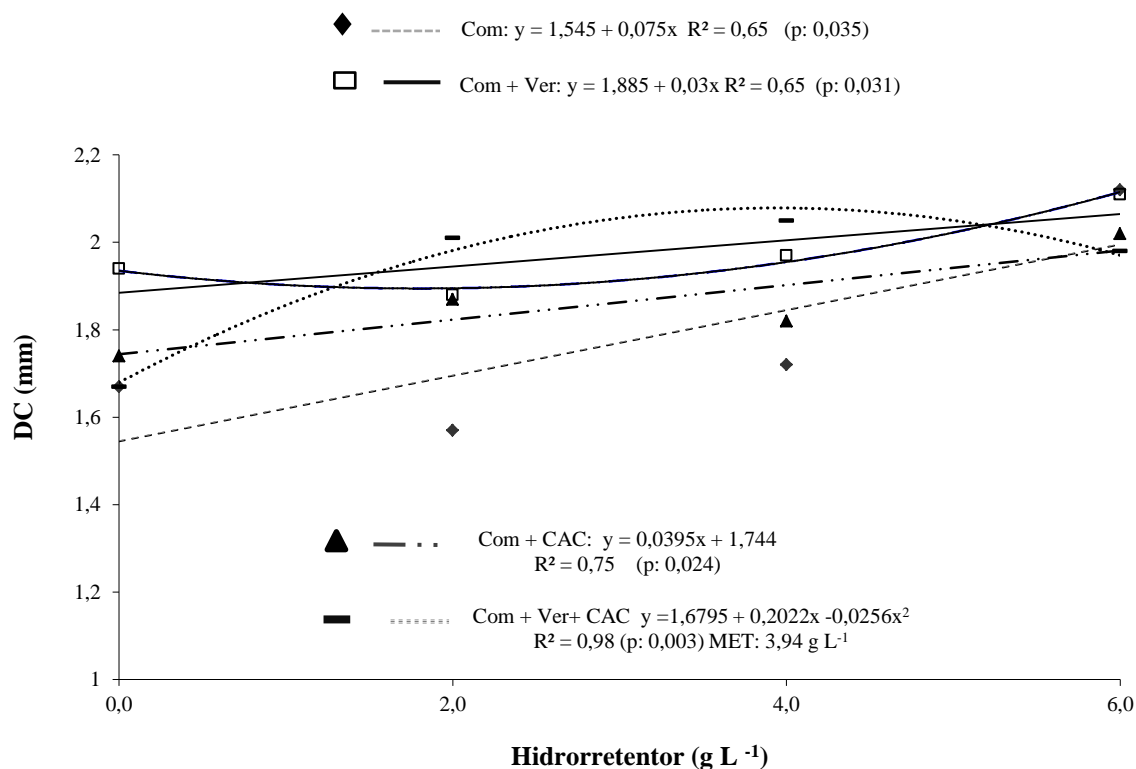


Figura 7 – Diâmetro de coleto (cm) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal e diferentes substratos, aos 90 dias após semeadura. Com: Substrato Comercial Carolina Soil[®]; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil[®]+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

Quanto à relação H/DC no qual houve efeito significativo para o fator substrato (Tabela 6), a mistura dos componentes casca de arroz carbonizada e vermiculita expandida ao substrato comercial teve o menor valor, não diferenciando do substrato comercial. A mistura do substrato comercial + vermiculita e substrato comercial + casca de arroz produziu mudas com relação H/DC maior, ou seja, mudas mais altas e com diâmetro do coleto menor. Segundo Sturion e Antunes (2000), as mudas com baixo diâmetro do coleto e alturas elevadas são consideradas de qualidade inferior às menores e com maior DC.

Tabela 6 – Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes substratos, 90 dias após semeadura. Com: Substrato Comercial Carolina Soil®; Com+Ver: Substrato Comercial Carolina Soil®+Vermiculita expandida média; Com+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil®+Casca de arroz carbonizada; Com+Ver+CAC: Substrato Comercial Carolina Soil®+Vermiculita expandida média+ Casca de arroz carbonizada.

Tratamento	Relação H/DC	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
Com	9,92 b	1,92 b	0,65 c	2,60 b
Com+ Ver	10,95 a	2,50 a	0,90 a	3,39 a
Com + CAC	10,94 a	1,97 b	0,93 a	2,79 b
Com+ Ver +CAC	9,37 b	2,12 a	0,81 b	3,06 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A razão altura da planta/diâmetro do coleto indica a qualidade de mudas a serem levadas ao campo, uma vez que se espera equilíbrio no desenvolvimento. Mudas com menores valores para essa razão são mais resistentes às condições ambientais adversas (CAMPOS; UCHIDA, 2002). Bernardi et al. (2012), pesquisando a influência da adubação em mudas de *Corymbia citridora* com a presença de 6 g L⁻¹ de hidrotentor, encontraram valores de relação H/DC próximos a 7,5, não havendo diferença entre o uso ou não do hidrogel. A pesquisa foi realizada utilizando-se substrato comercial composto por casca de *Pinus*, vermiculita, corretivo de acidez, uréia, sulfato de amônio e superfosfato simples, irrigação diária de 20 mm e adubação de liberação lenta na formulação NPK 19-6-10.

Neste estudo, os valores encontrados para a relação H/DC em todos os tratamentos foram acima do recomendado por Carneiro (1995), o qual cita que a relação H/DC deve-se situar entre os limites 5,4 até 8,1. Trigueiro e Guerrini (2003), em mudas de *Eucalyptus grandis*, também observaram valores de H/DC (~11,0) superiores à faixa recomendada, o que segundo esses autores está relacionado ao maior incremento no crescimento em altura do que em diâmetro e talvez o H/DC indicado para o gênero *Eucalyptus* é maior que o recomendado por Carneiro (1995), o que justifica os resultados obtidos.

Tratamentos com 100% de substrato comercial (Carolina Soil®) e a composição de 35% de casca de arroz carbonizada, 35% de vermiculita e 30% de fibra de coco proporcionaram respostas à altura de mudas, diâmetro do coleto e relação H/DC muito

satisfatórias à produção de mudas de eucalipto, contudo não apresentaram diferença no desenvolvimento das mudas entre os tratamentos (SPERANDIO et al., 2011).

Em estudo utilizando o substrato comercial Multiplant[®], composto por 60% de casca de *Pinus*, 15% de vermiculita e 25% de húmus e terra vegetal, Trigueiro e Guerrini (2003) encontraram resultados semelhantes aos observados neste trabalho, para a altura e diâmetro do coleto de mudas de *Eucalyptus grandis* aos 90 dias após semeadura.

A MSPA (Tabela 5) foi maior com a utilização do substrato Com+Ver e com a mistura dos três componentes. Para a MSR as misturas dos substratos Com+Ver e Com+CAC proporcionaram as maiores média. Com o substrato comercial foram obtidas mudas com a menor massa seca radicular. A MST apresentou resultados semelhantes, sendo que a mistura entre Com + Ver e a mistura dos três compostos proporcionaram os maiores valores.

Os resultados mais satisfatórios das misturas dos componentes, para a maioria das variáveis estão de acordo com o que comentam Wendling e Gatto (2002). Segundo os autores, como a diversidade de substratos é grande, não há um substrato perfeito para todas as condições e espécies. É sempre preferível usar componentes de um substrato em forma de mistura, visto que os mesmos podem apresentar características desejáveis e indesejáveis à planta, quando usados isoladamente.

A mistura do substrato comercial com componentes mais porosos, como a vermiculita e a casca de arroz carbonizada, possibilitaram um melhor enraizamento, o que pode ser benéfico principalmente no momento da implantação a campo. De acordo com Almeida et al. (2005), a maior biomassa de raiz proporciona um melhor desempenho das mudas a campo, pois a probabilidade de sobrevivência da planta será maior, em razão da maior facilidade de sustentação e maior área para absorção de água e nutrientes.

De modo geral, observou-se que o tratamento Com+Ver apresentou as maiores médias para a maioria das variáveis analisadas. Segundo Klein et al. (2002), esses resultados podem ser consequência das alterações nas propriedades físico-hídricas de substratos comerciais, aliados à mistura de vermiculita em diferentes proporções, podendo melhorar a disponibilidade de água às plantas e a porosidade. A inclusão da vermiculita expandida na composição dos substratos aumenta sua capacidade de retenção de água, pois esse mineral absorve até cinco vezes o seu volume em água. Além disso, contém também potássio e magnésio disponíveis e possui elevada capacidade de troca catiônica (FILGUEIRA, 2003).

As mudas de *Eucalyptus dunnii* apresentaram a maior MSPA utilizando-se 3,38 g L⁻¹ do hidroretentor, exibindo tendência de queda com o aumento da dose (Figura 8). Quanto maior a biomassa, melhor a qualidade das mudas, pois representa a biomassa foliar e caulinar,

representando a estrutura aérea da muda apta a realizar fotossíntese e alocar carbono para as diferentes partes da planta.

A menor massa seca da parte aérea foi observada na ausência do hidrogel. Como o experimento foi conduzido sob condição de baixa disponibilidade hídrica (4 mm diários), as plantas submetidas a este tratamento apresentaram, em períodos mais quentes, leves sintomas de murcha. O déficit hídrico provoca a diminuição do crescimento, e conseqüentemente, a diminuição da massa seca da parte aérea. Segundo Boyer (1970) o desenvolvimento e a expansão foliar são muito sensíveis à deficiência hídrica, podendo ser completamente inibida sob níveis moderados de estresse. Taiz e Zeiger (2009) comentam que a expansão foliar é um processo movido pelo turgor e é extremamente sensível ao déficit hídrico.

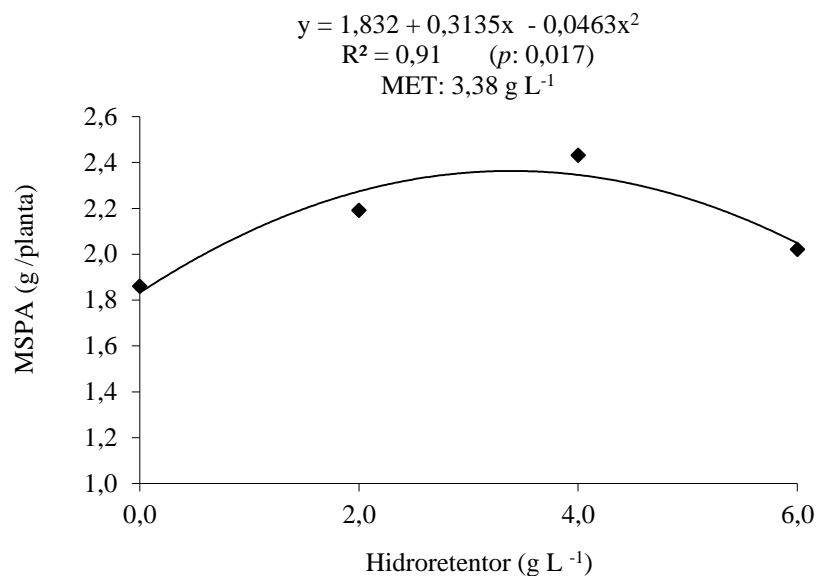


Figura 8 – Massa seca da parte aérea (MSPA) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após sementeira.

O efeito benéfico do hidrogel também foi verificado na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*). Azevedo (2000), estudando a eficiência do hidrogel no fornecimento de água às mudas, constatou que o efeito do polímero sobre as características estudadas (altura de plantas, massa seca da parte aérea e massa seca de plantas) foi significativo, mostrando que a presença do hidrogel no substrato permitiu ampliar os intervalos entre irrigações sem comprometer o crescimento da planta por déficit de água, além de confirmar que quanto menor o fornecimento de água, maior a importância do polímero.

O uso do gel hidroretentor, principalmente na concentração 3,29 g L⁻¹, proporcionou mudas com maiores índices de qualidade de Dickson, o qual apresenta maiores valores de diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, do sistema radicular e total, e menores valores da relação parte aérea/sistema radicular e da relação H/DC mostrando um bom indicativo de qualidade das mudas quando se faz a utilização do polímero, principalmente em doses adequadas (Figura 9).

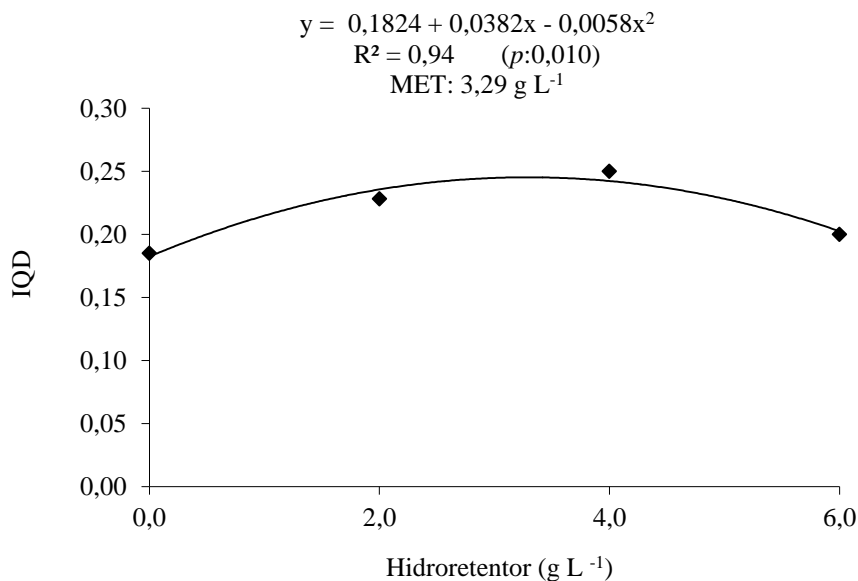


Figura 9 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* utilizando diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.

O Índice de Qualidade de Dickson é um bom indicador da qualidade das mudas, pois em seus cálculos são considerados a robustez e o equilíbrio na distribuição da biomassa de mudas e, dessa forma, pondera os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade. As variáveis morfológicas e os índices utilizados para avaliação da qualidade das mudas podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, para classificação do padrão da qualidade de mudas, desde que sejam empregados em mudas desenvolvidas em condições de ambiente semelhantes (FONSECA, 2002).

Para a maioria das variáveis avaliadas, destacando-se altura, diâmetro de coleto, MSPA e IQD, o uso do hidrogel até certas dosagens é benéfico à qualidade das mudas. Este comportamento é corroborado por Azevedo et al. (2002a) e Peterson (2003) que concluíram que a adição de hidrogel otimiza a disponibilidade de água, reduz as perdas por percolação e

lixiviação de nutrientes e melhora a aeração e drenagem do solo ou substrato, acelerando o desenvolvimento aéreo das plantas. Zonta et al. (2009) comentaram que o aumento da absorção e retenção da água pelo hidrogel tornará a água mais facilmente disponível para as plantas, possibilitando um melhor desenvolvimento inicial destas.

3.6 Conclusões

Com a adição do polímero vegetal houve melhora das características químicas e físicas dos substratos, principalmente as relacionadas à porosidade, água disponível e capacidade de retenção de água.

As dosagens de 2 e 4 g L⁻¹ do hidroretentor apresentaram o melhor crescimento das mudas de *Eucalyptus dunnii*.

O substrato com casca de arroz carbonizada apresenta melhoria das características do substrato e maior crescimento das mudas com a adição do hidrogel, o mesmo não ocorrendo com o uso da vermiculita.

4 CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DO HIDROGEL E DA ADUBAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

4.1 Resumo

A irrigação aliada ao uso de alguns tipos de substratos com baixa capacidade de retenção de água reduz a sua capacidade de reter nutrientes antes que lixiviem e, uma das alternativas pode ser a adição de polímeros hidrorretentores ao substrato que possam contribuir para a absorção dos fertilizantes aplicados e sua lenta liberação. Neste estudo, objetivou-se avaliar se a presença do hidrogel afeta as propriedades físicas e químicas do substrato e a relação do hidrogel com doses de adubação no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. No substrato com presença e ausência do hidrogel foi realizada análise de características químicas e físicas. O experimento de produção de mudas foi conduzido em casa de vegetação sob irrigação reduzida, utilizando delineamento inteiramente casualizado em arranjo bifatorial 2 x 6, em que os níveis do fator “A” referiram-se a presença (6 g L⁻¹) ou ausência do hidrogel (poliacrilamida) e os níveis do fator “B”, às doses do fertilizante de liberação controlada – FLC (0; 25; 50; 75; 100 e 125% da dose usual). Após 90 dias de semeadura foi realizada a avaliação de parâmetros morfológicos das mudas. O uso do hidrogel apresentou melhoria das características físicas e químicas do substrato, principalmente aos atributos que envolvem retenção e disponibilização de água às plantas. Houve interação significativa para a maioria das variáveis analisadas, mostrando que a qualidade das mudas pode ser influenciada pelas dosagens do FLC de maneira distinta, dependendo da presença do hidrogel. Com a adição do hidrogel e aproximadamente 50-75% da adubação convencional, houve aumento da altura, diâmetro de coleto, massa seca, radicular e total, além do índice de qualidade de Dickson. Com o uso do hidrogel e adubação superior a 100% há redução do crescimento das mudas. Já sem a adição do polímero, o melhor desempenho das mudas é obtido com doses superiores a 100% da adubação convencional. Em geral, o uso do polímero permite a redução em, pelo menos, 25% da adubação convencional (6 g L⁻¹), podendo atingir até 50% dependendo da variável observada.

Palavras-chave: Produção de mudas. Fertilizantes de liberação controlada. Polímero hidrorretentor. Economia de fertilizantes.

4.2 Abstract

The irrigation together with the use of some substrates with low water retention capacity reduces its ability to retain nutrients before leaching, and an alternative may be the addition of polymers to the substrate hidretentores that can contribute to the absorption of fertilizers applied and its slow release. This study aimed to evaluate whether the presence of the hydrogel affects the physical and chemical properties of the substrate and the ratio of the hydrogel with fertilization rates in developing seedlings of *Eucalyptus dunnii* Maiden. In the substrate with and without the hydrogel was analyzed for chemical and physical characteristics. The experimental production of seedlings was conducted in a greenhouse under reduced irrigation, using a randomized design in 2×6 factorial arrangement, in which the levels of the factor "A" referred to the presence (6 g L^{-1}) or absence the hydrogel (polyacrylamide), and the levels of the factor "B" , at doses of controlled-release fertilizer - FLC (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the usual dosage). After 90 days of sowing was the evaluation of morphological parameters of seedlings. The use of the hydrogel showed improved physical and chemical characteristics of the substrate, especially the attributes involving water retention and availability of the plants. Significant interaction for most of the variables analyzed, showing that the quality of seedlings can be influenced by the FLC measurements differently, depending on the presence of the hydrogel. With the addition of the hydrogel and approximately 50-75% of conventional fertilization, increased height, diameter collect, dry mass, root and all, in addition to the Dickson quality index. With the use of hydrogel and fertilization over 100% growth decreased seedling. Already without the addition of the polymer, the best performance is obtained from seedlings at doses higher than 100% conventional fertilization. In general, the use of the polymer allows a reduction of at least 25% of the conventional fertilization (6 g L^{-1}), reaching up to 50% depending on the observed variable.

Keywords: Seedling production. Controlled release fertilizers. Polymer hidretentor. Economics of fertilizer.

4.3 Introdução

A produção de mudas sadias e bem desenvolvidas é um fator de extrema importância para qualquer cultura, principalmente, para aquelas que apresentam caráter perene, como é o caso do eucalipto. Quando esta etapa é bem conduzida tem-se uma atividade mais sustentável, com maior produtividade e com menor custo.

Para a produção de mudas de qualidade superior é necessário investigar as técnicas mais adequadas utilizadas em viveiro, as quais corresponderão às maiores taxas de sobrevivência e crescimento inicial no pós-plantio. A demanda por mudas de qualidade e de crescimento rápido tem sido crescente, resultado da tecnologia de produção que está em constante evolução para os reflorestamentos (HAASE, 2008).

A escolha de insumos materiais e técnicas empregadas devem ser planejadas de acordo com o objetivo da produção, espécie a ser propagada e tamanho final da muda, levando-se em conta também aspectos de viabilidade econômica e disponibilidade dos produtos.

A fertilização é uma das práticas mais importantes na produção de mudas, especialmente quando as plantas são produzidas em recipientes com volume limitado, que afeta o seu crescimento (LANDIS, 1989). Essa variável cultural pode acelerar ou diminuir o crescimento da planta, alterar a composição nutritiva dos tecidos, tendo efeitos sobre os níveis de reserva, resistência ao estresse hídrico, frio e doenças, afetando todos os atributos de qualidade de uma muda florestal (OLIET et al., 1999).

A necessidade de adubação decorre do fato de que nem sempre o substrato é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas precisam para um adequado crescimento, principalmente quando é utilizado tubete como recipiente, em função do pequeno volume de substrato utilizado. As características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais das espécies florestais, da fertilidade deste substrato, da compatibilidade dos adubos com o substrato, da eficiência dos adubos e, de fatores de ordem econômica (GONÇALVES, 1995).

A eficiência das adubações depende basicamente das doses e fontes dos adubos utilizados, da capacidade de troca catiônica e das características físicas do substrato (SGARBI et al., 1999), podendo ainda ser influenciada por uso de aditivos, como polímeros hidrotentores (AZEVEDO et al., 2002b; GEESING; SCHMIDHALTER, 2004).

Os polímeros hidrotentores, também chamado de géis hidrotentores ou de hidrogéis são caracterizado pela capacidade de absorver e liberar água e nutrientes solúveis. A

natureza do arranjo das moléculas confere a esse material uma forma granular quando seco e, ao ser hidratado, os grânulos dilatam-se, transformando-se em partículas de gel (PREVEDELLO; BALENA, 2000).

O polímero vem sendo comercializado com as justificativas de que, ao ser incorporado ao substrato, permite maior retenção de água e de fertilizantes, que podem lentamente ser liberados para as plantas em função dos ciclos absorção – liberação. Além disso, segundo Taylor e Halfacre (1986), a adição de hidrogel, em função de sua elevada capacidade de troca catiônica (CTC), reduz a lixiviação de nutrientes.

Tais polímeros devem ser cuidadosamente avaliados, em cada campo de utilização, tendo em vista os efeitos secundários potencialmente adversos que podem estar associados. Em casos de excesso de sais e nutrientes no substrato, a adição do polímero pode ter pouca influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo até se tornar prejudicial (PETERSON, 2003).

O excesso hídrico causa o encharcamento do substrato, dificulta a aeração e as atividades de microrganismos, provoca a lixiviação de nutrientes essenciais, o surgimento de doenças (principalmente fúngicas) e provoca o desperdício do recurso natural. Já o déficit hídrico reduz a capacidade metabólica da planta, podendo levar a mesma a atingir o ponto de murcha permanente, acarretando a sua morte (LIMA, 1999).

Segundo Wu e Liu (2008), nutrientes como nitrogênio e potássio são facilmente perdidos por lixiviação, portanto, somente uma pequena quantidade desses é absorvida pelas plantas. Para suprir essa carência, é necessária a aplicação de doses extras, o que causa enorme desperdício de fertilizante, bem como problemas de poluição ambiental.

Portanto, o fornecimento adequado de água e nutrientes, contribuem, de forma expressiva, tanto no aumento da produtividade como no aumento da produção. Nessa situação, a otimização da eficiência do uso da água e nutrientes é fundamental para ampliar a produtividade e reduzir o custo de produção (FAGERIA, 1998).

Uma opção seria a utilização de hidrogéis como veículos carreadores para liberação controlada, pois liberam água e nutrientes paulatinamente, retardando e, conseqüentemente, diminuindo sua perda no perfil do solo. Essas características podem ser atribuídas ao fato de que a presença de hidrogel pode modificar propriedades físicas adversas do solo, como baixa capacidade de retenção de água e excessiva permeabilidade (SHAVIV, 2001).

A preocupação com o uso de hidrogéis incorporados aos substratos é citada por Bowman et al. (1990), que a justifica pela presença de sais fertilizantes que, de modo geral, é acentuada nos viveiros e, como tal, impede ou limita a capacidade de retenção dos polímeros.

Desta forma, objetivou-se avaliar se a presença do hidrogel afeta as propriedades físicas e químicas do substrato e a relação do hidrogel com doses de adubação no crescimento de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

4.4 Material e métodos

4.4.1 Análise do substrato e hidrogel

A caracterização física e química do substrato comercial (Carolina Soil[®]) utilizado no estudo foi realizada no laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme a instrução normativa nº 17 do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003). Para a realização das análises, foram encaminhadas amostras de 2,5 litros de substrato sem a adubação, sendo uma amostra sem a presença do hidrogel e outra com a presença (6 g L⁻¹).

Dentre os atributos físicos relativos à densidade e umidade do substrato foram avaliadas a densidade úmida (kg m⁻³); densidade seca (kg m⁻³) e a umidade (%). As determinações da porosidade total, do espaço de aeração e da água disponível foram realizadas através do uso de funis de tensão, com 0, 10, 50 e 100 cm de coluna de água, correspondendo às tensões de 0, -10, -50 e -100 hPa. Após os procedimentos laboratoriais, foram obtidas as seguintes variáveis (todas expressas em %):

1. Porosidade total (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0 hPa);
2. Espaço de Aeração (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão -10 hPa;
3. Água Facilmente Disponível (AFD): volume de água encontrado entre -10 e -50hPa;
4. Água Tamponante (AT): volume de água encontrado entre -50 e -100hPa;
5. Água disponível (AD): obtida pela soma de AFD + AT;
6. Água remanescente (AR 100): volume de água que permanece na amostra após ser submetida à tensão de -100 hPa; e

7. Capacidade de Retenção de Água (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão.

Os atributos químicos analisados foram a condutividade elétrica e o pH, com o uso de condutivímetro e potenciômetro (pHmetro), respectivamente. Para ambas as determinações utilizou-se a diluição de 1:5 (v/v), com água deionizada.

Foi também realizada análise de pH, condutividade elétrica e teor total de sais solúveis (TTSS) em amostras de areia lavada com e sem a adição do hidrogel. O pH e a condutividade elétrica foram definidos da mesma forma que o substrato. Já o teor total de sais solúveis (TTSS) das amostras foi determinado através de cálculo considerando a CE (mS cm^{-1}) e a densidade do material, em suspensão areia:água deionizada na proporção de 1:10 (m/v), expressa como teor de KCl (RÖBER; SCHALLER, 1985).

4.4.2 Crescimento inicial de mudas

O estudo foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais ($29^{\circ}43'S$; $53^{\circ}43'W$) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), entre agosto e novembro de 2012. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo 'Cfa' (subtropical úmido), caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18 °C, e do mês mais quente superior a 22 °C, com precipitação média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). Ocorrem na região as quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem entre junho e agosto, e os mais quentes entre dezembro e março.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema bifatorial 2×6 , em que os níveis do fator "A" referiram-se à presença (6 g L^{-1} de substrato) e ausência de hidrogel e os níveis do fator "B", às doses do fertilizante de liberação controlada - FLC- (0 ; $1,5$; 3 ; $4,5$; 6 e $7,5 \text{ g L}^{-1}$ de substrato). A dose 6 g L^{-1} do FLC correspondeu à denominada recomendada, à qual foi indicada por Bernardi et al. (2012). A Tabela 7 mostra a dose do FLC e a respectiva porcentagem em relação à dose recomendada pelos autores. Foram utilizadas 6 repetições, cada uma composta por 24 plantas, sendo posteriormente consideradas para avaliação as 8 plantas centrais de cada parcela.

Tabela 7 – Doses utilizadas do fertilizante de liberação controlada (FLC) e a porcentagem correspondente da adubação convencional (6 g L^{-1}).

FLC (g L^{-1})	Porcentagem correspondente
0	0 %
1,5	25%
3,0	50%
4,5	75%
6,0	100%
7,5	125%

As sementes de *Eucalyptus dunnii* utilizadas são originárias de Área de Produção de Sementes da empresa da qual foi feita a aquisição do material. Conforme os dados fornecidos pela empresa o lote possuía pureza de 90% e porcentagem de germinação média de 80%. Após a aquisição das sementes até a semeadura (aproximadamente 1 ano), as sementes foram acondicionadas em embalagem de plástico semipermeável (90 micras de espessura) e armazenadas em câmara fria ($T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$; $\text{UR} = 85\%$).

Para a instalação do experimento, foram utilizados tubetes com a capacidade de 110 cm^3 . Ao substrato foi realizada a adição do polímero hidrorretentor e da adubação. A adubação de base utilizada foi composta de fertilizante de liberação controlada (FLC) na formulação NPK 18-5-9, revestido por uma resina orgânica semipermeável, sendo utilizada a concentração conforme o tratamento. Segundo as especificações técnicas do fabricante, quando colocado em substrato úmido, a uma temperatura média de $21,1 \text{ }^\circ\text{C}$, a liberação de todos nutrientes ocorre dentro de um prazo de 5 e 6 meses.

O substrato utilizado é de origem comercial (Carolina Soil[®]) composto à base de turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK. As características descritas para o produto, conforme o fabricante são: $\text{pH}=5,0 (\pm 0,5)$; condutividade elétrica= $0,7 (\pm 0,3 \text{ mS cm}^{-1})$; densidade= 101 kg m^{-3} ; capacidade de retenção de água - CRA= 55% e umidade máxima= 60%. A vermiculita expandida de granulometria média possui $\text{pH}= 7,0 (\pm 0,5)$; condutividade elétrica= $0,7 (\pm 0,5 \text{ mS cm}^{-1})$; densidade= 80 kg m^{-3} ; capacidade de retenção de água - CRA= 60% e umidade máxima= 10%.

O polímero comercial (Hydroplan[®]) utilizado correspondeu a um produto misto de copolímero de acrilamida ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$) e acrilato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) usado para absorver e reter grandes quantidades de água e nutrientes, com as seguintes características: pó branco

insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de $0,8 \text{ g cm}^{-3}$ e índice de pH utilizável de 5 a 9, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão), capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume, sendo compatível com a maioria dos insumos utilizados, porém com capacidade de retenção afetada e vida útil que varia de 1 a 5 anos (conforme a granulometria).

Para proporcionar uma mistura homogênea e garantir uma boa distribuição do polímero e do fertilizante ao substrato foi utilizada a porção de 5 litros de substrato a cada mistura.

Após a mistura do polímero e do fertilizante ao substrato, procedeu-se o preenchimento dos tubetes conforme cada tratamento, dispostos nas bandejas e, em seguida submetidos à mesa vibratória por aproximadamente 10 segundos. Buscou-se um preenchimento dos tubetes em aproximadamente 80% do volume máximo possível para evitar derramamento do substrato após a hidratação com o hidrogel devido à expansão das partículas do hidroretentor durante a sua hidratação.

A semeadura foi efetuada colocando-se duas a três sementes em cada recipiente. Para a cobertura das sementes foi utilizada uma fina camada peneirada de vermiculita sem adição do polímero visando cobertura homogênea.

Após a semeadura, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, onde permaneceram até a avaliação do experimento (90 dias). Com 45 dias, procedeu-se o raleio das mudas, permanecendo a mais vigorosa e centralizada no recipiente. Aos 62 dias procedeu-se a diminuição da densidade das mudas na bandeja em 50%, passando da densidade inicial de 400 plantas/m² para 200 plantas/m².

A irrigação foi realizada por uma barra de irrigação composta por aspersores do tipo microaspersão, com uma vazão de 4 mm/dia, acionada por um timer às 8:00 h, às 11:00 h, às 14:00 h e a última às 17:00 h. Optou-se em realizar todo o experimento em casa de vegetação com irrigação reduzida para melhor visualizar os efeitos do gel hidroretentor e as diferentes doses de adubação.

A avaliação das plantas foi efetuada aos 90 dias após a semeadura, através das seguintes variáveis: altura em centímetros (H), diâmetro do colo em milímetros (DC), relação altura/diâmetro do colo (H/DC), massa seca da parte aérea em gramas (MSPA), massa seca radicular em gramas (MSR), massa seca total em gramas (MST). Também foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o qual é determinado em função da altura da parte aérea (H), do diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) que é dada pela soma

da massa seca do colo e das folhas e da massa seca de raízes (MSR), por meio da fórmula (DICKSON et al., 1960):

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

A altura da parte aérea das mudas foi determinada a partir do colo até o lançamento do último par de folhas, utilizando-se uma régua graduada em milímetros. O diâmetro do colo das mudas foi determinado na altura do tubete com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As mudas foram cortadas e separadas em parte aérea e radicular. A parte radicular contendo o substrato foi lavada em água corrente e, com auxílio de peneiras, foi efetuada a separação das raízes. Tanto as raízes quanto a parte aérea foi colocada em estufa com temperatura de 70°C até atingir peso constante, sendo após pesadas em balança de precisão.

4.4.3 Procedimentos estatísticos

Após avaliar a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância. Quando necessário, realizou-se o desdobramento das interações, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott e/ou regressão polinomial a 5% de probabilidade de erro. Para a análise dos atributos do substrato, foi utilizado o teste “t”. No caso de efeito significativo de equações quadráticas, determinou-se o ponto de máxima eficiência técnica (MET). O pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) foi utilizado para a análise dos dados.

4.5 Resultados e discussão

4.5.1 Análise de substrato e hidrogel

A Tabela 8 contém os resultados da análise realizada no substrato comercial (Carolina Soil[®]) na comparação entre a adição ou não do hidrogel. A exceção da Densidade seca (DS), todos os demais atributos analisados apresentaram diferença quanto ao polímero.

Tabela 8 – Análise do substrato comercial (Carolina Soil[®]) na presença e ausência de hidrogel utilizado para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Atributos analisados	Ausência hidrogel (0 g L ⁻¹)	Presença hidrogel (6 g L ⁻¹)
DU (kg m ⁻³)	211,93 b*	237,60 a
DS (kg m ⁻³)	113,62 ^{ns}	110,29 ^{ns}
UA (%)	46,38 b	53,58 a
PT (%)	80,81 b	98,00 a
EA (%)	25,33 a	19,35 b
AD (%)	22,61 b	33,31 a
AFD (%)	19,07 b	28,23 a
AT (%)	3,54 b	5,08 a
AR (%)	32,86 b	45,33 a
CRA10 (%)	55,48 b	78,64 a
CRA50 (%)	36,40 b	50,41 a
CRA100 (%)	32,86 b	45,33 a
pH	4,87 b	6,31 a
CE (mS cm ⁻¹)	0,46 b	0,59 a

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água. CE = condutividade elétrica.
* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste “t” ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A densidade úmida (DU), a umidade atual (UA) e a porosidade total (PT) aumentaram com a adição do hidrogel. O aumento da densidade úmida e da umidade atual é esperado devido à hidratação do hidrogel sob pequena disponibilidade de água já presente no substrato.

O aumento da porosidade total ocorre provavelmente devido à expansão das partículas do polímero, o qual se expande em até 100 vezes e é capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água. Conforme os valores indicados como adequados por Gonçalves e Poggiani (1996), a porosidade total do substrato sem adição do hidrogel encontra-se dentro da faixa considerada adequada, no qual varia entre 75 e 85%. Já com a adição do hidrogel, a porosidade total está acima do adequado, apesar de não haver prejuízo ao desenvolvimento da planta. Segundo Kämpf (2005), a porosidade é de fundamental importância para o crescimento das plantas, visto que a alta concentração de raízes formadas nos recipientes exigem elevado fornecimento de oxigênio e rápida remoção do gás carbônico formado. Para Ferrari (2003), a porosidade deve apresentar um bom equilíbrio entre os microporos que retém água, e os macroporos que retém ar.

Apesar da maior porosidade total, o espaço de aeração ou macroporosidade diminuiu com a adição do hidrogel. Este resultado foi provavelmente causado pelo preenchimento dos maiores poros no substrato com a hidratação do hidrogel. Para ambas as situações, o espaço de aeração está abaixo do considerado ideal por Gonçalves e Poggiani (1996), no qual situa-se na faixa entre 35-45%.

Quanto à água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR) a adição do hidrogel provocou aumento dos níveis em todos os atributos, mostrando que o hidrogel aumenta a disponibilidade de água no substrato. Segundo Abad et al. (1993), em condições ótimas, o substrato ideal deve apresentar entre 20 e 30% de água facilmente disponível (AFD), entre 4 e 10% de água tamponante (AT) e entre 24 e 40% de água disponível (AD) para as plantas. Para todos estes atributos, a presença do hidrogel proporcionou faixa mais adequada em comparação ao substrato sem o hidrogel. Segundo Zanetti et al. (2003), o aumento da disponibilidade de água no substrato pode reduzir a quantidade de água na irrigação, ou a frequência de irrigação.

Para a capacidade de retenção de água, em todas as colunas de sucções avaliadas, houve aumento da retenção com o hidrogel adicionado ao substrato (Figura 10).

Substratos com menor capacidade de retenção de água exigem maior aplicação de água em cada irrigação, ou que seja aumentada a frequência da mesma (WENDLING et al., 2006). Desta forma, substratos com maior capacidade de retenção de água requerem maior controle de irrigação, com o intuito de evitar o encharcamento (GONÇALVES et al., 2000).

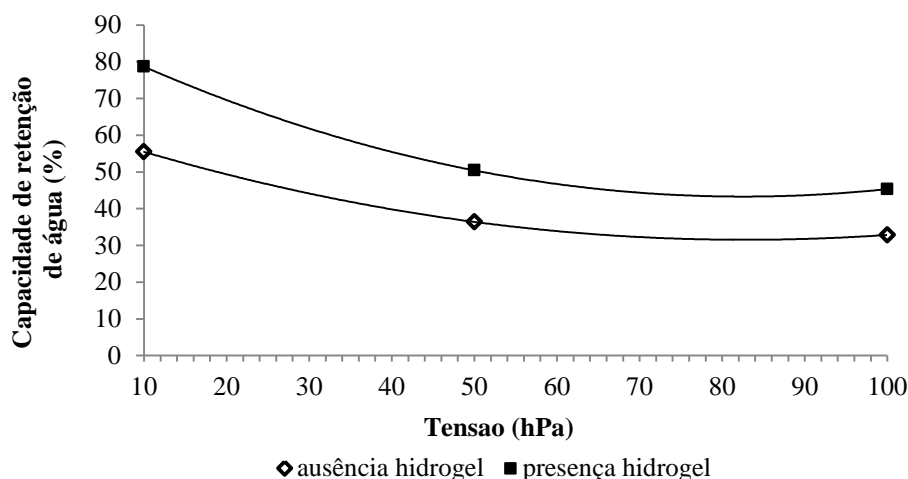


Figura 10 – Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil[®] na presença (6 g L⁻¹) e ausência (0 g L⁻¹) do hidrogel submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa.

Flannery e Busscher (1982), trabalhando com as culturas de *Rhododendron simsii* e *Secale Cereale*, demonstraram que ao adicionar polímero no substrato de cultivo, elevou-se a capacidade de retenção de água desse substrato e grande quantidade dessa água armazenada pelo hidrogel ficou prontamente disponível para as plantas, contribuindo para a diminuição da frequência e quantidade total das irrigações. Essa capacidade de aproveitamento de água do hidrogel pelas plantas está atribuída em função da superfície de contato das raízes com os grânulos de hidrogel hidratado.

Em relação à análise química do substrato, o pH apresentou aumento com a adição do hidrogel, assim como a condutividade elétrica (Tabela 7). O pH encontrado para o substrato com adição do hidrogel está dentro do limite considerado adequado, o qual segundo Gonçalves e Poggiani (1996), para as espécies florestais, varia entre 5,5 e 6,5. Em substratos com pH abaixo de 5,0 pode ocorrer a deficiência de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro, enquanto que em pH acima de 6,5 são esperados deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre (VALERI; CORRADINI, 2000).

O aumento da condutividade é um indicativo da concentração de sais no substrato, segundo Kämpf (2005) é um parâmetro que informa a salinidade do substrato. O aumento da retenção de água e nutrientes pode ser a causa da elevação do teor de sais no meio. Os valores adequados da condutividade elétrica do substrato variam entre espécies, cultivares e clones. Em geral, para as espécies florestais, ela deve estar entre 1,5 a 3,0 mS cm⁻¹. Os resultados encontrados para este substrato estão bem abaixo desta faixa, entretanto valores inferior são menos prejudiciais em comparação a condutividade muito elevada. Segundo Rodrigues

(2002) altos valores de CE, representados por níveis altos de salinidade, podem danificar as raízes e os pêlos radiculares, impedindo a absorção de água e nutrientes, afetando a atividade fisiológica e favorecendo a incidência e a severidade de alguns patógenos.

A elevação desses atributos possivelmente seja em função das características do polímero. A análise de pH das amostras de areia lavada indicam um grande aumento do pH com a adição do hidrogel, passando de 6,02 na ausência do hidrogel para 8,93 na presença de 6 g L⁻¹. A condutividade elétrica (CE) e o teor total de sais solúveis (TTSS) também apresentaram um grande aumento com a adição do hidrogel, a CE variou de 0,01 para 0,243 mS cm⁻¹, já o TTSS de 0,037 para 0,587g L⁻¹.

4.5.2 Crescimento inicial das mudas

A análise de variância dos dados medidos aos 90 dias após semeadura mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p>0,05$) para a relação H/DC (Apêndice 4). O índice de qualidade de Dickson obteve efeito significativo somente para os fatores isolados (hidrogel $p<0,0001$ e dose FLC $p= 0,0069$) (Apêndice 5). Para as demais variáveis avaliadas (H, DC, MSPA, MSR e MST) houve interação ($p<0,05$) entre os fatores (Apêndice 4 e 5).

A altura das mudas de *Eucalyptus dunnii* foi influenciada pela dose de fertilizante utilizada e também pelo gel hidretentor (Figura 11). A presença do hidrogel possibilitou ganho considerável de altura, principalmente nas menores dosagens de adubação. Maior altura das mudas na presença do hidrogel foi obtida com a dose de 3 g L⁻¹ de adubo, o equivalente a 50% da dose convencional. Já na ausência do hidrogel há uma tendência de aumento da altura com o aumento da dose do FLC.

Calculados os pontos de máxima eficiência técnica de ambas as equações, obtiveram-se, respectivamente, para presença e ausência de hidrogel, os valores de 58,8% e 103,9% da dose do fertilizante. Acima desta dose há diminuição da altura das mudas. Observa-se uma tendência de redução da altura no uso do hidrogel quando a adubação chega a 75% da dose convencional. A partir desse ponto houve uma redução no crescimento provavelmente devido ao excesso de adubação, ocasionado pela retenção de nutrientes em função da presença do hidrogel, além do hidrogel provocar o aumento da condutividade elétrica, e conseqüentemente

aumento dos sais. Com a adição da adubação, essa concentração de sais provavelmente cause o excesso.

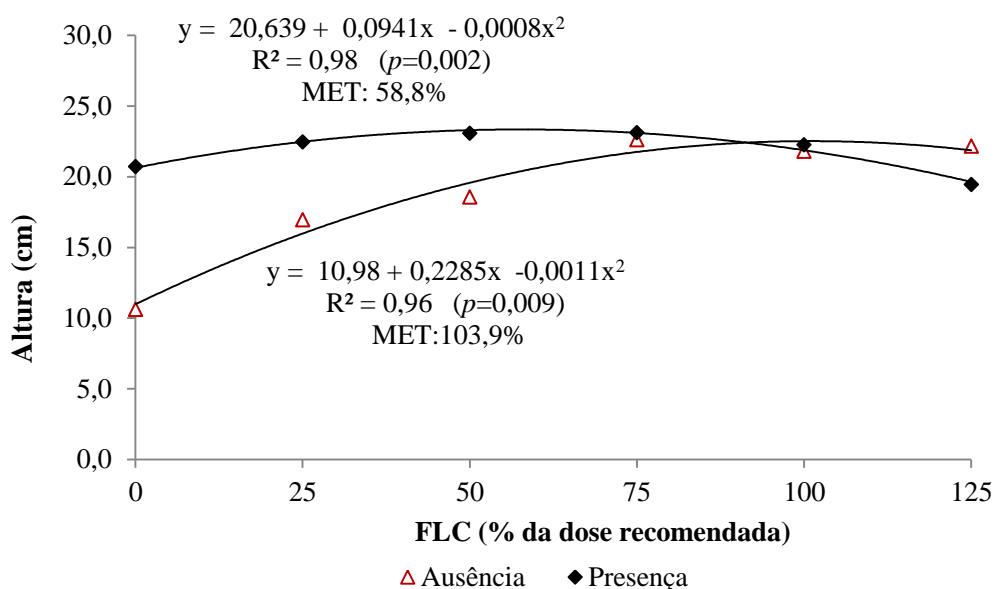


Figura 11 – Altura (H) das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de fertilizante (% da dose recomendada) na presença (6 g L^{-1}) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após semeadura.

Comportamento semelhante ao obtido neste estudo foi descrito por Bernardi et al. (2012), os quais observaram que as mudas de *Corymbia citriodora* tiveram diminuição da altura com o uso superior a 60% da dose usual da adubação (6 g L^{-1}). Esta redução no desenvolvimento das mudas também é abordado por Vichiato et al. (2004b), que destacam que os polímeros hidroretentores também promovem o crescimento da planta quando nutrientes são incorporados a sua matriz, liberando-os às plantas quando necessário. Entretanto, sob certas circunstâncias sua adição tem tido pouca influência na performance das plantas, principalmente quando maiores quantidades de fertilizantes e sais estão presentes, devido a retenção de água, o que pode ocasionar excesso de nutrientes pela diminuição da lixiviação.

Destaca-se que alguns dos maiores valores em relação à altura das mudas ocorreram sob baixas dosagens de adubação quando se fez o uso do hidrogel. Houve bom desempenho em relação à altura inclusive na ausência de adubação, somente com o uso do hidrogel. O substrato utilizado possui uma pequena quantidade de nutrientes incorporados, mas que

normalmente é insuficiente para nutrir as mudas durante todo período de permanência no viveiro, podendo, muitas vezes, ocorrer lixiviação de parte destes nutrientes pela irrigação. Conseqüentemente, exige-se uma adubação de base e, dependendo da espécie, uma adubação de cobertura. Como o hidrogel possui essa capacidade de retenção de nutrientes, como já foi exposto anteriormente, a quantidade de fertilizantes pode ser reduzida.

O uso do hidrogel na ausência de adubação proporcionou um crescimento em altura similar à utilização de 75 – 100% da adubação na ausência do hidrogel, pois o hidrogel também possui a capacidade de liberar mais lentamente os nutrientes conforme a disponibilidade das mudas.

Uma pesquisa envolvendo a capacidade de retenção de nutrientes pelo hidrogel desenvolvida por Liang et al. (2009), abordou o potencial de liberação controlada do fertilizante uréia e compostos de hidrogéis obtidos por poli(ácido acrílico) e proteína de trigo. Os autores observaram que a cinética de liberação de uréia a partir dos hidrogéis em água foi em torno de 60 minutos. No entanto, ao trocar o meio de estudo de água para solo, observaram um prolongamento da cinética de liberação para 10 dias. Tiftonell et al. (2002) verificaram que a adição de polímero ao substrato proporcionou maior precocidade, uniformidade e tamanho de plantas de pimentão, especialmente em solos carentes de nutrientes.

O diâmetro do coleto (DC) apresentou tendência similar em relação à altura, sendo que o DC mais elevado foi obtido na presença do hidrogel, e utilizando-se 57,7% da dose da adubação (Figura 12). Com o acréscimo da adubação, houve uma tendência de diminuição do diâmetro, quando se fez o uso do hidrogel. Já na ausência do hidrogel, o diâmetro do coleto foi aumentando com a dose, sendo observado o maior diâmetro com o uso de 124,5% da adubação.

A exemplo da altura das mudas foi observado um valor maior para o diâmetro do coleto sem a necessidade de adubação, somente fazendo o uso do hidrogel, ou em menores dosagens, como 25 e 50% da adubação convencional.

O diâmetro do coleto é, dentre as variáveis de mais fácil mensuração, a mais promissora para indicar a qualidade das mudas (BINOTTO et al., 2010). Ainda segundo Schmidt-Wogt (1984), o DC possui estreita correlação não somente com a sobrevivência, mas, sobretudo, com o ritmo de crescimento das mudas após o plantio.

Claramente, quando se fez uso do hidrogel, as doses acima do ponto de MET determinaram diminuição no crescimento das mudas, indicando que a possível redução no processo de lixiviação dos nutrientes aplicados, como resultado da atuação do polímero

hidroretentor, levou ao excesso dos elementos no substrato, diminuindo o diâmetro do coleto. Como foi visto na análise do substrato, o hidrogel ocasiona aumento da retenção de água e consequentemente redução da lixiviação dos nutrientes, podendo levar ao excesso. Além disso, a condutividade elétrica na presença do hidrogel aumenta mesmo sem a adição da adubação e, consequentemente o uso de elevada adubação no meio com hidrogel pode causar fitotoxicidade devido ao excesso de sais no substrato.

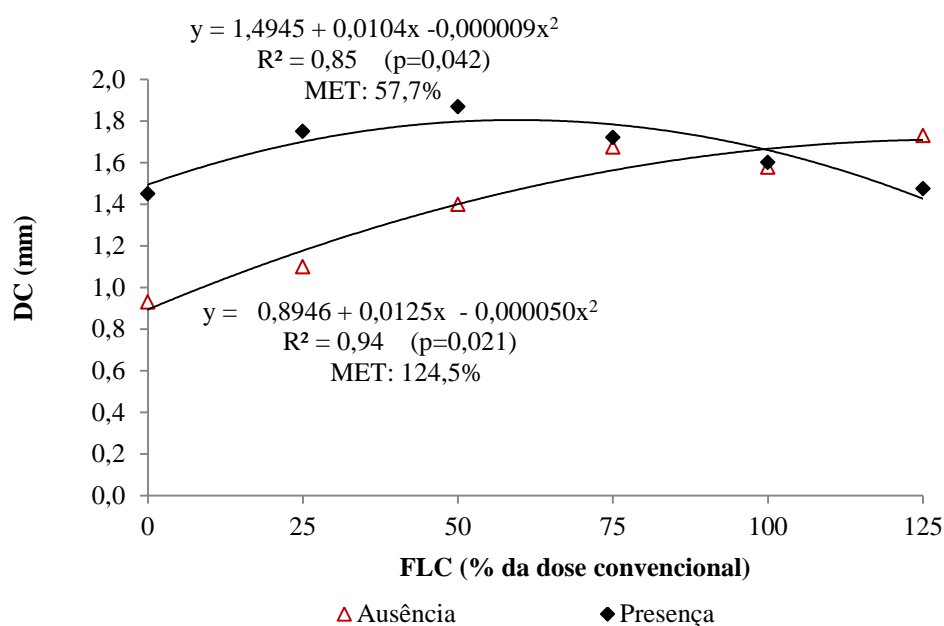


Figura 12– Diâmetro do coleto - DC (mm) das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de fertilizante (% da dose convencional) na presença (6 g L^{-1}) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após sementeira.

As fertilizações acima do máximo estimado podem influenciar de forma negativa no diâmetro do coleto das mudas, havendo comportamento decrescente. Conforme Faquin (2002) é provável que isso ocorra devido ao efeito de excesso de nutrientes, causando toxidez ou deficiência induzida de outro nutriente. Ao se comparar a dose de 125% da dose de FLC com a testemunha, na presença de hidrogel, verificou-se praticamente o mesmo valor para o diâmetro do coleto.

Tendências semelhantes quanto ao diâmetro do coleto de mudas de eucalipto produzidas com hidrogel (6 g L^{-1}) foram encontradas por Bernardi et al. (2012), no qual o diâmetro aumentou de forma progressiva com a adubação até o nível próximo a 60% da adubação, sendo que a dose que resultou no maior valor foi de $1,9 \text{ g L}^{-1}$ de FLC (19-6-10),

que corresponde, respectivamente, a 14,4; 4,6 e 7,6 mg de N, P e K por embalagem de 40 cm³.

Alguns estudos utilizando FLC, sem o uso de hidrogel, mostraram resultados semelhantes a este estudo na produção de mudas de eucalipto. Menegassi et al. (2012) testando diferentes doses de FLC (18-06-12) em *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis* encontraram valores de altura e diâmetro de coleto muito próximos ao encontrado neste trabalho, também em avaliação realizada aos 90 dias após a semeadura. Conforme os autores, a dose de 7,5 g L⁻¹ pode ser recomendada para a formação de mudas de eucalipto, sendo que promoveu os melhores resultados, propiciando mudas com melhor vigor. Moraes Neto et al. (2003a) avaliando estatura de plantas (EP) e diâmetro do coleto (DC), em *Eucalyptus grandis*, obtiveram resultados similares com a utilização de FLC na dose de 6,42 g L⁻¹ de substrato aos 90 dias após a semeadura.

A massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) resultaram em comportamento similar entre as variáveis (Figura 13), obtendo o maior valor com o uso do hidrogel e com adubação entre 50 - 100% da dose convencional. Na ausência do hidrogel a maior massa foi utilizando-se a dose de fertilizante entre 100 - 125%. A MSPA teve grande variação com o uso ou não do hidroretentor, principalmente nas menores dosagens de adubo.

A testemunha (0 g L⁻¹ de adubo), bem como dosagens muito altas de adubo, ocasiona uma diminuição da massa seca. O suprimento insuficiente de nutrientes, ou de algum elemento essencial pode resultar em distúrbios metabólicos na planta, diagnosticados por sintomas de deficiência (TAIZ; ZEIGER, 2009), limitando seu crescimento e desenvolvimento. A disponibilidade total de nutrientes pode variar amplamente dentro de uma faixa adequada, sem efeito perceptível sobre o rendimento de matéria seca, ou seja, após a necessidade da planta ser atendida, uma fertilização maior não resultará em respostas no crescimento, caracterizando-se como “consumo de luxo”, podendo também ocasionar toxicidade (LARCHER, 2006). Estas informações corroboram com os resultados obtidos neste estudo.

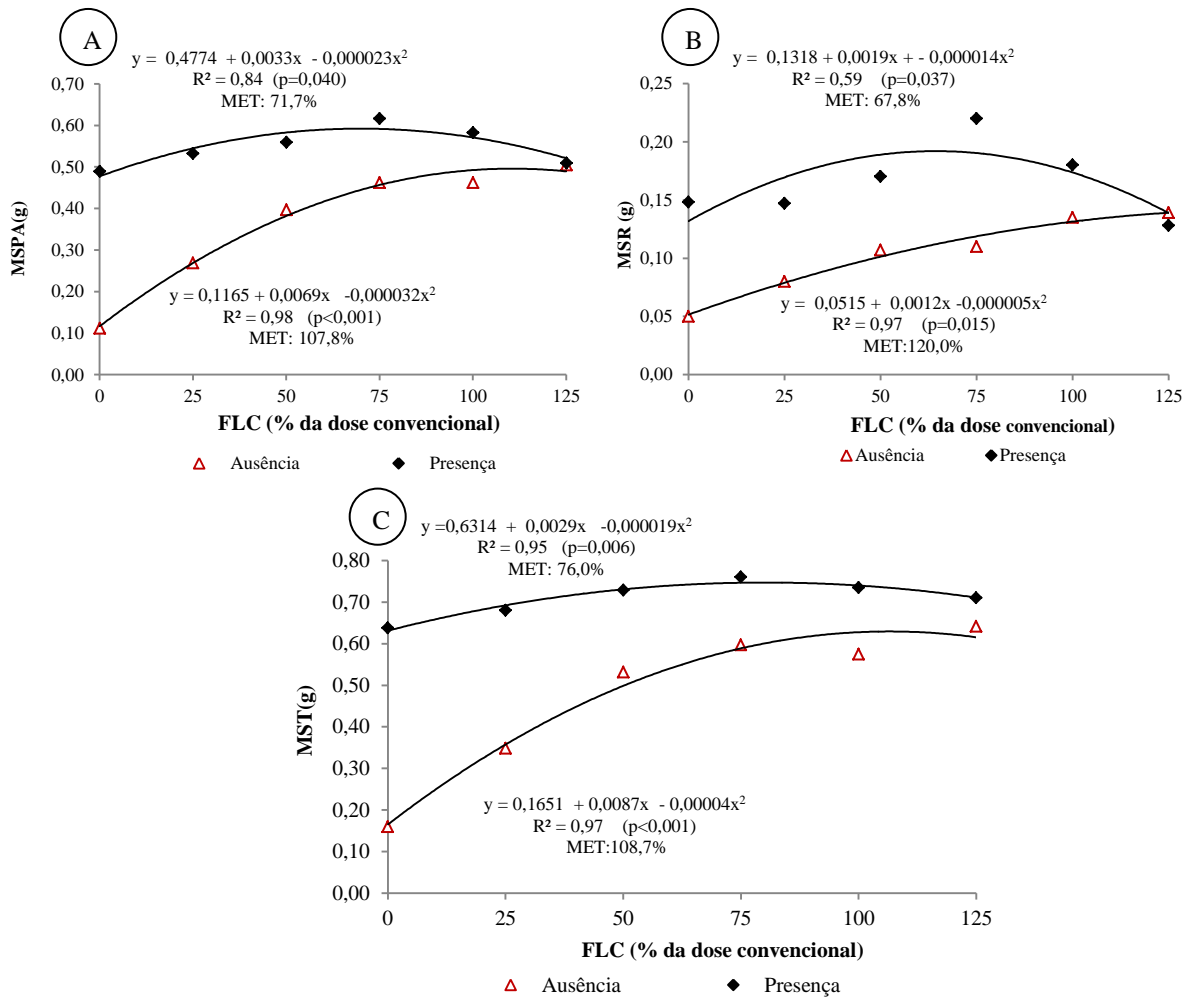


Figura 13 – A - Massa seca da parte aérea - MSPA (g); B - massa seca radicular – MSR (g) e C- massa seca total – MST (g) por planta das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de fertilizante (% da dose convencional) na presença (6 g L^{-1}) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após sementeira.

Estas variáveis também demonstram que o hidrogel possibilita maior desenvolvimento das mudas, principalmente na ausência de adubação ou em menores dosagens. Já dosagens acima de 100% causam diminuição da massa seca, tanto aérea como radicular. Este comportamento benéfico do uso dos hidrogéis, observado nessas variáveis, também é comentado por Azevedo et al. (2002a), em que os autores mencionam que a presença de hidrogéis no solo otimiza a disponibilidade de água, reduz as perdas por percolação e lixiviação de nutrientes e melhora a aeração e drenagem do solo, acelerando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

Em pesquisa envolvendo hidrogel associado a N e K, Sita et al. (2005) abordam o fato de que estudos sobre a interação entre hidrogéis, substratos e fertilizantes são poucos e não

conclusivos, citando a deterioração do gel e a redução da sua capacidade de armazenar água quando na presença de Ca, Mg e formas iônicas de ferro.

Corroborando com os resultados deste estudo, Huttermann et al. (1997), analisando o sistema radicular das plantas de *Pinus halepensis*, verificaram que as mudas plantadas com hidrogel no solo apresentaram maior quantidade de raízes adventícias e com mais ramificações em comparação ao sistema radicular das mudas não plantadas com o hidrogel.

A presença de maior quantidade de raízes também pode ajudar as mudas no período de transplante a campo. Thomas (2008) explicou que o hidrogel melhora a sobrevivência das mudas, pois permite que as raízes das plantas cresçam por dentro dos grânulos do polímero hidratado, com maior superfície de contato entre raízes, água e nutrientes.

Quanto ao índice de qualidade de Dickson, a presença do hidrogel misturado ao substrato ocasionou um valor maior em comparação à sua ausência (Tabela 9). Quanto maior o índice de qualidade de Dickson, maior o diâmetro e a massa seca da parte aérea, indicando melhor grau de qualidade das mudas.

Tabela 9 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função da presença (6 g L^{-1}) e ausência de hidrogel, aos 90 dias após sementeira.

Hidrogel	IQD
Presença	0,042 a*
Ausência	0,028 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste “t” ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Binotto (2007) observou IQD de 0,05 em mudas de *Eucalyptus grandis* aos 120 dias, enquanto que Oliveira Junior (2009) obteve IQD médio de 0,11 em mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em substrato comercial aos 100 dias, indicando, desta forma, que o IQD ideal depende da espécie em questão.

O IQD apresentou um comportamento quadrático (Figura 14), obtendo-se o maior valor com o uso de 75% da dose do fertilizante de liberação controlada, tendendo a aumentar até a dose de máxima eficiência técnica (85,7%). A ausência de adubação e a dose de 25% ocasionaram um baixo IQD e, o uso da dose recomendada (100%) ou superior, indicam uma tendência de queda do índice, ou seja, diminuição da qualidade das mudas.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é um bom parâmetro para avaliar a qualidade de mudas. É mencionado como uma boa medida morfológica integrada (JOHNSON; CLINE, 1991) e apontado como bom indicador da qualidade de mudas, por considerar, para o seu cálculo, a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, sendo ponderados vários parâmetros importantes (FONSECA, 2000). É também uma variável indicada, pois se relaciona com a maioria das variáveis estudadas (GOMES et al., 2002; BINOTTO et al., 2010).

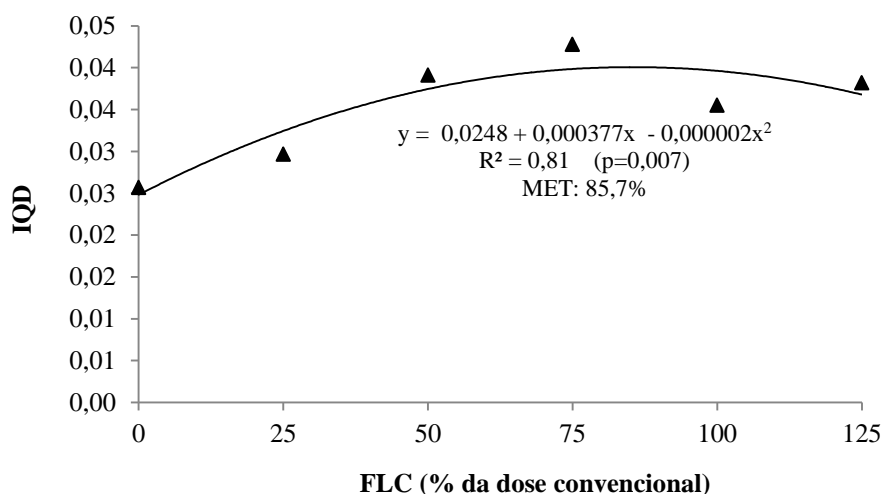


Figura 14– Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de fertilizante (% da dose convencional), aos 90 dias após semeadura.

Em geral, o uso do polímero permite a redução em, pelo menos, 25% da adubação convencional (6 g L^{-1}), podendo atingir até 50% dependendo da variável observada. A tendência de economia de adubo com o uso do hidrogel, produzindo mudas de boa qualidade é corroborada por Cotthem (1998). Segundo o autor, pela capacidade de reter nutrientes, os polímeros contribuem diretamente para a nutrição da planta e podem reduzir o consumo de fertilizantes em 20 a 50% e as ações dos fertilizantes podem ser aumentadas devido às características hidrofílicas e seus grupos funcionais ionizáveis.

4.6 Conclusões

O uso do hidrogel de poliacrilamida apresentou melhoria das características químicas e físicas dos substratos, principalmente aos atributos que envolvem armazenamento e disponibilização de água às plantas.

O uso do polímero hidroretentor na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* pode reduzir o uso de adubação em 25 - 50%, em média, não havendo prejuízo na qualidade das mudas.

5 CAPÍTULO III

DOSES DE HIDROGEL INFLUENCIANDO AS CARACTERÍSTICAS DO SUBSTRATO, CRESCIMENTO E TEOR NUTRICIONAL EM MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

5.1 Resumo

O polímero hidrotentor adicionado ao substrato na produção de mudas de eucaliptos pode auxiliar na retenção de água e nutrientes, podendo desta forma reduzir o consumo de água pelo viveiro e diminuir o uso da adubação. Entretanto o uso deste produto na produção de mudas ainda não é usual e os efeitos da utilização não são conhecidos. Desta maneira, objetivou-se com o trabalho avaliar diferentes dosagens do hidrotentor adicionado ao substrato sobre o crescimento, teor nutricional e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Antes da semeadura foi realizada análise física e química do substrato para cada tratamento. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos, constituídos de concentrações crescentes do hidrogel (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g L⁻¹). Foram utilizadas seis repetições, cada uma composta por 24 plantas, sendo posteriormente consideradas para avaliação as oito plantas centrais de cada parcela. Aos 90 dias após a semeadura foi realizada a avaliação de parâmetros morfológicos das mudas. Realizou-se também a análise nutricional da parte aérea das mudas. De um modo geral, a adição do hidrogel, apresentou melhoria das características físicas e químicas dos substratos, principalmente aos atributos que envolvem armazenamento e disponibilização de água a planta. Em relação à produção de mudas, o polímero hidrotentor em dosagens adequadas pode proporcionar um aumento de características benéficas quanto à qualidade das mudas, sob condições de cultivo específicas. A dose em torno de 4,5 g L⁻¹ ocasiona a melhor resposta quanto às variáveis avaliadas, ocasionando o aumento de altura, diâmetro de coleto, massa seca da parte aérea e radicular e índice de qualidade de Dickson. O uso de dosagens abaixo de 3 g L⁻¹ ou acima de 4,5 g L⁻¹ pode diminuir a qualidade das mudas. Todos os macronutrientes apresentaram maior teor na presença do hidrogel. Os elementos P, K, Ca e Mg obtiveram maior teor na faixa entre 1,5 a 4,5 g L⁻¹ de hidrogel. O teor de N e S aumentou conforme a elevação da dose. Em relação aos micronutrientes, houve decréscimo no teor de todos os elementos com o aumento da dose do polímero.

Palavras-chave: Produção de mudas. Polímero hidrotentor. Retenção de água e nutrientes. Parâmetros morfológicos. Análise nutricional.

5.2 Abstract

The polymer hidroretentor added to the substrate in the production of *Eucalyptus* seedlings can assist in the retention of water and nutrients, thus being able to reduce water consumption by nursery and reduce the use of fertilizer. However, the use of this product in seedling production has not usual and effects of use are not known. Thus, the aim of this work was evaluate different dosages of hidroretentor added to the substrate on the growth, nutrient content and quality of *Eucalyptus dunnii*. Before sowing was performed physical and chemical analysis of the substrate for each treatment. The experiment was conducted in a completely randomized design with six treatments, and increasing concentrations of the hydrogel (0, 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 g L⁻¹). Were six replicates, each consisting of 24 plants, and subsequently considered for assessing the eight central plants of each plot. At 90 days after sowing was evaluated morphological parameters of seedlings. We also conducted a nutritional analysis of the seedlings. In general, the addition of the hydrogel showed improved physical and chemical characteristics of substrates, especially attributes involving storage and delivery of water to plant. Regarding the production of seedlings, the polymer hidroretentor in proper dosages can provide an increase of beneficial features and the quality of seedlings under specific culture conditions. The dosage around 4.5 g L⁻¹ brings the best response for the variables evaluated, increases in height, diameter collect, dry mass of shoots and roots and Dickson quality index. The use of doses below 3 g L⁻¹ or above 4.5 g L⁻¹ can reduce the quality of seedlings. All the nutrients showed higher levels in the presence of the hydrogel. The elements P, K, Ca and Mg had a higher content in the range from 1.5 to 4.5 g L⁻¹ hydrogel. The content of N and S increased with increase in dosage. Regarding micronutrients, there was a decrease in the content of all elements with increasing polymer dosage.

Keywords: Seedling production. Polymer hidroretentor. Retention of water and nutrients. Morphological parameters. Nutritional analysis.

5.3 Introdução

Uma das principais etapas da silvicultura do *Eucalyptus* é a produção de mudas de qualidade, pois dessas depende o desempenho final das plantas no campo de produção. Para

se obter mudas de qualidade, é necessária a utilização de técnicas adequadas de formação e, dentre os fatores importantes, destacam-se as propriedades do substrato, nível de nutrição e disponibilidade de água às mudas.

Uma técnica ainda pouco estudada é a adição de polímeros hidroretentores como condicionadores hídricos de substrato, visando aumentar a capacidade de retenção de água em substratos para mudas, propiciando melhor qualidade (MARQUES; BASTOS, 2010).

Polímeros hidroretentores, ou também chamados de hidrogel ou polímeros retentores de água são produtos naturais (derivados do amido) ou sintéticos (derivados do petróleo) valorizados por sua capacidade de absorver e armazenar água. Quebradiços quando secos, eles se tornam macios e elásticos depois de expandidos em água. Muito embora, exteriormente, um polímero hidroretentor possa parecer semelhante a outro, a sua construção química e sua estrutura física podem ser diferentes, o que afeta a maneira como ele absorverá, reterá e liberará água (MORAES et al., 2001). Capazes de armazenar muitas vezes o próprio peso em água, os polímeros hidroretentores produzem numerosos ciclos de secagem-irrigação, por longo tempo de duração (MELO et al., 2005).

A adição dos polímeros hidroretentores ao solo contribui para a germinação de sementes, desenvolvimento do sistema radicular, crescimento e desenvolvimento das plantas, redução das perdas de água de irrigação por percolação, melhoria na aeração e drenagem do solo além de redução das perdas de nutrientes por lixiviação (HENDERSON; HENSLEY, 1986).

Com a função do polímero em reduzir a perda de umidade e nutrientes incorporados ao meio de cultivo, pode-se melhorar ainda mais o meio em que as plantas irão se desenvolver. Como as plantas absorvem através de suas raízes não apenas água, mas também nutrientes, é interessante saber se esses polímeros são capazes não apenas de reservar e suprir de água, mas também de fertilizantes. Isto poderia aumentar fortemente as possibilidades de aplicação de tais produtos, devido a sua eficiência máxima no uso de fertilizante e minimizar a poluição da água do solo (COTTEM, 1998).

Um fator limitante ao uso desses polímeros é o seu custo, ainda elevado, porém podem ser obtidos resultados positivos com doses baixas; essas pequenas doses podem trazer a melhoria das condições de retenção de água e nutrientes no substrato, propiciando mais uma alternativa na produção de mudas desta espécie, com menores custos (HAFLE et al., 2008).

Apesar das propriedades promissoras que os polímeros hidroretentores apresentam, são necessários estudos para a determinação de seus reais efeitos nas propriedades do solo e comportamento das plantas, buscando-se identificar dosagens adequadas de cada produto.

Justifica-se assim, a realização de experimentos para a confirmação das características favoráveis dos polímeros e obtenção de resultados sobre sua real eficiência no desenvolvimento das plantas (DUSI, 2005).

Os polímeros hidroretentores também podem influenciar na absorção de nutrientes pelas plantas. Uma boa forma para monitorar a fertilização é por meio da análise nutricional foliar, a qual mostra os teores de nutrientes que a planta adquiriu. Por meio de sua análise e controle do crescimento das plantas, é possível identificar quando os nutrientes limitam o crescimento e se estão na disponibilidade ideal ou causando toxicidade no crescimento (JACOBS; LANDIS, 2009).

Diversos fatores afetam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, como o meio de crescimento (substrato), valores de pH, irrigação, salinidade da solução, fonte de nutrientes, umidade, temperatura, associações simbióticas, entre outros, sendo várias destas características modificadas pela adição do hidrogel ao substrato. Assim, se as condições de cultivo são adequadas, sem que ocorram estresses às plantas, a espécie irá responder conforme sua necessidade, de acordo com seu estágio de crescimento.

Objetivou-se com este trabalho avaliar diferentes dosagens do hidroretentor nas características físicas e químicas do substrato e a influência do polímero adicionado ao substrato de plantio no crescimento, teor nutricional e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

5.4 Material e métodos

5.4.1 Análise do substrato e hidrogel

A caracterização física e química do substrato comercial (Carolina Soil[®]) utilizado no estudo foi realizada no laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme a instrução normativa nº 17 do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003). Para a realização das análises, foram encaminhadas amostras de 2,5 litros de substrato, sem adubação de base, retiradas dos tratamentos (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g de gel hidroretentor a cada litro de substrato) utilizados na produção das mudas.

Dentre os atributos físicos relativos à densidade e umidade do substrato foram avaliadas a densidade úmida (kg m^{-3}); densidade seca (kg m^{-3}) e a umidade (%). As determinações da porosidade total, do espaço de aeração e da água disponível foram realizadas através do uso de funis de tensão, com 0, 10, 50 e 100 cm de coluna de água, correspondendo às tensões de 0, -10, -50 e -100 hPa. Após os procedimentos laboratoriais, foram obtidas as seguintes variáveis (todas expressas em %):

1. Porosidade total (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0 hPa);
2. Espaço de Aeração (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão -10 hPa;
3. Água Facilmente Disponível (AFD): volume de água encontrado entre -10 e -50hPa;
4. Água Tamponante (AT): volume de água encontrado entre -50 e -100hPa;
5. Água disponível (AD): obtida pela soma de AFD + AT;
6. Água remanescente (AR 100): volume de água que permanece na amostra após ser submetida à tensão de -100 hPa; e
7. Capacidade de Retenção de Água (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão.

Os atributos químicos analisados foram a condutividade elétrica e o pH, com o uso de condutivímetro e potenciômetro (pHmetro), respectivamente. Para ambas as determinações utilizou-se a diluição de 1:5 (v/v), com água deionizada.

Foi também realizada análise de pH, condutividade elétrica e teor total de sais solúveis (TTSS) em amostras de areia lavada com e sem a adição do hidrogel. O pH e a condutividade elétrica foram definidos da mesma forma que o substrato. Já o teor total de sais solúveis (TTSS) das amostras foi determinado através de cálculo considerando a CE (mS cm^{-1}) e a densidade do material, em suspensão areia:água deionizada na proporção de 1:10 (m/v), expressa como teor de KCl (RÖBER; SCHALLER, 1985).

5.4.2 Produção e crescimento das mudas

O estudo foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais (29°43'S; 53°43'W) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), entre agosto e

novembro de 2012. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo 'Cfa' (subtropical úmido), caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C, e do mês mais quente superior a 22°C, com precipitação média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). Ocorrem na região às quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem entre junho e agosto, e os mais quentes entre dezembro e março.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos, constituídos de concentrações crescentes do polímero hidroretentor (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g de gel hidroretentor a cada litro de substrato). Foram utilizadas seis repetições, cada uma composta por 24 plantas, sendo posteriormente consideradas para avaliação as oito plantas centrais de cada parcela.

As sementes de *Eucalyptus dunnii* utilizadas são originárias de Área de Produção de Sementes da empresa da qual foi feita a aquisição do material. Conforme os dados fornecidos pela empresa o lote possuía pureza de 90% e porcentagem de germinação média de 80%. Após a aquisição das sementes até a semeadura (aproximadamente 1 ano) as sementes foram acondicionadas em embalagem de plástico semipermeável (90 micras de espessura) e armazenadas em câmara fria (T = 8°C; UR= 85%).

Para a instalação do experimento, foram utilizados tubetes com a capacidade de 110 cm³. Ao substrato foi realizada a adição do polímero hidroretentor e da adubação. A adubação de base utilizada foi composta de adubo NPK na quantidade de 0,6 g de nitrogênio - uréia (45% N), 4,0 g de fósforo (45% P₂O₅) e 0,4 g de potássio – K₂SO₄ (45% K₂O) a cada litro de substrato utilizado. A semeadura foi efetuada colocando-se duas a três sementes em cada recipiente. Para a cobertura das sementes foi utilizada uma fina camada peneirada de vermiculita visando cobertura homogênea.

O substrato utilizado foi de origem comercial (Carolina Soil[®]) composto à base de turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK. As características descritas para o produto, conforme o fabricante são: pH=5,0 (± 0,5); condutividade elétrica=0,7 (± 0,3 mS cm⁻¹); densidade=101 kg m³⁻¹; capacidade de retenção de água - CRA= 55% e umidade máxima= 60%. A vermiculita expandida de granulometria média possui pH= 7,0 (±0,5); condutividade elétrica=0,7 (± 0,5 mS cm⁻¹); densidade=80 kg m³; capacidade de retenção de água - CRA= 60% e umidade máxima= 10%.

O polímero comercial (Hydroplan[®]) utilizado correspondeu a um produto misto de copolímero de acrilamida (C₃H₅NO) e acrilato de potássio (K₂S₂O₈) usado para absorver e reter grandes quantidades de água e nutrientes, com as seguintes características: pó branco

insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de $0,8 \text{ g cm}^{-3}$ e índice de pH utilizável de 5 a 9, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão), capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume, sendo compatível com a maioria dos insumos utilizados, porém com capacidade de retenção afetada e vida útil que varia de 1 a 5 anos (conforme a granulometria).

Para proporcionar uma mistura homogênea e garantir uma boa distribuição do polímero e do fertilizante ao substrato foi utilizada a porção de 5 litros de substrato a cada mistura.

Após a mistura do polímero e do adubo, procedeu-se o preenchimento dos tubetes com substrato conforme cada tratamento, dispostos nas bandejas e, em seguida submetidos à mesa vibratória por aproximadamente 10 segundos. Buscou-se um preenchimento dos tubetes em aproximadamente 80% do volume máximo possível para evitar derramamento do substrato após a hidratação com o hidrogel devido à expansão das partículas do hidroretentor durante a sua hidratação.

A semeadura foi efetuada colocando-se duas a três sementes em cada recipiente. Para a cobertura das sementes foi utilizada uma fina camada peneirada de vermiculita sem adição do polímero visando cobertura homogênea.

Após a semeadura, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, onde permaneceram até a avaliação do experimento (90 dias). Com 40 dias, procedeu-se o raleio das mudas, permanecendo a mais vigorosa e centralizada no recipiente. Aos 60 dias procedeu-se a diminuição da densidade das mudas na bandeja em 50%, passando da densidade inicial de 400 plantas/m² para 200 plantas/m².

A irrigação foi realizada por uma barra de irrigação composta por aspersores do tipo microaspersão, com uma vazão de 4 mm/dia, acionada por um timer às 8:00 h, às 11:00 h, às 14:00 h e a última às 17:00 h. Optou-se em realizar todo o experimento em casa de vegetação com irrigação reduzida para melhor visualizar os efeitos do gel hidroretentor e as diferentes doses de adubação.

A avaliação foi efetuada aos 90 dias após a semeadura, através das seguintes variáveis: altura em centímetros (H), diâmetro do colo em milímetros (DC), relação altura/diâmetro do colo (H/DC), massa seca da parte aérea em gramas (MSPA), massa seca radicular em gramas (MSR), massa seca total em gramas (MST). Também foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o qual é determinado em função da altura da parte aérea (H), do diâmetro do

colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) que é dada pela soma da massa seca do colo e das folhas e da massa seca de raízes (MSR), por meio da fórmula (DICKSON et al., 1960):

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

A altura da parte aérea das mudas foi determinada a partir do colo até o lançamento do último par de folhas, utilizando-se uma régua graduada em milímetros. O diâmetro do colo das mudas foi determinado na altura do tubete com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As mudas foram cortadas e separadas em parte aérea e radicular. A parte radicular contendo o substrato foi lavada em água corrente e, com auxílio de peneiras, foi efetuada a separação das raízes. Tanto as raízes quanto a parte aérea foi colocada em estufa com temperatura de 70°C até atingir peso constante, sendo após pesadas em balança de precisão.

5.4.3 Análise nutricional da parte aérea das mudas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Em todas as amostras de tecido vegetal, após a secagem (70°C) e moagem, foi realizada a determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). O nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl (digestão sulfúrica = H₂SO₄ + H₂O₂); fósforo e boro por espectrofotometria de absorção atômica (P por digestão nítrica-perclórica e B por digestão seca); potássio por fotometria de chama; enxofre por turbidimetria; e cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrometria de absorção atômica (todos por digestão nítricapercloreica), seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

5.4.4 Procedimentos estatísticos

Após avaliar a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Quando o valor de “F” foi significativo, os tratamentos quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial. No caso de efeito significativo de equações quadráticas determinou-se a dose de máxima eficiência técnica (MET). O pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) foi utilizado para a análise dos dados.

5.5 Resultados e discussão

5.5.1 Análise do substrato e hidrogel

Em relação à análise química e física do substrato houve efeito significativo ($p < 0,05$) para todos os quesitos, a exceção da densidade seca que não apresentou variação significativa (Anexo 6).

A densidade úmida apresentou um grande aumento com a adição do hidrogel ao substrato (Figura 15A), tendendo a estabilizar com o aumento da dose. Mesma tendência foi observada para a umidade atual (Figura 15B). Já para a porosidade total houve aumento conforme aumentou-se a dose do hidrogel (Figura 15C).

Conforme os valores indicados como adequados por Gonçalves e Poggiani (1996), a porosidade total do substrato sem adição do hidrogel e com adição de $1,5 \text{ g L}^{-1}$ encontra-se dentro da faixa considerada adequada, no qual varia entre 75 e 85%. Com doses superiores a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ do hidrogel, a porosidade total está acima do adequado, apesar de não haver prejuízo ao desenvolvimento da planta conforme Carrijo et al. (2002), no qual afirma que um substrato usado no cultivo de plantas em recipientes pode possuir uma porosidade total acima de 85%.

O espaço de aeração (EA) diminuiu com o aumento da dose do hidrogel (Figura 15D). Provavelmente este efeito deve-se ao preenchimento dos maiores poros no substrato com os grânulos expandidos do polímero com água, principalmente nos macroporos do substrato.

Apesar da diminuição do EA com a adição do hidrogel, os valores encontram-se praticamente dentro da faixa considerada adequada por Grassi Filho; Santos (2004), no qual varia entre 20 a 30%. No entanto, estes valores se aplicam somente a substratos utilizados em sistemas de produção de mudas em recipientes com irrigação esporádica, pois o volume de ar existente no substrato depende de seu teor em água e de sua capacidade de retenção de água (SCHMITZ et al., 2002).

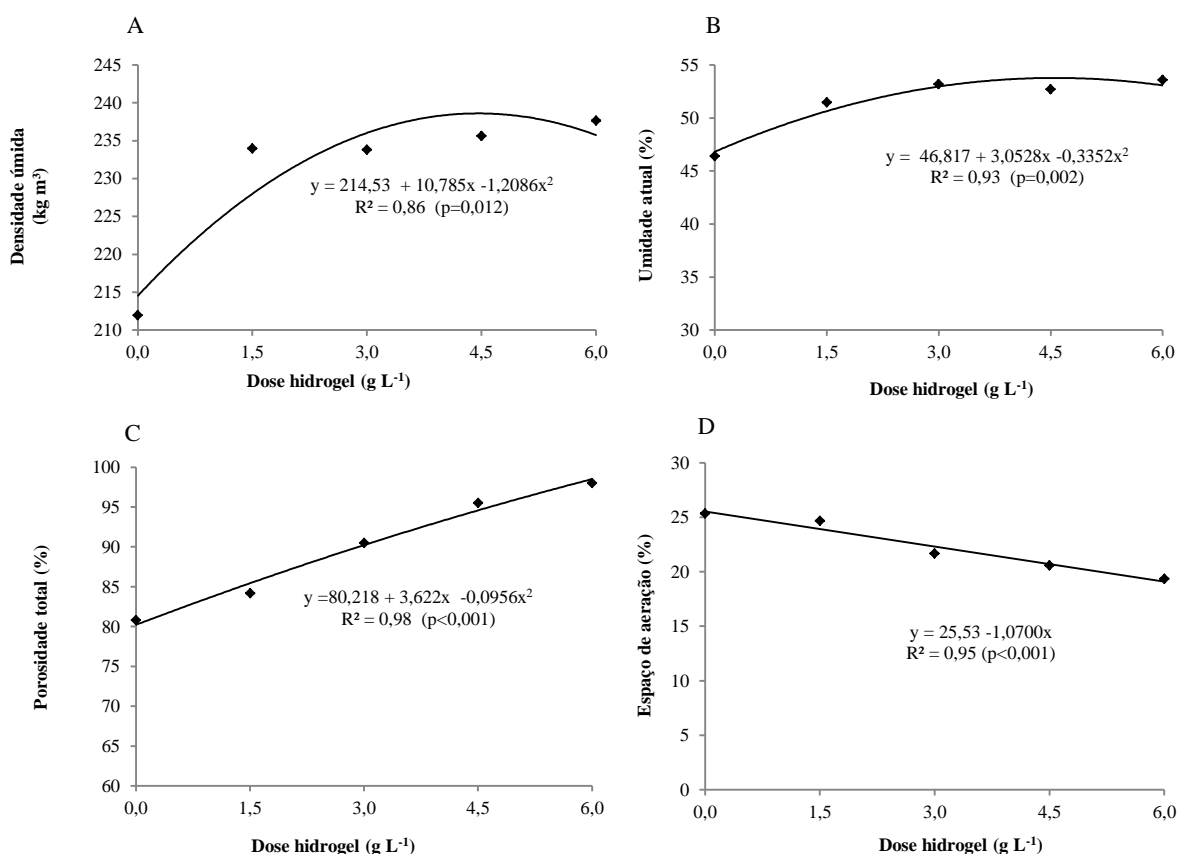


Figura 15 – A - densidade úmida (kg m⁻³); B - umidade atual (%); C - porosidade total (%) e D- espaço de aeração (%) em substrato comercial Carolina Soil[®] em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Em relação à água disponível (AD), água tamponante (AT), água facilmente disponível (AFD) e água remanescente (AR), houve acréscimo nos valores destes atributos conforme o aumento da dose do hidrogel misturado ao substrato (Figura 16).

A adequada disponibilidade de água no substrato é de grande importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois afeta o metabolismo e a fisiologia vegetal. A indisponibilidade acaba acarretando uma fotossíntese deficiente, um estado nutricional

insatisfatório e, conseqüentemente uma baixa produtividade (MANFRON et al., 2005). Desta forma, quanto mais AD maior a eficiência da planta nos processos metabólicos, resultando em maior crescimento.

Segundo De Boodt e Verdonck (1972), os substratos devem apresentar entre 24 a 40% de água disponível, com 20 a 30% facilmente disponível. Em ambos os atributos, a adição do hidrogel, mesmo na menor dose, proporcionou valores dentro desta faixa, sendo que na ausência do polímero, os valores obtidos de AD e AFD estão abaixo deste limite. Segundo Klein et al. (2000), o desenvolvimento das plantas é pleno quando há água facilmente disponível e o importante é mesmo a distribuição dos poros, pois são estes que vão governar a dinâmica da água nos substratos para mudas.

De Boodt et al. (1994), afirmam que água tamponante é a quantidade de água (% do volume) que se libera ao aplicar uma tensão ao substrato de 50 a 100 cm de coluna de água, sendo que um substrato ideal deve apresentar de 4 a 10%. Neste estudo, a partir de $4,5 \text{ g L}^{-1}$ de hidrogel é possível obter a quantidade de água tamponante considerada ideal. O hidrogel pode ser importante para armazenar água no substrato para eventuais períodos de déficit hídrico, liberando esta água. Segundo Verdonck et al. (1981) a água tamponante serve como reserva hídrica para a planta. Esta água, embora possa ser utilizada pelas plantas em caso de estresse hídrico, pode indiretamente exigir um grande gasto de energia (FERMINO, 2002). Entretanto, conforme Gruszynski (2002), a absorção de água pelas plantas depende da espécie, do substrato e da situação de cultivo, podendo muitas vezes a água tamponante ser utilizada pela planta sem maiores gastos energéticos. Segundo Silva et al. (2011), o sinal para a próxima irrigação é dado quando se atinge o valor da água tamponante.

Quanto ao volume de água remanescente, cujo padrão ideal fica na faixa de 25 a 30%, segundo Verdonck; Gabriels (1988), todos os tratamentos estão acima do limite, mesmo sem a adição do hidrogel. Segundo Schmitz et al. (2002), valores muito acima deste limite podem apresentar problemas por excesso de umidade para as raízes de algumas espécies.

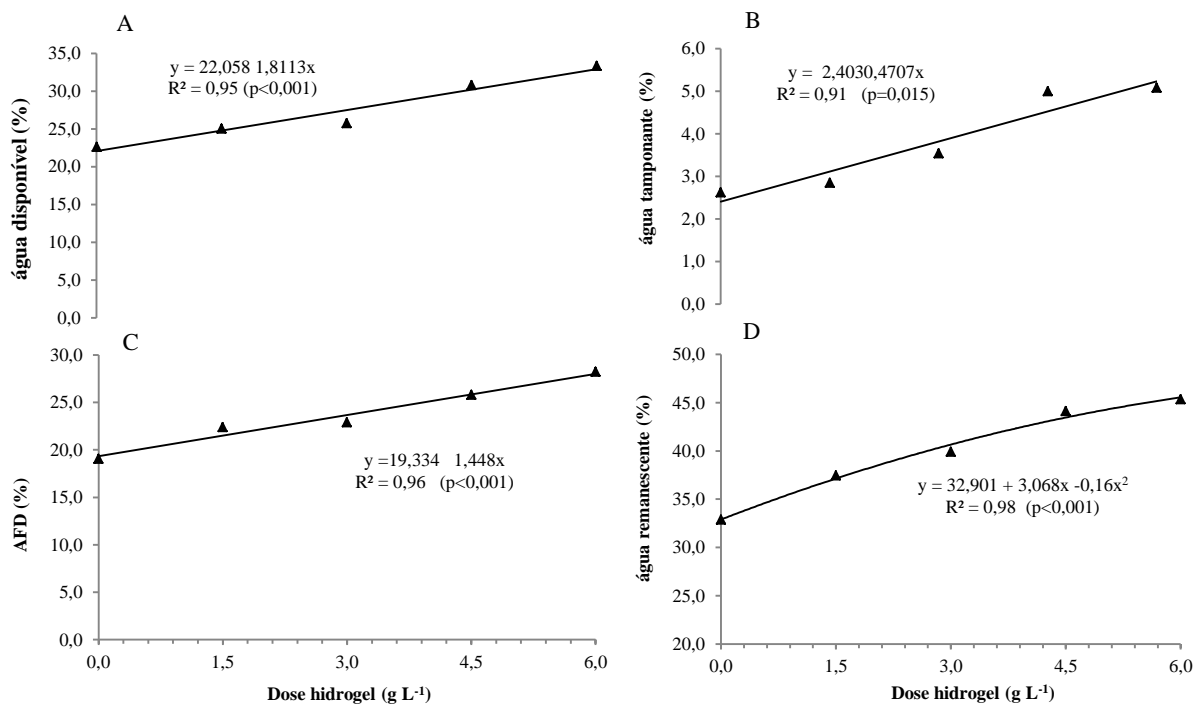


Figura 16 – A - Porcentagem de água disponível (AD); B - água tamponante (AT); C - água facilmente disponível (AFD) e D - água remanescente (AR) em substrato comercial Carolina Soil® em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Em relação à capacidade de retenção de água (CRA), em todas as tensões submetidas, o valor aumentou proporcionalmente com o acréscimo da quantidade de hidrogel adicionado ao substrato (Figura 17). Segundo Fermino (2003), quanto maior o volume de água disponível às plantas a tensões mais baixas, menor será a energia necessária pelas plantas para absorvê-la. Além disso, o conhecimento da capacidade de retenção de água é importante porque permite um manejo racional das plantas em função da quantidade de água disponível.

Se o substrato possui uma baixa capacidade de retenção de água, poderá provocar um estresse hídrico na planta, limitando o fluxo de nutrientes e possibilitando o aumento da concentração de sais no substrato, que poderá exercer um efeito tóxico ou, ainda, a retirada de água da muda formada. No caso de substratos com uma retenção excessiva de água, existirá o problema de acúmulo de CO₂ e a redução da aeração das raízes (SUGUINO, 2006).

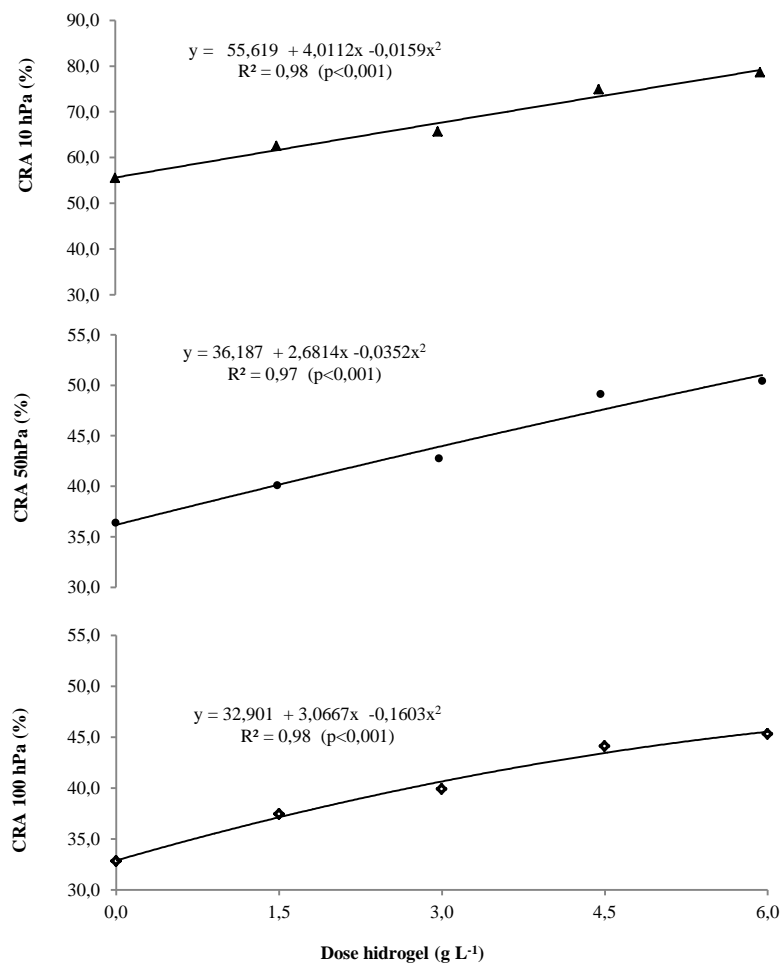


Figura 17 – Capacidade de retenção de água (CRA) do substrato comercial Carolina Soil[®] submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Considerando os padrões estabelecidos por Valeri e Corradini (2000), mesmo sem a adição do hidrogel no substrato a quantidade de água retida em tensões disponíveis para as plantas são categorizadas como acima do nível ideal no qual varia entre 20-30% na tensão 50 hPa.

Analisando que o volume de substrato utilizado na produção de mudas de espécies florestais em tubetes normalmente é reduzido, e a demanda hídrica de *Eucalyptus* é muito grande, valores acima do ideal não chegam a ser problemáticos, entretanto deve-se ter cuidado com o excesso de irrigação, principalmente se utilizadas altas doses do hidrogel. Por outro lado, o uso do hidrogel pode reduzir a quantidade de água necessária para irrigação ou diminuir a frequência de irrigação, visto que aumenta a capacidade de retenção de água com a adição do hidrogel. A manutenção do grau de umidade em níveis adequados é essencial para um bom desenvolvimento das mudas.

Essas informações são muito importantes, pois o bom desenvolvimento das plantas depende do balanço adequado entre o espaço poroso e a disponibilidade de água. Conhecendo-se previamente as propriedades físicas do material a ser utilizado como substrato e assim ser possível utilizar-se de técnicas eficientes para melhorar suas características.

O comportamento das curvas de retenção (Figura 18) demonstra que os hidrogéis podem funcionar como reservatórios de água no substrato. Blainsk et al (2006) atribuem este fato devido ao hidrogel reter água em elevados potenciais matriciais, minimizando as perdas por percolação quando ocorrer aportes de água que superem a capacidade de armazenamento de água do meio.

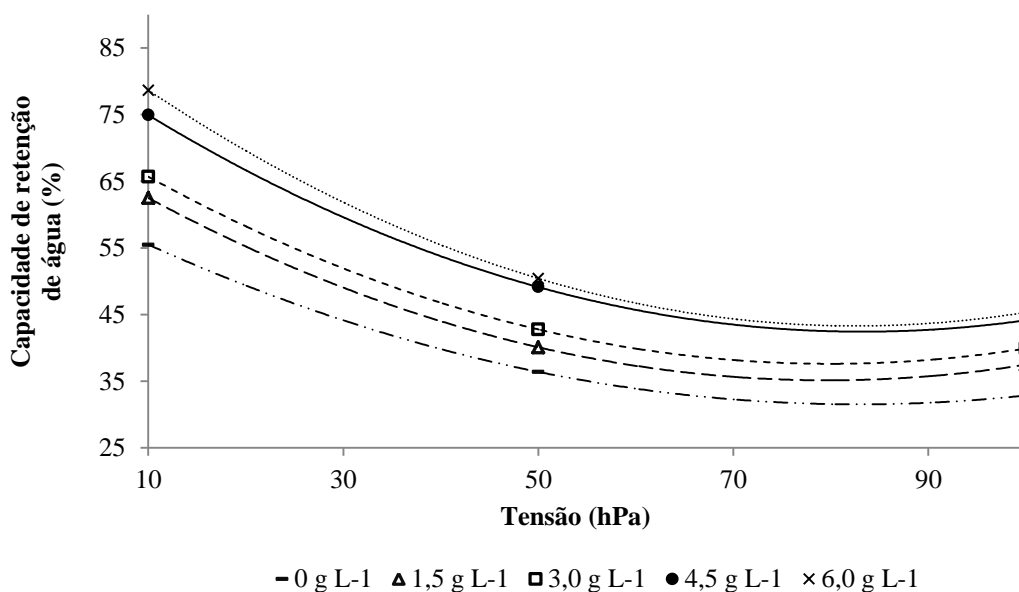


Figura 18 – Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil[®] submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa utilizando-se diferentes dosagens do hidrogel.

A condutividade elétrica (Figura 19A) e o pH (Figura 19B) aumentaram com a dose do hidrogel. A maior dose do hidrogel ocasionou um grande aumento do teor de sais no substrato. Apesar do aumento, os níveis obtidos estão dentro do adequado, no qual segundo Gonçalves et al. (2000), não deve ficar acima de $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$, em determinações realizadas a partir de extrato de diluição de 1:5 (igual a este estudo). Com relação ao pH, também houve aumento com o acréscimo do polímero no substrato.

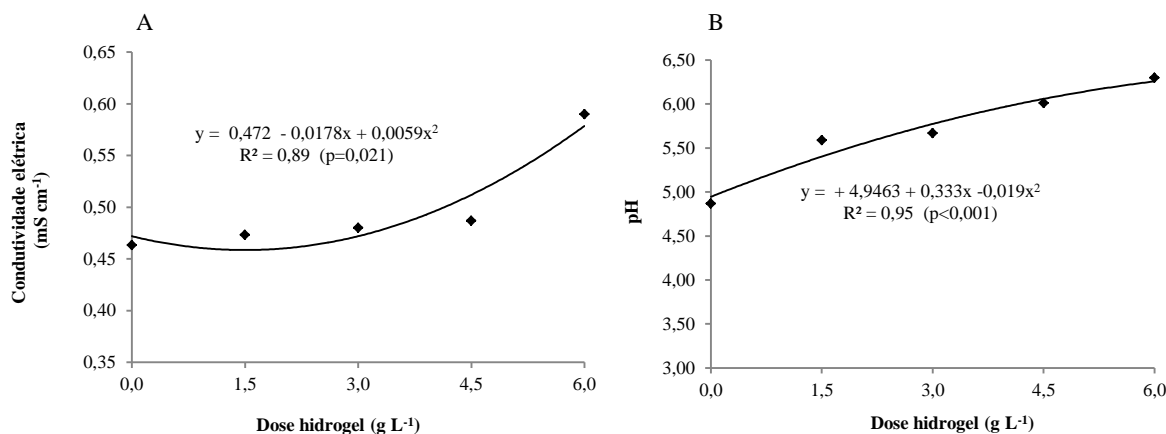


Figura 19 – A - Condutividade elétrica (mS cm⁻¹); B - pH (em H₂O) em substrato comercial Carolina Soil[®] em diferentes dosagens de hidrogel para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Para disponibilidade adequada de nutrientes os valores de pH dos substratos devem se encontrar na faixa de 6,0 a 7,0 (KAMPF, 2000b; SCHMITZ et al., 2002). Para substratos orgânicos, esse valor varia de 5,2 a 5,5, sendo ideal a faixa de pH de 5,5 a 6,5 (WALDEMAR, 2000). Com a adição do hidrogel os valores encontrados encontram-se dentro desta faixa considerada ideal, já sem o hidrogel o valor de pH ficou abaixo desta faixa (4,87).

Vichiato et al. (2004a) afirmaram que a incorporação do hidrorretentor ao substrato de cultivo de porta-enxerto Tangerina Cleópatra promoveu elevação nos valores do pH do substrato. Os autores ainda relatam que essa alteração no pH pode ser decorrente da alteração da capacidade de troca de cátions (CTC) do substrato, proporcionada pelo hidrorretentor adicionado ao mesmo, possivelmente pela maior retenção de cátions básicos. A CTC do hidrorretentor é muito alta quando comparada à maioria dos tipos de solo (MORAIS, 2001).

Os substratos devem apresentar valores adequados de pH e condutividade elétrica (CE), uma vez que o pH, além de influenciar a disponibilidade de nutrientes, está relacionado a desequilíbrios fisiológicos da planta, enquanto alto teor de sais solúveis pode provocar a queima ou necrose das raízes, sendo resultante das condições inerentes do próprio substrato ou do excesso de adubação (BACKES; KÄMPF, 1991; CARNEIRO, 1995).

A condutividade elétrica aumentou provavelmente devido ao acúmulo de sais no substrato pela adição do hidrogel, além do aumento do teor total de sais solúveis (TTSS) ocasionado pela elevação da dose do hidrogel. O hidrogel a base de poliácridamida ocasionou o aumento da condutividade elétrica, pH e TTSS verificado nas amostras de areia lavada com água destilada (Figura 20A e B). A areia lavada sem hidrogel praticamente não apresentou sais nas amostras, entretanto com adição do hidrogel, o teor de sais aumentou de forma

progressiva com o aumento da dose do polímero. A concentração de sais solúveis apresenta este comportamento, pois é altamente influenciada pelo grau de hidratação do meio ((BELLÉ, 1990).

Em relação ao pH (Figura 20C), o aumento da dose provocou a elevação do pH da areia lavada. Esse resultado pode induzir que o hidrogel provoca o aumento do pH quando adicionado ao substrato das mudas.

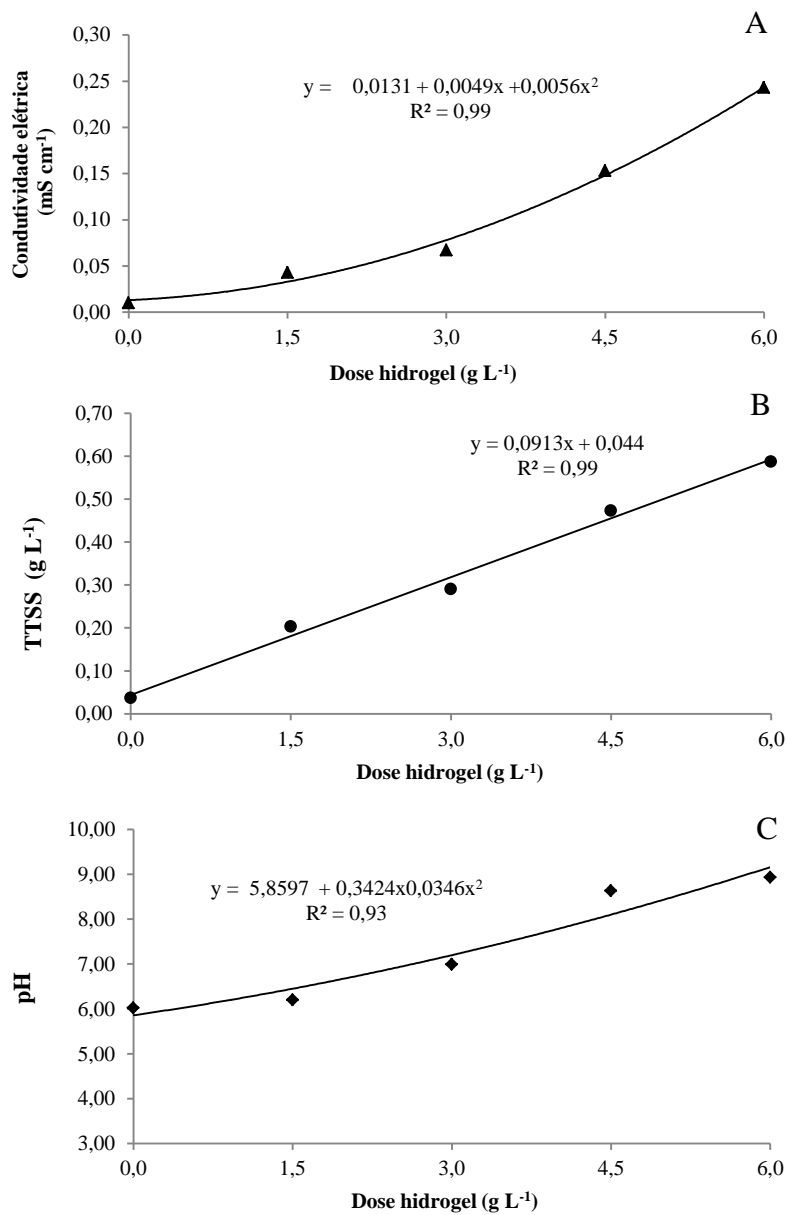


Figura 20 – A - Condutividade elétrica; B - TTSS e C - pH em areia lavada em função da dose do hidrogel a base de poliacrilamida.

5.5.2 Produção e crescimento das mudas

A análise de variância revelou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para todas as variáveis avaliadas, com exceção da relação H/DC (Apêndice 7 e 8).

A altura média das mudas se comportou como uma função quadrática. A dose de 4,5 g L⁻¹ proporcionou o maior valor, aproximando-se de 25 cm, apresentando uma MET em 5,91 g L⁻¹. Em comparação com a ausência do hidrogel é possível visualizar um ganho significativo na altura das mudas, observando-se um aumento de aproximadamente 10 cm quando se fez uso de 4,5 g L⁻¹ do polímero (Figura 21).

A dose do hidrogel de 1,5 g L⁻¹ não apresentou grande modificação na altura das mudas em relação a testemunha. Já o uso de 3,0 g L⁻¹ apresentou comportamento praticamente equivalente a maior dose utilizada. O uso da dose 3,0 g L⁻¹ pode representar diminuição dos gastos, devido a redução no uso do polímero, atingindo resultados similares aos encontrados na maior dose.

As indicações dos produtos comerciais de hidrogel recomendam o uso de 6,0 g L⁻¹, porém, observando-se a altura das mudas, uma diminuição desta quantidade é possível e recomendada, entretanto, este comportamento pode ser alterado com o uso de diferentes substratos, ambientes e níveis de irrigação. No caso desta pesquisa, optou-se em manter sob irrigação constante de 4 mm diários com o objetivo de diminuir as variações.

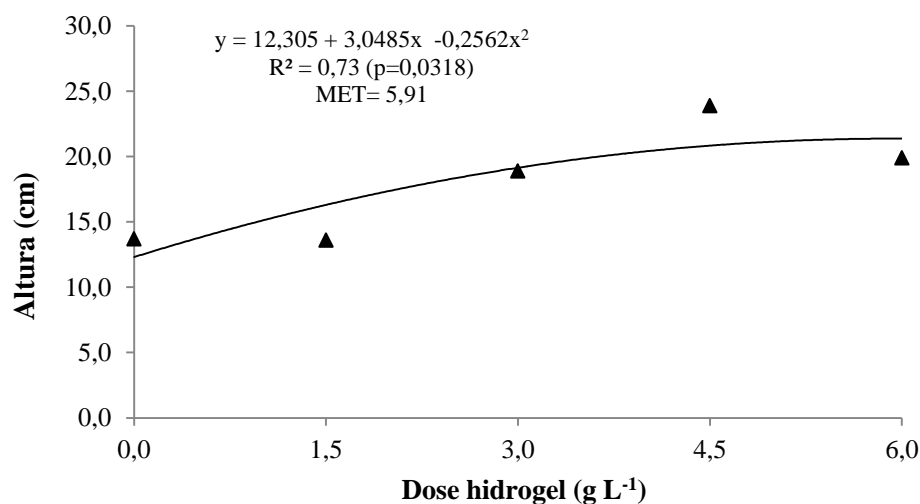


Figura 21 – Altura (cm) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso de diferentes doses de polímero hidrotentor aos 90 dias após sementeira.

Nem sempre maior altura pode significar melhor qualidade, já que mudas muito altas podem comprometer o reflorestamento por tombarem com mais facilidade, apresentarem menor taxa de crescimento e menor índice de sobrevivência no campo (ARAÚJO, 2009). Dessa forma, o diâmetro do coleto também deve ser maior nas mudas que tem maior altura, para não haver este problema de tombamento. Neste estudo as mudas com maior altura do tratamento com $4,5 \text{ g L}^{-1}$ possuem boa qualidade, pois a variável diâmetro de coleto também apresentou resultados superiores para este tratamento (Figura 22).

Em relação ao diâmetro de coleto, a dose usual de 6 g L^{-1} alcançou resultado inferior nas duas variáveis em comparação à dose de $4,5 \text{ g L}^{-1}$. A diminuição da altura e diâmetro de coleto, com o uso da maior dose do hidrotentor, pode ser devido ao excesso de água e nutrientes armazenados no substrato, podendo ocasionar a diminuição do crescimento. Como foi visto na análise do substrato a adição de altas doses do hidrogel aumenta a retenção de água, principalmente em relação à água remanescente que, quando em excesso pode reduzir a aeração das raízes.

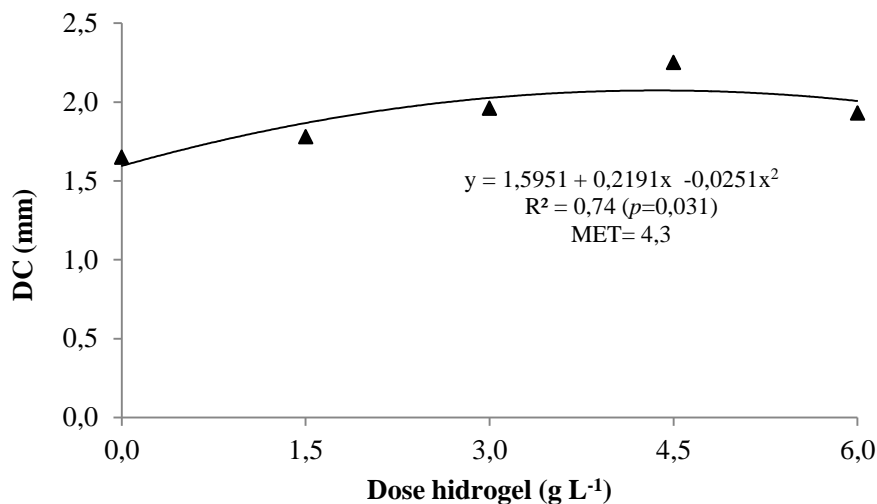


Figura 22 – Diâmetro de coleto – DC (mm) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso de diferentes doses de polímero hidrotentor aos 90 dias após semeadura.

Além disso, o substrato comercial utilizado possui componentes como a turfa de Sphagno e a vermiculita expandida que são materiais com alta capacidade de retenção de água (KÄMPF, 2005; WENDLING; GATTO, 2002) o que pode provocar o excesso de água e nutrientes no meio de cultivo com maiores dosagens do hidrogel. Desta forma, a utilização de

componentes com menor capacidade de retenção de água na composição dos substratos, como a casca de arroz carbonizada, pode modificar o comportamento das variáveis avaliadas conforme a dose do hidrogel.

A não utilização do hidrogel no substrato ocasionou um menor diâmetro de coleto nas mudas de *Eucalyptus dunnii*, sendo observada uma elevação do DC com o aumento da dose do hidrogel até $4,3 \text{ g L}^{-1}$, ponto no qual há uma tendência de diminuição do DC, e também o ponto que reflete na máxima eficiência do hidroretentor.

O uso de diâmetro de coleto como uma medida de qualidade das mudas é baseado principalmente por ser um parâmetro de fácil mensuração e principalmente por ser um parâmetro não destrutivo, sendo considerado por muitos pesquisadores um dos mais importantes itens para se estimar a sobrevivência de diferentes espécies florestais logo após o plantio (GOMES et al., 2002).

Benincasa e Leite (2004) descreveram que o aumento do diâmetro do coleto pode resultar de uma menor atividade das giberilinas, acompanhado por uma menor altura. É importante observar também que o diâmetro de coleto é variável em função do espaçamento das mudas nas bandejas. Deve-se proporcionar um espaço adequado para o crescimento de cada planta, dessa forma a diminuição da porcentagem de preenchimento das bandejas, ou seja, maior alternagem de recipientes nas bandejas. Com o passar do tempo e com o desenvolvimento das mudas é fundamental que não ocorra o estiolamento das mudas, resultando em problemas de sobrevivência no pós-plantio.

O tempo de manutenção das mudas de *Eucalyptus* na fase de viveiro pode variar de 90 a 120 dias dependendo das condições de cultivo, espécie e fatores ambientais como temperatura e umidade (GOMES et al., 2003). Neste estudo, utilizando a dose de $4,5 \text{ g L}^{-1}$ de hidrogel é possível obter mudas com altura e diâmetro de coleto adequados para o plantio em apenas 90 dias, de acordo com o tamanho desejado por empresas e recomendado por alguns trabalhos científicos.

Neste sentido, trabalhando com produção de mudas de diversas espécies florestais, Sturion et al. (2000) recomendaram a retirada de mudas de eucalipto da casa de vegetação quando estas atingirem em torno de 15 a 25 cm de altura e diâmetro do coleto de 2,5 mm. De acordo com Gomes et al. (1996), as características nas quais as empresas florestais se fundamentam para a classificação das mudas de eucaliptos, na retirada destas da casa de vegetação, são baseadas nos parâmetros de altura média entre 15 e 30 cm e diâmetro do coleto de 2 mm.

Em relação à massa seca da parte aérea (MSPA) há uma grande variação entre os tratamentos, com tendência de aumento da massa de forma progressiva até a dose de MET (4,9 g L⁻¹) e uma tendência de queda relativamente acentuada com o uso da dose 6,0 g L⁻¹. Com o uso da dose 0 e 1,5 g L⁻¹ as plantas cultivadas apresentaram menores médias de massa seca da parte aérea das mudas, em relação às demais, afetando seu desenvolvimento, fato que foi comprovado pela diminuição da altura e diâmetro de coleto quando se fez o uso destes tratamentos (Figura 23).

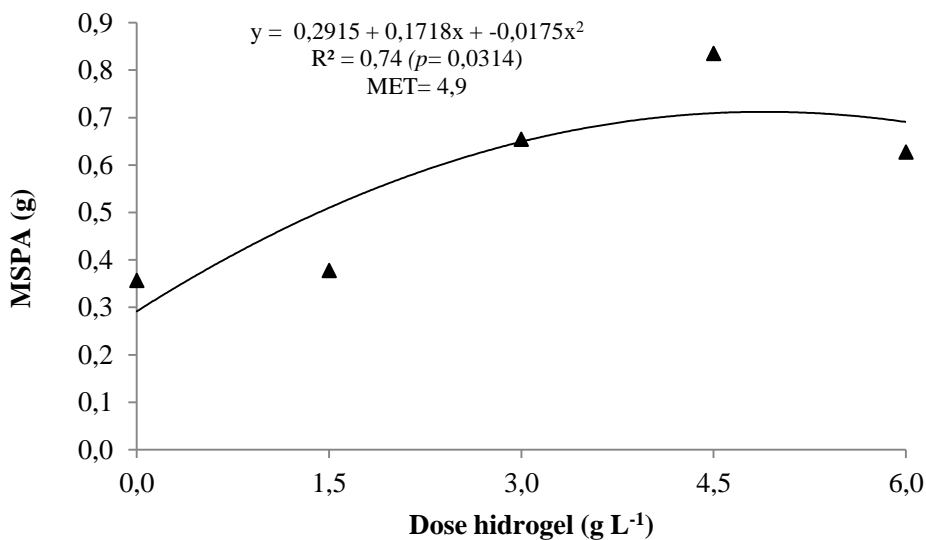


Figura 23 – Massa seca da parte aérea (g) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso de diferentes doses de polímero hidrorretentor aos 90 dias após semeadura.

O uso de doses mais baixas do hidrogel, principalmente 1,5 g L⁻¹, praticamente não apresenta ganho de MSPA. Com o aumento da dose há um ganho expressivo de massa seca em comparação com a ausência de hidrogel ou o uso de doses muito baixas. A maior eficiência foi obtida com a dose 4,9 g L⁻¹, alcançando a máxima massa seca da parte aérea, sendo que o uso superior a esta dose ocasiona diminuição de massa seca e também aumento do custo com o polímero.

Para a massa seca radicular (MSR) o comportamento foi relativamente diferente em relação às demais variáveis, neste caso, embora haja uma tendência de estabilização, o maior valor de massa seca radicular foi obtido com o uso da dose 5,6 g L⁻¹ do hidrogel. Observou-se uma tendência de aumento da massa seca com o aumento da dose do hidrogel (Figura 24). Mesmo a menor dose do hidrogel foi responsável por uma maior formação de raízes, diferente

das outras variáveis, em que nesta dose não foi observado nenhum ou baixo ganho em comparação com a ausência do hidroretentor.

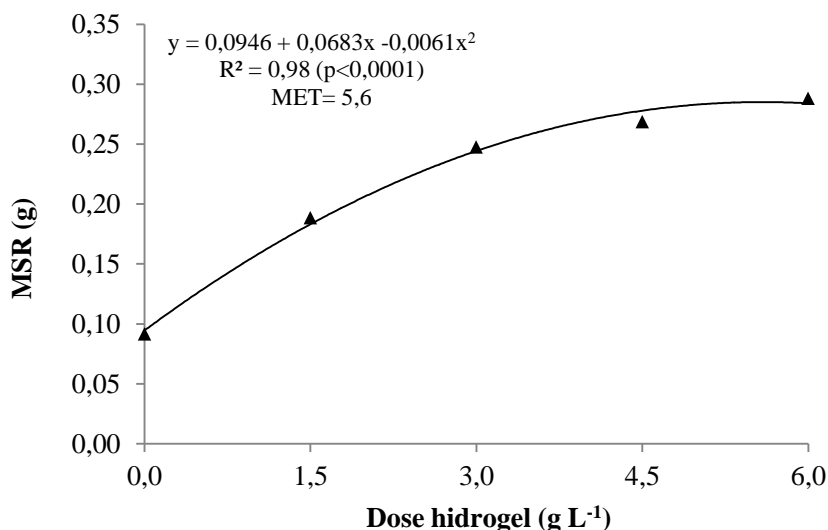


Figura 24 – Massa seca radicular (g) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.

A massa seca de raízes apresenta boa resposta ao uso do hidrogel. Esta variável apresenta alta importância no desenvolvimento das plantas. Planta bem enraizadas apresentam maior capacidade de crescimento e maior potencial de sobrevivência a campo. A maior dose do hidrogel proporcionou maior massa de raízes provavelmente devido a maior disponibilidade de água e de nutrientes, entretanto, isto não refletiu no aumento de outras variáveis como altura, diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea.

A importância desta variável é também comentada por outros autores. Claussen (1996) afirmou que para uma mesma espécie, indivíduos com sistemas radiculares mais desenvolvidos têm maior capacidade de aclimação que aqueles com sistemas radiculares reduzidos. Essa afirmação é corroborada por Campos e Uchida (2002), que descrevem que tais plantas têm maiores chances de sobrevivência no campo. Segundo Haase (2008), mudas que apresentam maior biomassa radicular tendem a sobreviver melhor do que aquelas que possuem biomassa radicular inferior, principalmente nas primeiras semanas, quando as condições adversas podem comprometer a sua sobrevivência.

A massa seca total (MST) apresentou comportamento semelhante às outras variáveis (Figura 25), com exceção da massa seca radicular. Novamente a dose 4,5 g L⁻¹ apresentou o

maior valor. Como a massa seca da parte aérea representa maior porcentagem da massa seca total, obteve-se um comportamento muito similar. A maior diferença foi observada na dose de 1,5 g L⁻¹ no qual a massa seca da parte aérea não apresentou ampla diferença (17,9% a mais de MST) da ausência do hidrogel. Já a massa seca radicular foi maior com o uso de 1,5 g L⁻¹ em comparação a dose 0 g L⁻¹.

De acordo com Engel e Poggiani (1990), a produção de matéria seca total é reflexo direto da fotossíntese líquida total que permite avaliar o crescimento da planta. Para Ferreira (1977), a produção de matéria seca é o melhor índice de crescimento e pode ser útil para avaliar as condições relativas de desenvolvimento pelas espécies.

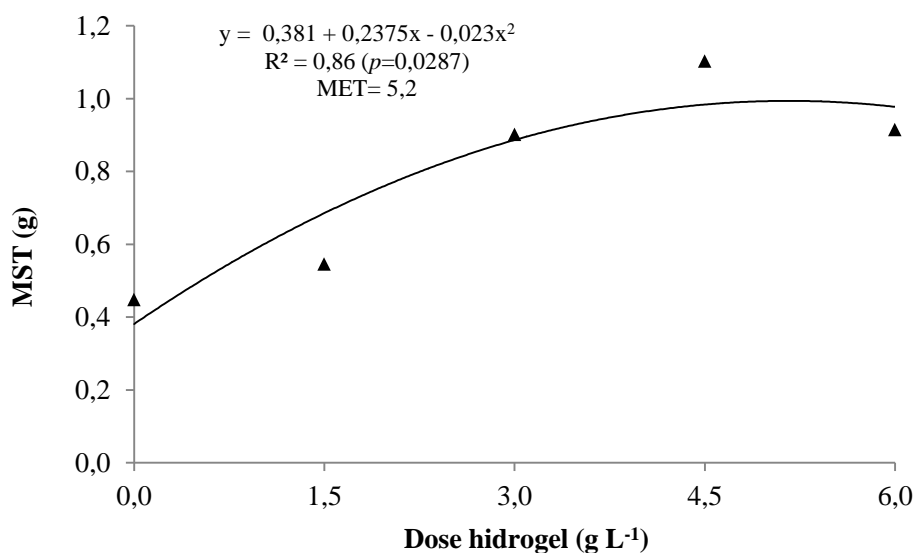


Figura 25 – Massa seca total (g) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso de diferentes doses de polímero hidroretentor aos 90 dias após semeadura.

O Índice de Qualidade de Dickson foi maior nas maiores doses de hidrogel utilizadas, apresentando um ponto máximo na dose de 4,6, diminuindo a partir desse nível (Figura 26). O índice é consideravelmente maior na utilização do hidrogel em qualquer dose em comparação com a ausência do hidroretentor.

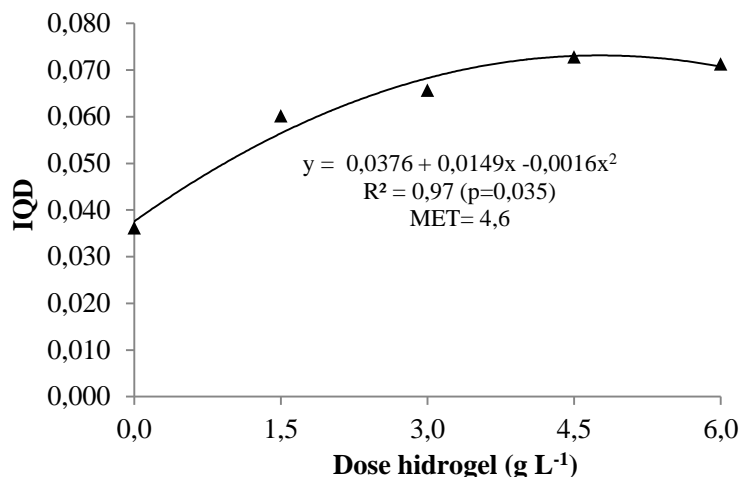


Figura 26 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função do uso de diferentes doses de polímero hidrorretentor aos 90 dias após semeadura.

O IQD pode ser considerado um bom parâmetro para indicar o padrão de qualidade das mudas crescidas sob diferentes dosagens de hidrogel, pois apresenta semelhanças em relação aos parâmetros indicativos de qualidade (altura, diâmetro do coleto, MSPA, MSR, e MST). Serve para confirmar que sob algumas doses do hidrogel, principalmente próximo a 4,5 g L⁻¹, as mudas apresentam melhor qualidade para o plantio, pois o valor de seus parâmetros constituintes está dentro dos limites considerados adequados para o plantio, considerando-se a altura de 25 cm e o diâmetro do coleto próximo a 2 mm de acordo com Sturion et al. (2000) e Wendling e Dutra (2010).

Cabe destacar também o aspecto gelatinoso sobre os tubetes quando se faz uso de dosagens muito altas. A dose de 3 g L⁻¹ ou inferior do hidrorretentor apresenta alguns aglomerados gelatinosos sobre o tubete, mas sem qualquer extrapolação do recipiente. A dose de 4,5 g L⁻¹ apresentou mais aglomerados com este aspecto, porém também não havendo extravasamento dos tubetes, o que ocorreu na dose superior. O vazamento de hidrogel hidratado juntamente com substrato dos tubetes pode expulsar a muda do recipiente, ou provocar o excesso de umidade sobre o tubete o que pode ocasionar o aparecimento de musgos ou doenças nas mudas.

O uso do hidrogel pode ser recomendado, podendo-se produzir mudas com qualidade superior em menor tempo, obtendo-se ganho em altura e diâmetro do coleto, parâmetros mais observados por viveiristas, e também em outras variáveis que também expressam a qualidade das mudas, como massa seca da parte aérea, massa seca radicular e índice de qualidade de Dickson.

5.5.3 Análise nutricional da parte aérea das mudas

De acordo com a análise estatística, diferentes doses do hidrogel influenciaram de forma significativa ($p < 0,05$) a concentração de macro e micronutrientes de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

O teor de N aumentou à medida que foram adicionadas maiores doses de hidrogel no substrato, apresentando comportamento quadrático crescente (Figura 27A), de modo que a testemunha apresentou menor valor. O teor de N não foi superior com o uso da dose 1,5 g L⁻¹ de hidrogel em comparação a testemunha, mostrando que dosagens muito baixas do polímero não proporcionam grande acúmulo de N nos tecidos vegetais.

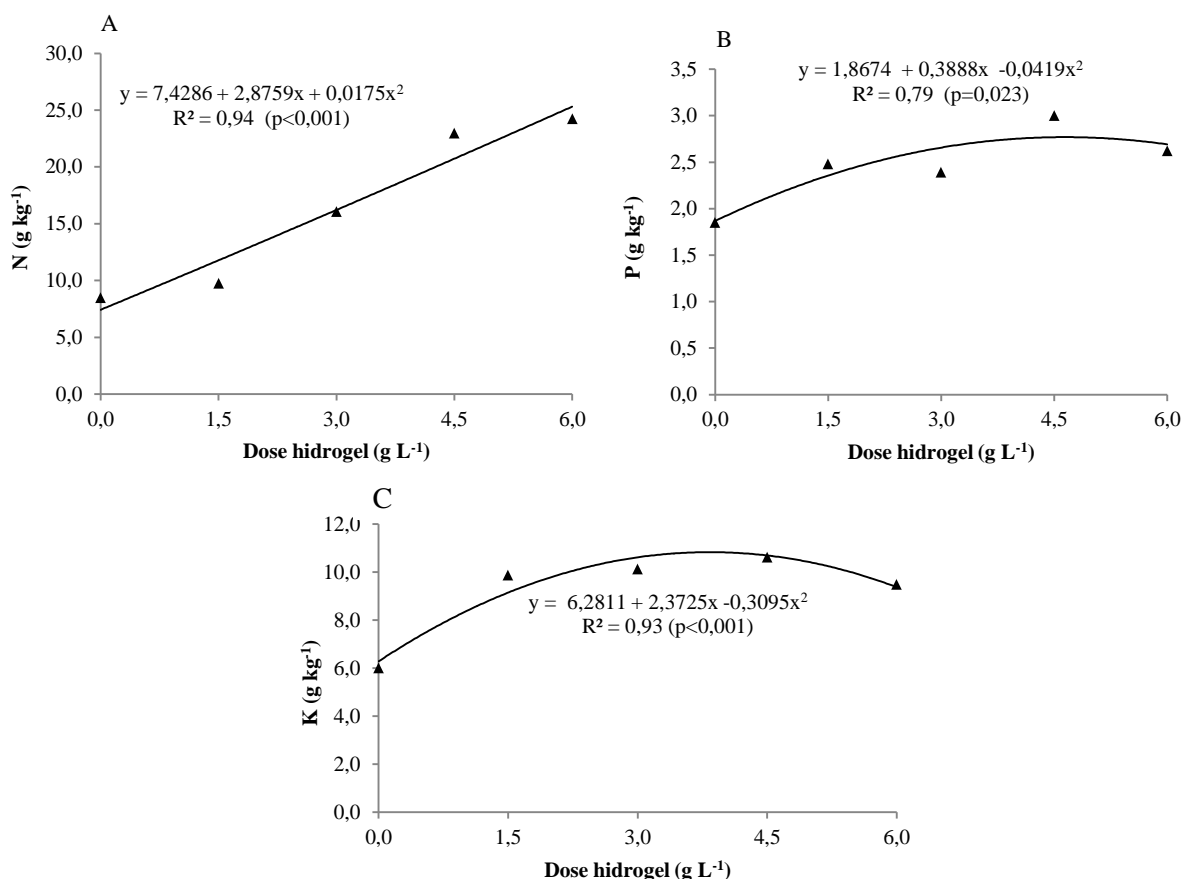


Figura 27 – Efeitos da adição de diferentes doses de hidrogel no teor de macronutrientes de N (A), P (B) e K (C) da parte aérea (caule + folhas) de mudas de *Eucalyptus dunnii* os 90 dias em viveiro.

Apesar da maior dose de hidrogel utilizada ($6,0 \text{ g L}^{-1}$) ter apresentado a maior concentração deste elemento mineral, não houve efeito positivo no crescimento das mudas de *Eucalyptus dunnii* na etapa de viveiro. De maneira geral, para a maioria das variáveis morfológicas analisadas, doses superiores a $4,5 \text{ g L}^{-1}$ causaram diminuição no crescimento das plantas, provavelmente, pelo excesso de água e efeito de toxicidade devido ao excesso de nutrientes, incluindo o nitrogênio.

Conforme a Tabela 10, a qual mostra o teor de nutrientes considerados adequados em mudas entre 80 – 100 dias de *Eucalyptus grandis*, pode-se considerar que o teor de N está em uma faixa mais adequada para o tratamento com o uso de 3 g L^{-1} do polímero. Na ausência do hidrogel e na presença de $1,5 \text{ g L}^{-1}$ o teor foi abaixo do considerado ideal. Já nas doses acima de 3 g L^{-1} há um excesso no teor, o que também pode comprometer o desenvolvimento e qualidade das mudas, fato que foi observado na diminuição da altura das mudas com o uso de 6 g L^{-1} de hidrogel. Cabe resaltar que os teores considerados ideais, apresentados na Tabela 10, são para *Eucalyptus grandis*, não havendo referências para *Eucalyptus dunnii*.

Tabela 10 – Teores de nutrientes considerados ideais em mudas de *Eucalyptus grandis*.

Nutriente	Teor*
Macronutrientes	(g kg^{-1})
Nitrogênio	13 – 15**
Fósforo	1,5 – 2,0
Potássio	15 – 20
Cálcio	8 – 12
Magnésio	3,0 – 3,5
Enxofre	1,3 – 1,5
Micronutrientes	(mg kg^{-1})
Boro	30- 40
Cobre	10 – 15
Ferro	80 – 130
Manganês	300 – 500
Zinco	30 – 40

* Nota: Teores de nutrientes considerados adequados nas folhas de mudas de *Eucalyptus grandis* entre 80-100 dias de idade. ** Fonte: Silveira et al. (1995a); Silveira et al. (1995b).

Esse efeito prejudicial do N em quantidade além do ideal é exposto por Taiz e Zeiger (2009), os quais descrevem que embora o nitrogênio seja um dos elementos minerais que as plantas exigem em maiores quantidades, servindo como constituinte em diversos

componentes das células, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, o seu excesso pode prejudicar no crescimento das plantas.

A explicação para tal circunstância é que o N é absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), entretanto, a forma de nitrato é a que predomina durante o processo de absorção (MARENCO; LOPES, 2007; PRADO, 2008). Esta absorção também é influenciada pelo pH do meio, sendo este modificado pela dose de hidrogel adicionado.

Para os elementos P e K, os maiores teores nutricionais nos tecidos vegetais foram obtidos próximo à dose $4,5 \text{ g L}^{-1}$ de hidrogel (Figura 27 B e C), tendendo a diminuir o teor de ambos os macronutrientes com aumento da dose do hidrogel para $6,0 \text{ g L}^{-1}$.

A relação adequada entre os nutrientes nitrogênio e potássio na fase de crescimento deve estar na faixa de 1,4 até 2,0, conforme recomendam Silveira et al. (2001). Esta faixa ideal da relação foi obtida com uso de 3 g L^{-1} do polímero hidrorretentor, tendendo a aumentar a relação com o uso de maiores doses do hidrogel.

O fósforo apresenta grande importância no desenvolvimento dos vegetais, sendo o elemento, depois do nitrogênio, que mais restringe o crescimento das plantas em caso de deficiência. Comparativamente às referências do *Eucalyptus grandis* (Tabela 10), somente o tratamento testemunha (sem adição de hidrogel) está na faixa considerada ideal. Os demais tratamentos apresentam teores acima desta faixa. Essa diferença nos teores pode ser devido a diferente necessidade das espécies por este nutriente. Em comparação a outras espécies florestais, os maiores teores obtidos então dentro do considerado ideal. Sorreano et al. (2012), obteve teores de P de $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ em *Astronium graveolens*; $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ em *Tapirira guianensis*; $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ em *Cecropia pachystachya*; $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ em *Acacia polyphylla*; $3,2 \text{ g kg}^{-1}$ em *Enterolobium contortisiliquum* e $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ em *Ceiba speciosa*.

Em relação ao potássio observa-se que, comparativamente às referências do *Eucalyptus grandis* (Tabela 10), todos os tratamentos apresentaram teores nutricionais bastante inferiores na planta. O resultado obtido com *Eucalyptus dunnii* pode indicar diferentes exigências das espécies pelo elemento, já que se observa uma tendência de queda do teor de potássio com o uso superior a $4,5 \text{ g L}^{-1}$ do hidrogel. A lixiviação do nutriente no substrato possivelmente não foi à causa da diminuição do teor nutricional com aumento da dose do hidrogel, podendo-se apontar outras causas como a elevação da umidade no substrato, podendo causar menor absorção do nutriente pela planta. Sintomas de deficiência também não foram observadas, o que pode evidenciar a menor necessidade por este nutriente na espécie durante este estágio de desenvolvimento da planta.

A deficiência desse elemento gera sintomas que aparecem primeiro nas folhas mais velhas, por ser facilmente redistribuído para órgãos novos (MARENCO; LOPES, 2007). O primeiro sintoma visual de deficiência de potássio se caracteriza por clorose em manchas ou marginais, evoluindo para necrose, com maior ocorrência nos ápices foliares, nas margens e entre nervuras (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A adição de hidrogel ao substrato até certo limite colaborou com o aumento do teor de K, possivelmente em razão da diminuição da lixiviação do nutriente. Gomes (2001) relata que o K é um elemento de grande lixiviação, não sendo esperadas respostas residuais por longos períodos. O autor comenta ainda que a fertilização potássica é, praticamente, desnecessária para o crescimento de mudas de espécies florestais em razão da alta lixiviação. Desta forma, como foi visto, o hidrogel pode reter certa quantidade do nutriente e disponibilizar a planta por maior tempo.

O potássio apresenta diversas funções nos vegetais, participando na regulação estomática, dinâmica da membrana celular, manutenção do turgor, equilíbrio osmótico, transporte de carboidratos, fixação simbiótica do nitrogênio, entre outras (MALAVOLTA et al., 1997; WIEDENHOEFT, 2006).

Comportamento semelhante ao obtido neste trabalho para o potássio foi obtido em crisântemo (*Dendranthema grandiforum*) por Sita et al. (2005), os quais verificaram um comportamento crescente do teor de K na areia de acordo com os níveis do polímero de poliacrilamida (dose máxima testada de 4 g kg⁻¹). Assim, os mesmos autores indicam que o aumento de potássio seja proveniente da liberação desse mineral da própria estrutura química do polímero, composto à base de acrilamida, além da influência de outros fatores, como pH e condutividade elétrica do substrato.

Fernandes (2010), em estudo utilizando o polímero à base de poliacrilamida em *Eucalyptus urophylla* cultivados em vaso e avaliados aos 126 dias, também demonstrou aumento do teor de potássio com o aumento da dose do hidrogel. O autor encontrou quase o dobro de K (2,08 g kg⁻¹) com o uso de 8 g de hidrogel por planta em comparação a dose zero (1,12 g kg⁻¹). Apesar da tendência de aumento do teor de K com o aumento da dose do hidrogel, as quantidades obtidas são muito inferiores às encontradas neste estudo. Essa diferença de valores pode ser devido aos teores e conteúdos de nutrientes variarem com o desenvolvimento da cultura.

A quantidade de nutrientes absorvidos, durante o ciclo, depende de fatores abióticos, como temperatura do ar e solo, luminosidade e umidade relativa, época de plantio, genótipo e concentração no solo e bióticos, como presença de grupos específicos de microrganismos.

Esses e outros fatores, como a quantidade de água disponível as plantas e a disponibilidade de nutrientes influenciam na absorção de nutrientes (FAYAD, 2002).

Com relação ao teor de cálcio, verificou-se que na ausência do hidrogel o teor do nutriente foi menor ao obtido nos tratamentos que tiveram adição do polímero (Figura 28A). Divergindo dos demais macronutrientes que expressaram o máximo de teores quando foi realizado o uso de doses mais altas do hidrogel, o Ca apresentou os maiores valores na dose 1,5 g L⁻¹, diminuindo com o aumento da dose do hidrogel.

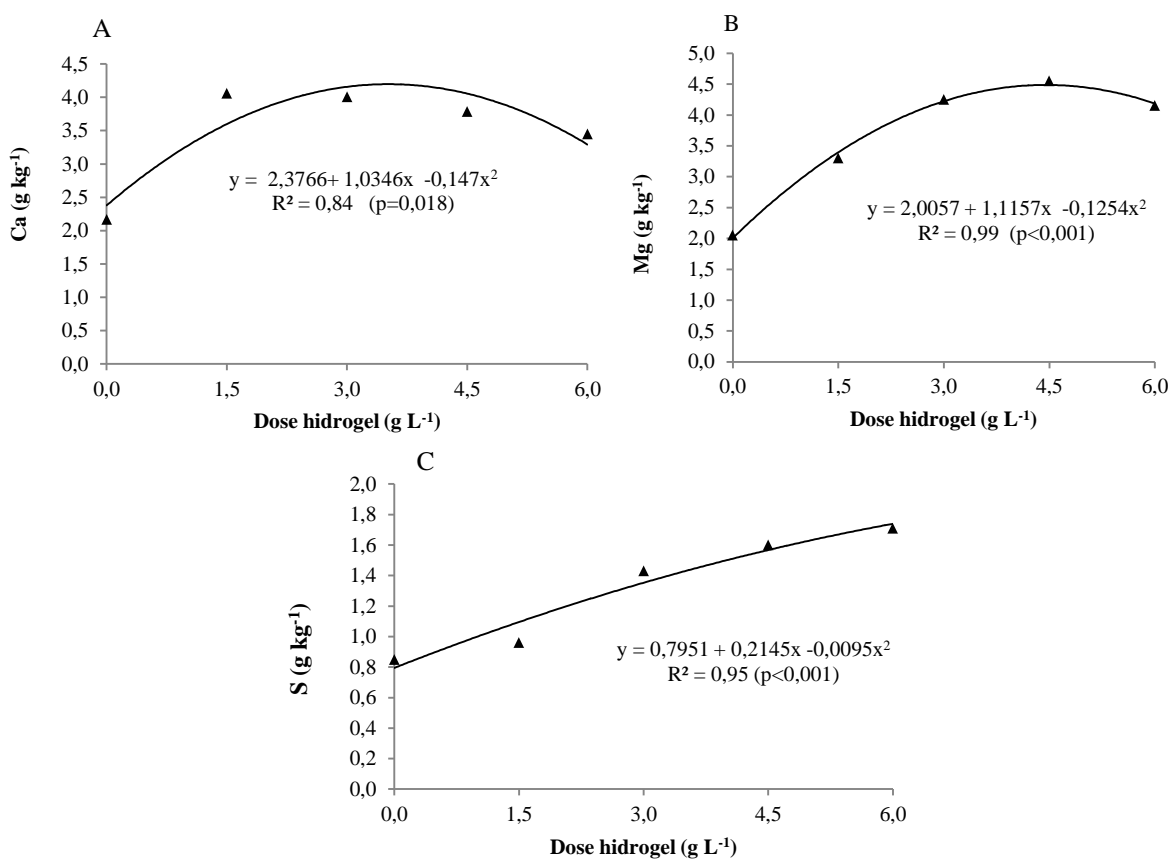


Figura 28 – Efeitos da adição de diferentes doses de hidrogel no teor de macronutrientes de Ca (A), Mg (B) e S (C) da parte aérea (caule + folhas) de mudas de *Eucalyptus dunnii* os 90 dias em viveiro.

Conforme Epstein e Bloom (2005), os sintomas de deficiência de Ca aparecem mais cedo e mais severamente nas regiões meristemáticas e nas folhas jovens. A demanda de Ca segundo os autores é alta nestas regiões. Apesar do teor encontrado em *Eucalyptus dunnii* ser muito inferior ao encontrado em *Eucalyptus grandis* (Tabela 10) não foram observados

sintomas de deficiência de Ca nas mudas. Possivelmente o *Eucalyptus dunnii* possui uma necessidade menor também deste nutriente, a exemplo do observado em K.

O teor de Magnésio comportou-se de maneira quadrática (Figura 28 B), aumentando até a concentração $4,5 \text{ g L}^{-1}$ do hidrogel, e após tendendo a diminuir com o aumento da dose do polímero. O teor de Mg foi bem inferior no tratamento testemunha sem adição do hidrogel, mostrando que a exemplo dos demais macronutrientes, o hidrogel proporcionou maior absorção destes nutrientes. Comportamento similar foi obtido para o enxofre, neste, a maior diferença ocorreu na dose $1,5 \text{ g L}^{-1}$ de hidrogel que praticamente não variou da ausência do polímero.

Em comparação aos valores da Tabela 10, considerados ideais para *Eucalyptus grandis*, a adição de hidrogel proporcionou o enquadramento dos teores na faixa adequada, tanto para Mg quanto para S. Para o magnésio a adição de $1,5 \text{ g L}^{-1}$ de hidrogel foi suficiente para a obtenção dos níveis ideais, sendo que o aumento da dose provocou uma elevação dos níveis. Para o S (Figura 28C), o uso do hidrogel na faixa de $3,0 - 4,5 \text{ g L}^{-1}$ ajustou os teores aos encontrados por Silveira et al. (1995a, b).

O magnésio apresenta importante papel na estrutura da clorofila, além de participar na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA (TAIZ; ZEIGER, 2009). Em geral, é absorvido em menor quantidade do que o cálcio (quantidades semelhantes neste trabalho), e vários íons podem competir com absorção do magnésio, como NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mn^{2+} . Dessa forma, quando a disponibilidade de Ca^{2+} e K^+ é menor, a absorção de Mg^{2+} tende a aumentar, fato que foi observado neste trabalho. Já a atuação negativa do amônio deve-se ao seu efeito acidificante no citosol (MARSCHNER, 1995; MARENCO; LOPES, 2007).

O enxofre, o qual apresentou aumento do teor na parte aérea das plantas com o aumento da dose do hidrogel, é constituinte de vários aminoácidos e compostos envolvidos na transferência de elétrons na fotossíntese e respiração (WIEDENHOEFT, 2006). Plantas deficientes deste elemento apresentam-se cloróticas e pouco desenvolvidas, com sintomas semelhantes à deficiência de N, no entanto, por ser pouco móvel na planta, as folhas novas ficam mais amareladas (BISSANI; ANGHINONI, 2004).

Nissen (1994) observando alguns hidroretentores pôde verificar que estes são capazes de atuar como fornecedores de nutrientes, diminuir a fixação de fosfatos e a lixiviação de nutrientes, como potássio, magnésio e nitratos, aumentando a disponibilidade as plantas. Este aumento da disponibilidade de alguns nutrientes refletiu no aumento do teor de todos os macronutrientes até determinada dose do hidrogel, dependendo do nutriente.

Pela análise dos teores de micronutrientes, observou-se comportamento quadrático para todos os elementos (Figura 29). Todos os micronutrientes obtiveram maiores teores (mg kg^{-1}) na ausência de hidrogel, diminuindo com a adição do polímero. A exceção do Cu que apresentou tendência de queda com o aumento sequencial da dose de hidrogel. Os demais micronutrientes apresentaram tendência de estabilização dos teores.

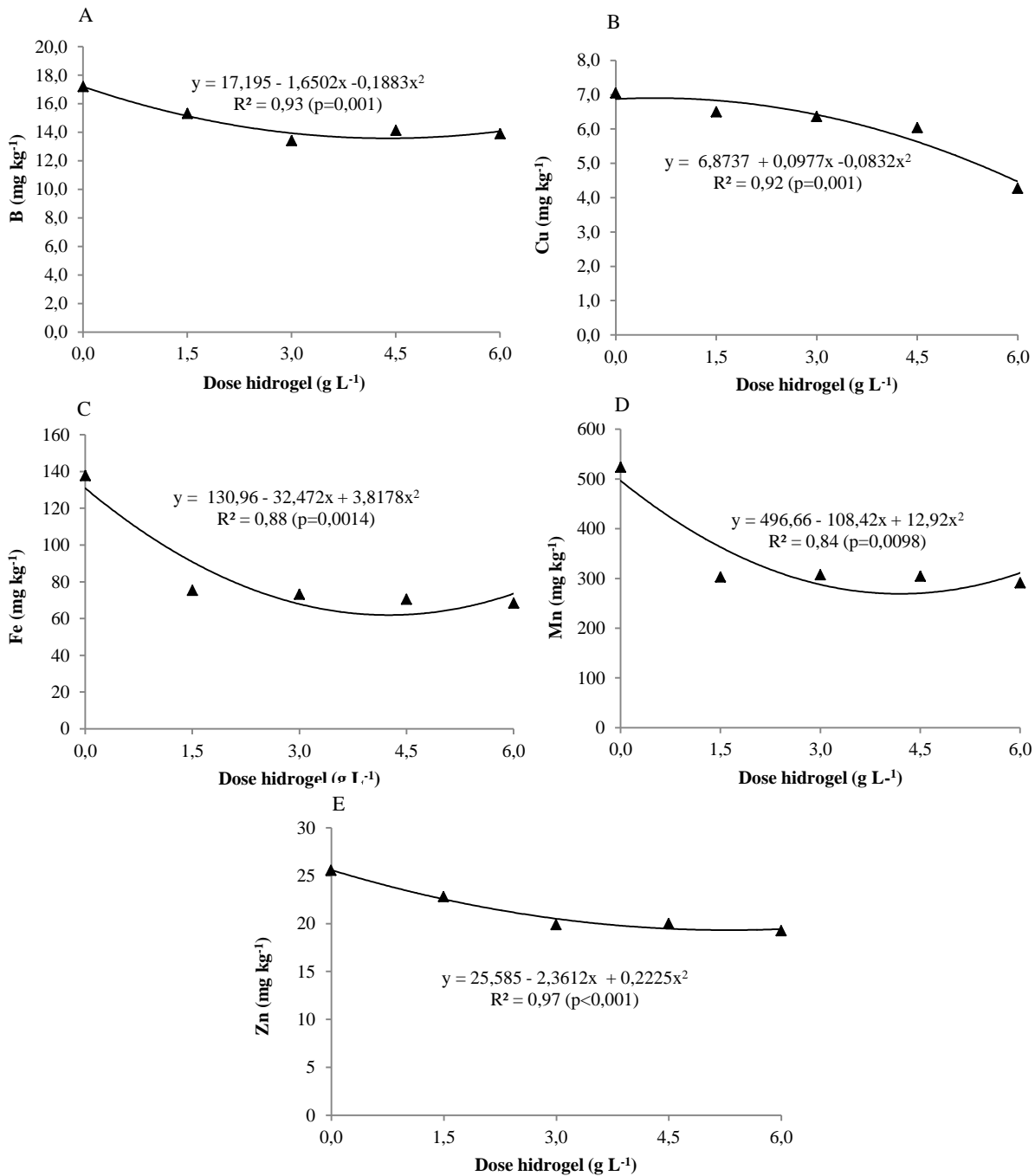


Figura 29 – Efeitos da adição de diferentes doses de hidrogel no teor de micronutrientes de B (A), Cu (B) e Fe (C), Mn (D) e Zn (E) da parte aérea (caule + folhas) de mudas de *Eucalyptus dunnii* os 90 dias em viveiro.

O teor de boro na parte aérea de mudas de *Eucalyptus dunnii* decresceu com o aumento da dose de hidrogel (Figura 29A). Comportamento similar do boro foi obtido por Fernandes (2010), avaliando o teor nutricional de *Eucalyptus urophylla* em função da dose de hidrogel e frequências de irrigação. Apesar de a análise ser realizada utilizando-se somente o caule da muda, o teor de boro também diminui com o aumento da dose do polímero a base de poliacrilamida.

Nesse estudo, o pH aumentou conforme a adição do hidrogel no substrato, o qual é um dos principais fatores que afetam a disponibilidade de boro. O aumento do pH diminui o teor de boro na solução, devido a maior adsorção deste nutriente à superfície dos colóides, à medida que cresce a alcalinidade do meio (FERREIRA, 1998).

Embora não se saiba o papel preciso do boro no metabolismo vegetal, há evidências de sua atuação no funcionamento da membrana e na estrutura da parede celular (MARENCO; LOPES, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009). A deficiência de boro é a mais comum entre as deficiências de qualquer outro micronutriente. Juntamente com o cálcio, o boro é classificado como um elemento imóvel no floema, sendo que os sintomas de carência aparecem, principalmente, nas folhas e nos órgãos mais novos (MALAVOLTA et al., 1997). A deficiência de B reduz a absorção de K e P e diminui a atividade da NADH, aumentando a lixiviação de K (MARENCO; LOPES, 2007). Os sintomas visuais de carência caracterizam-se pela necrose de folhas jovens e gemas terminais, com perda da dominância apical, tornando a planta altamente ramificada (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em relação ao cobre houve diminuição do teor com o aumento da dose do polímero hidroretentor a base de poliacrilamida (Figura 29B), fato que também foi observado no trabalho de Fernandes (2010). O teor encontrado pelo autor variou de 275,87 mg kg⁻¹ na ausência de hidrogel para 157,24 mg kg⁻¹ com o uso de 8 g por planta em mudas de *Eucalyptus urophylla* aos 126 dias de idade. Entretanto, o teor foi avaliado em caules, justificando a diferença de teor encontrado neste estudo. A mobilidade do Cu dentro das plantas é limitada e particularmente dependente do estado nutricional em termos de Cu e de N. Devido a sua forte ligação com as paredes celulares, a translocação do Cu das raízes para as brotações é lenta, obtendo maior teor no caule e folhas mais velhas (KIRKBY; RÖMHELD, 2004).

O cobre apresenta-se fortemente ligado aos coloides organominerais, e quanto maior o teor de matéria orgânica, menor sua disponibilidade nas plantas, estando fortemente relacionado ao valor do pH (PRADO, 2008). Essa diminuição dos teores de cobre nos tecidos

das mudas pode ser explicado pelo aumento do pH conforme as doses do hidrogel, sendo que condições de pH acima de 6 favorecem a sua retenção.

Esse elemento é classificado como um elemento pouco móvel pelo floema da planta, podendo existir inibições competitivas entre o cobre e zinco (MALAVOLTA et al., 1997). Os sintomas iniciais de deficiência de cobre caracterizam-se pela produção de folhas verdes escuras, que podem conter manchas necróticas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Seu teor total em plantas pode variar de 1-5 mg kg⁻¹, podendo atingir 100 mg kg⁻¹ em folhas mais velhas, sendo que a sua toxidez não é comum, porém pode ocorrer principalmente nos estádios iniciais de crescimento da planta (PRADO, 2008).

O ferro pode se encontrar nas formas de Fe²⁺ e Fe³⁺ dependendo das condições de oxidação ou redução e de sua capacidade de formar quelatos, estando envolvido na ativação de enzimas e na síntese de clorofila (WIEDENHOEFT, 2006). Conforme Prado (2008), o suprimento adequado deste elemento mineral depende das condições de pH (maior disponibilidade em pH ácido, <6,0), da umidade e de aeração do que propriamente a quantidade presente no solo, que normalmente é abundante. O mesmo autor salienta que concentrações elevadas de outros íons na solução do meio (P, Mn e Zn) podem inibir a absorção de Fe por competição iônica. Este efeito inibitório de outros elementos, principalmente do P, pode ter sido fator limitante para o teor de Fe, verificando-se que o fósforo aumentou com dosagens mais elevadas do hidrogel, e o ferro diminuiu (Figura 29C).

De acordo com Landis (1989), os substratos à base turfa e vermiculita sofrem menos influência do pH do que aqueles que contêm solo mineral. Para a maioria dos substratos, a faixa de pH recomendada para a disponibilidade adequada dos nutrientes para a planta é de 5,5 a 6,5 (WALDEMAR, 2000). Neste estudo, o pH do substrato (sem adição do hidrogel) é considerado baixo (4,87), segundo a classificação de Gonçalves e Poggiani (1996). No entanto, as espécies florestais são capazes de se adaptar a uma ampla faixa de valores de pH (LANDIS, 1989).

No estudo de Fernandes (2010), o teor de ferro nas folhas de *Eucalyptus urophylla* aos 126 dias de idade não variou com a quantidade de hidrogel, sendo observada média de 129,43 mg kg⁻¹ do nutriente, valor próximo ao encontrado neste estudo na ausência do hidrogel (137,82 mg kg⁻¹).

O manganês é o segundo micronutriente mais abundante em solos tropicais e um dos mais abundantes nos tecidos vegetais. Fatores como pH, potencial de oxirredução, matéria orgânica e o equilíbrio com outros cátions, influenciam na sua disponibilidade (PRADO, 2008). Esse elemento compete e reduz a absorção de outros, particularmente a de Ca, Mg e Fe

e, em menor nível, a de K (MARENCO; LOPES, 2007). O Mn também está envolvido na reação fotossintética, com diversas funções na membrana, ativando várias enzimas na célula (WIEDENHOEFT, 2006).

Os sintomas visíveis de deficiência deste elemento caracterizam-se por clorose nas folhas novas, seguida de branqueamento, enquanto o excesso causa deficiência de ferro induzida, menor nodulação nas leguminosas, entre outros (MALAVOLTA et al., 1997). Marschner (1995) relatou que a deficiência de Mn afeta a produção da matéria seca, a fotossíntese líquida e o conteúdo de clorofila, além das plantas ficarem mais suscetíveis aos danos por temperaturas mais baixas.

Mikkelsen (1995), trabalhando com cultura de soja em casa de vegetação, analisou o efeito do hidrogel juntamente com MnO (Óxido de manganês), MnSO₄.4H₂O (Sulfato de manganês) e MnCl (Cloreto de manganês), registrando um aumento no acúmulo de Mn na folha para todas as fontes de nutrientes analisadas na presença do polímero, ao contrário deste estudo, que com o hidrogel registrou diminuição do teor de Mn (Figura 29D).

O zinco é requerido para a atividade de muitas enzimas, podendo ser exigido na síntese de clorofila em algumas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009). O mesmo pode apresentar efeito de inibição competitiva na presença de Mg²⁺ e Ca²⁺, sendo que o principal sintoma de deficiência é a diminuição do crescimento internodal e, em excesso, causa a indução de carência de ferro (MALAVOLTA et al., 1997).

Conforme Malavolta et al. (1997), existem diversos fatores, externos e internos, que modificam a velocidade de absorção dos nutrientes nas plantas. Segundo o mesmo autor, a capacidade da raiz para absorver um determinado elemento é limitada. Em decorrência disto, as plantas ligeiramente deficientes podem acumular mais nutrientes do que as plantas já bem supridas do elemento.

A planta saturada em íons absorve menos que outra que tenha poucos íons, devido o fato de ter atingido o limite máximo da absorção de um dado nutriente. Assim, plantas ligeiramente deficientes têm velocidade de absorção maior que as plantas bem nutridas, no entanto, se a carência for muito acentuada, a velocidade de absorção diminui, pois ocorrem desarranjos metabólicos irreversíveis (MALAVOLTA; 1997; PRADO, 2008).

O requerimento nutricional médio (obtido da média de todas as doses do hidrogel) de mudas de *Eucalyptus dunnii*, aos 90 dias em viveiro, obedeceu, em ordem decrescente, a seguinte classificação: N>K>Mg>Ca>P>S (macronutrientes) e Mn>Fe>Zn>B>Cu (micronutrientes). Comparando-se às taxas consideradas adequadas para as folhas de mudas de *Eucalyptus grandis*, com idade entre 80-100 dias, conforme proposto por Silveira et al.

(1995a, b), observa-se que os teores de N, P e Mg estão acima do descrito pelos autores. Os teores de S, Fe e Mn estão dentro da faixa considerada adequada, e os demais elementos (K, Ca, B, Cu e Zn) estão abaixo do recomendado (Tabela 10).

Landis (1989) salienta que cada viveiro deve possuir seu próprio padrão de análise nutricional, determinando as causas de variações existentes entre as espécies, fases de crescimento das plantas e práticas de cultivo. O mesmo autor complementa que a fertilização excessiva (especialmente de N) ocasiona o consumo desnecessário dos nutrientes, a inibição do desenvolvimento de micorrizas e a contaminação das águas residuais, além dos efeitos adversos, devido à toxicidade.

Vichiato et al. (2004a) afirmaram que a incorporação do hidrorretentor ao substrato de cultivo de porta-enxerto Tangerina Cleópatra não promoveu alteração expressiva no estado nutricional dos porta-enxertos, aos 150 dias pós sementeira. Entretanto, a incorporação do hidrogel elevou o pH do substrato. Nesse caso, segundo Bernardi et al. (2012) o aumento do pH poderia reduzir a disponibilidade de alguns micronutrientes (Fe, Mn, Zn), e conseqüentemente o teor nutricional na parte aérea das plantas, fato que foi observado neste estudo.

De uma forma geral, os macronutrientes apresentaram maior teor na presença do hidrogel. Os elementos P, K, Ca e Mg obtiveram maior teor na faixa entre 1,5 a 4,5 g L⁻¹ de hidrogel. O teor de N e S aumentaram conforme a elevação da dose. Em relação aos micronutrientes, houve decréscimo no teor de todos os elementos com o aumento da dose do polímero.

5.6 Conclusões

Observa-se melhoria das características químicas e físicas dos substratos com a adição do hidrogel, principalmente aos atributos que envolvem armazenamento e disponibilização de água à planta.

A dose 4,5 g L⁻¹ de hidrogel eleva a qualidade das mudas de *Eucalyptus dunnii*. Por outro lado, o uso de dosagens abaixo de 3 g L⁻¹ ou acima de 4,5 g L⁻¹ implica em menor crescimento das mudas.

O teor dos macronutrientes na parte aérea das mudas aumenta com a adição do hidrogel, porém diminui o teor dos micronutrientes.

6 CAPÍTULO IV

USO DO HIDROGEL NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

6.1 Resumo

Esclarecer qual a necessidade hídrica de cada espécie florestal na formação de mudas, de forma a não prejudicar o crescimento e não haver desperdício de água é uma das intenções da pesquisa na área de produção de mudas florestais. O uso do polímero hidroretentor no substrato pode auxiliar na diminuição da necessidade de irrigação e aumentar a disponibilidade de água para a muda. Dessa forma o objetivo desse estudo foi analisar se a presença do hidrogel permite uma redução do consumo de água de irrigação e a influência sobre o crescimento, produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Foi realizada análise de características físicas e químicas do substrato utilizado com as diferentes dosagens do hidrogel. Na semeadura foi adicionado ao substrato o polímero hidroretentor em três dosagens (0; 3 e 6 g L⁻¹), os quais constituíram o fator “A” do esquema fatorial. Quarenta dias após semeadura as mudas foram colocadas em área de pleno sol aplicando-se diferentes lâminas de irrigação (4; 8; 12; 16 e 20 mm dia⁻¹), constituindo o fator “B”. O experimento foi realizado em delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, composta por 24 mudas. Após 50 dias em pleno sol (90 dias após a semeadura) foi realizada avaliação de parâmetros morfológicos das mudas. O uso do hidrogel apresentou melhoria das características físicas e químicas do substrato, principalmente aos atributos que envolvem armazenamento e disponibilização de água a planta. Na ausência do hidrogel, o maior desenvolvimento das mudas foi obtido com maiores lâminas de irrigação (16 e 20 mm dia⁻¹). Quando adicionado o hidrogel, na dose 3 g L⁻¹, o maior desenvolvimento das mudas foi obtido com a redução da irrigação (12 mm dia⁻¹). A irrigação pode ser ainda mais reduzida com o uso de 6 g L⁻¹ do hidrogel, entretanto com o uso desta dose e lâmina de 8 mm dia⁻¹ há uma diminuição de parâmetros como o diâmetro do coleto, massa seca radicular e Índice de Qualidade de Dickson. Portanto, com a utilização do hidrogel há a possibilidade de reduzir as lâminas de irrigação, e conseqüentemente do uso da água, aumentando a qualidade das mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Palavras-chave: Eucalipto. Produção de mudas. Manejo hídrico. Polímero hidroretentor.

6.2 Abstract

Clarify the water requirement of each species in forest seedling production, so as not to impair growth and there is no wastage of water is one of the intentions of the research in the area of forest seedling production. The use of polymer hidretentor the substrate can help to reduce the need for irrigation and increase water availability for the moult. Thus the aim of this study was to analyze the presence of the hydrogel allows a reduction of water consumption and irrigation influence on the growth, yield and quality of *Eucalyptus dunnii*. Analysis was performed physical and chemical characteristics of the substrate used with different dosages of the hydrogel. The sowing was added to the polymer substrate hidretentor in three doses (0, 3 and 6 g L⁻¹), which constituted the factor "A" factorial. Forty days after sowing the seedlings were placed in an area of full sun by applying different irrigation levels (4, 8, 12, 16 and 20 mm day⁻¹), constituting the factor "B". The experiment was conducted in randomized block design with four replications, consisting of 24 seedlings. After 50 days in full sun (90 days after sowing) was performed evaluating morphological parameters of seedlings. The use of the hydrogel showed improved physical and chemical characteristics of the substrate, mainly involving the attributes storage and delivery of water to plant. In the absence of the hydrogel, the further development of seedlings was obtained with higher irrigation (16 and 20 mm day⁻¹). When added to the hydrogel at a dose 3 g L⁻¹ a further development of the seedlings was achieved by reducing the irrigation (12 mm day⁻¹) Irrigation can be further reduced by using 6 g L⁻¹ of the hydrogel, however the use of this dose of 8 mm and blade day⁻¹ for a decrease of parameters such as the diameter, dry weight and root index Dickson quality. Therefore, using the hydrogel for the possibility of reducing the irrigation and water use thereby increasing the quality of seedlings of *Eucalyptus dunnii*.

Keywords: *Eucalyptus*. Seedling production. Hydric management. Polymer hidretentor.

6.3 Introdução

A irrigação adequada proporciona a produção de mudas bem formadas, sendo que o substrato que se mantém úmido, mas com espaços de ar é ideal para um bom desenvolvimento das espécies. Além disso, se a irrigação não for realizada corretamente pode provocar consumo desnecessário de água (PAIVA; GONÇALVES, 2001). Por outro lado, a

irrigação insuficiente proporciona o surgimento de condições desfavoráveis que afetam a presença de ar entre os poros do substrato, prejudicando o crescimento das raízes (LOPES, 2004), enquanto o excesso de umidade favorece a lixiviação de nutrientes, deterioração de raízes e contribui para aparecimento de doenças.

O déficit hídrico afeta primeiramente as raízes, a partir do qual é desencadeada uma série de efeitos em toda a planta (FERREIRA et al., 1999). A redução de água na planta afeta diferentes órgãos de diversas formas, onde a consequência mais comum da falta de água é a redução na taxa de crescimento e menor desenvolvimento foliar (WINTER, 1976). A quantificação da necessidade hídrica na formação de mudas florestais é extremamente importante, pois a sua falta ou excesso pode limitar o desenvolvimento das mudas.

A grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à aplicação têm aumentado o interesse pela racionalização, de forma a minimizar as perdas desse recurso (AZEVEDO et al., 1999).

Desta forma, deve haver um manejo de irrigação adequado para se produzir mudas de qualidade sem desperdício de água. Independente da técnica utilizada, nos viveiros de mudas de espécies florestais, a irrigação por aspersão é o método mais utilizado, apesar de gerar grandes desperdícios, em razão de alguns fatores, tais como, o vento, a má distribuição dos microaspersores e os possíveis espaços vazios (AUGUSTO et al., 2007).

A partir disso, a utilização de polímeros hidrotentores, também chamados de hidrogéis ou polímeros retentores de água, surge como uma alternativa, no sentido de se obter maior eficiência no uso da água na produção de mudas em viveiros.

Como a maioria das tecnologias, o uso de hidrotentores, quando mal executado pode prejudicar o desenvolvimento das plantas. Por isso, o seu uso correto depende da realização de pesquisas, pois é necessário que se determine a dose a ser utilizada, as fases do cultivo em que há resposta e a forma de aplicação em relação às variações no manejo. São fatores como estes que devem ser observados para que se maximize o retorno econômico da produção de mudas com o uso desses polímeros (VERVLOET FILHO, 2011).

Pesquisas relacionadas ao déficit hídrico e a quantificação da necessidade de água que as espécies necessitam ainda são escassas. No Rio Grande do Sul, principalmente em viveiros florestais que não estão vinculados às grandes empresas, a irrigação ainda é realizada sem conhecimentos científicos adequados quanto a melhor maneira de irrigar e ao uso de métodos para diminuir o consumo de água. A utilização inadequada da irrigação em viveiros florestais acarreta alta mortalidade e, muitas vezes, má formação das mudas, assim, aumentando os custos de produção e plantio (FREITAG, 2007).

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi analisar se a presença do hidrogel permite uma redução do consumo de água de irrigação e a influência sobre o crescimento, produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

6.4 Material e métodos

6.4.1 Análise do substrato e hidrogel

A caracterização física e química do substrato comercial (Carolina Soil[®]) utilizado no estudo foi realizada no laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme a instrução normativa nº 17 do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003). Para a realização das análises, foram encaminhadas amostras de 2,5 litros de substrato, sem adubação de base, retiradas dos tratamentos (0; 3,0 e 6,0 g de gel hidroretentor a cada litro de substrato) utilizados na produção das mudas.

Dentre os atributos físicos relativos à densidade e umidade do substrato foram avaliadas a densidade úmida (kg m^{-3}); densidade seca (kg m^{-3}) e a umidade (%). As determinações da porosidade total, do espaço de aeração e da água disponível foram realizadas através do uso de funis de tensão, com 0, 10, 50 e 100 cm de coluna de água, correspondendo às tensões de 0, -10, -50 e -100 hPa. Após os procedimentos laboratoriais, foram obtidas as seguintes variáveis (todas expressas em %):

1. Porosidade total (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0 hPa);
2. Espaço de Aeração (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão -10 hPa;
3. Água Facilmente Disponível (AFD): volume de água encontrado entre -10 e -50hPa;
4. Água Tamponante (AT): volume de água encontrado entre -50 e -100hPa;
5. Água disponível (AD): obtida pela soma de AFD + AT;
6. Água remanescente (AR 100): volume de água que permanece na amostra após ser submetida à tensão de -100 hPa; e

7. Capacidade de Retenção de Água (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão.

Os atributos químicos analisados foram a condutividade elétrica e o pH, com o uso de condutivímetro e potenciômetro (pHmetro), respectivamente. Para ambas as determinações utilizou-se a diluição de 1:5 (v/v), com água deionizada.

Foi também realizada análise de pH, condutividade elétrica e teor total de sais solúveis (TTSS) em amostras de areia lavada com e sem a adição do hidrogel. O pH e a condutividade elétrica foram definidos da mesma forma que o substrato. Já o teor total de sais solúveis (TTSS) das amostras foi determinado através de cálculo considerando a CE (mS cm^{-1}) e a densidade do material, em suspensão areia:água deionizada na proporção de 1:10 (m/v), expressa como teor de KCl (RÖBER; SCHALLER, 1985).

6.4.2 Produção e crescimento das mudas

O estudo foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais ($29^{\circ}43'S$; $53^{\circ}43'W$) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com início em janeiro de 2013. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo 'Cfa' (subtropical úmido), caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C , e do mês mais quente superior a 22°C , com precipitação média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). Ocorrem na região às quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem entre junho e agosto, e os mais quentes entre dezembro e março.

As sementes de *Eucalyptus dunnii* utilizadas são originárias de Área de Produção de Sementes da empresa, da qual foi feita a aquisição do material. Conforme os dados fornecidos pela empresa o lote possuía pureza de 90% e porcentagem de germinação média de 80%. Após a aquisição das sementes até a semeadura (aproximadamente 1 ano) as sementes foram acondicionadas em embalagem de plástico semipermeável (90 micras de espessura) e armazenadas em câmara fria ($T = 8^{\circ}\text{C}$; UR = 85%).

Para a semeadura foram utilizados tubetes com a capacidade de 110 cm^3 . Foi utilizado o substrato comercial Carolina Soil[®], composto a base de turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK. As características descritas para o produto, conforme o fabricante, são: pH=5,0 +/-0,5; condutividade elétrica=0,7 +/-0,3

mS cm⁻¹; densidade=101 kg m³⁻¹; capacidade de retenção de água= 55% e umidade máxima= 60%.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema bifatorial (3x5), sendo os níveis do Fator “A” compostos pelos seguintes níveis: A1 - ausência de hidrogel, A2 - 3 g de hidrogel L⁻¹ de substrato e A3 - 6 g de hidrogel L⁻¹ de substrato. Os Níveis do fator “B” foram constituídos por diferentes lâminas de irrigação B1 - 4 mm dia⁻¹, B2 - 8 mm dia⁻¹, B3 - 12 mm dia⁻¹, B4 - 16 mm dia⁻¹ e B5 - 20 mm dia⁻¹, perfazendo 15 tratamentos. Cada repetição foi composta por 24 mudas, sendo utilizadas para avaliação as nove plantas centrais de cada parcela.

Ao substrato foi realizada a adição da adubação e do polímero hidrorretentor. A adubação de base utilizada foi composta de fertilizante de liberação controlada na formulação NPK 18-5-9, sendo utilizada a dose de 6 g L⁻¹ de substrato, conforme recomendado por Bernardi et al. (2012).

O polímero comercial correspondeu a um produto misto de copolímero de acrilamida (C₃H₅NO) e acrilato de potássio (K₂S₂O₈) usado para absorver e reter grandes quantidades de água e nutrientes, com as seguintes características: pó branco insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de 0,8 g cm⁻³ e índice de pH utilizável de 5 a 9, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão), capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume, sendo compatível com a maioria dos insumos utilizados, porém com capacidade de retenção afetada e vida útil que varia de 1 a 5 anos (conforme a granulometria).

Para proporcionar uma mistura homogênea e garantir uma boa distribuição do polímero e do fertilizante ao substrato foi utilizada a porção de 5 litros de substrato a cada mistura. Após a mistura do polímero e do adubo, procedeu-se o preenchimento dos tubetes com substrato conforme cada tratamento, dispostos nas bandejas e, em seguida submetidos à mesa vibratória por aproximadamente 10 segundos. Buscou-se um preenchimento dos tubetes em aproximadamente 80% do volume máximo possível para evitar o escoamento do substrato após a hidratação com o hidrogel devido à expansão das partículas do hidrorretentor durante a sua hidratação.

A semeadura foi efetuada colocando-se entre duas a três sementes em cada recipiente. Para a cobertura das sementes foi utilizada uma fina camada peneirada de vermiculita, sem adição do polímero.

Após a semeadura, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, sendo que aos 30 dias foi realizado o raleio das mudas, permanecendo a mais vigorosa e centralizada no recipiente. Nessa fase a irrigação foi realizada por uma barra de irrigação composta por aspersores do tipo microaspersão, com uma vazão de oito mm/dia, acionada por um timer no início da manhã às 8 h e a última às 17 h, sendo dividido em quatro irrigações diárias.

Dez dias após o raleio das mudas, as bandejas foram conduzidas ao crescimento (a pleno sol), e submetidas às diferentes lâminas de irrigação, compondo o fator “B” do experimento, composto por 5 níveis. Na casa de vegetação os recipientes ocuparam 100% da capacidade da bandeja e na área a pleno sol 50%, passando da densidade inicial de 400 plantas/m² para 200 plantas/m².

Para a irrigação foram utilizados microaspersores Fabrimar[®], modelo Sempreverde grama, com diâmetro dos bocais de 8,34 mm x 6,8 mm e ângulo do jato de 360°, alocados nas extremidades de hastes, formadas com cano PVC de 1,5 m de altura da superfície do solo, atingindo um raio de, aproximadamente 3,6 metros, conforme indicações do fabricante.

Para emissão da água, foram utilizados três conjuntos moto-bomba da marca Schneider[®], sendo um conjunto para cada duas linhas, totalizando seis linhas de irrigação com entrada de água de ½ polegada e saída de uma polegada, sendo a pressão na base de 15 metros de coluna d'água (mca), e vazão total de 0,57 m³/h.

Após a instalação do experimento, a cada 30 dias, coletores foram alocados sobre as bandejas contendo as mudas, com a finalidade de monitorar a quantidade de água disponibilizada pelos aspersores.

Na Tabela 11, estão demonstradas as lâminas de irrigação, frequência diária e o horário da irrigação. Em períodos de chuva, as mudas foram cobertas com plástico para não haver a influência da precipitação, modificando a quantidade de água sobre as mudas. A frequência de irrigação, a qual normalmente ocorre nos viveiros florestais em até 5 vezes (a variação é em função do sistema de irrigação), foi definida a partir de Dutra (2012).

O experimento foi realizado em delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema bifatorial 3 x 5, constituídos pelas doses do hidrogel (fator “A”) e pelas lâminas de irrigação (fator “B”). Cada repetição foi composta por 24 mudas, sendo utilizadas todas as plantas para avaliação de altura e diâmetro de coleto e para a avaliação de massa seca as oito plantas médias de cada unidade experimental.

Tabela 11 – Lâminas de irrigação, frequência diária, quantidade (mm) e horários de irrigação em mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	Frequência (vezes/dia)	Quantidade (mm/frequência)
4 mm	2	2 mm (8 hs)
		2 mm (13 hs)
8 mm	3	2 mm (8 hs)
		2 mm (13 hs)
		4 mm (15:30 hs)
12 mm	3	4 mm (8:30 hs)
		4 mm (12:30 hs)
		4 mm (15 hs)
16 mm	4	4 mm (7:45 hs)
		4 mm (11:30 hs)
		4 mm (14 hs)
		4 mm (16:45 hs)
20 mm	4	4 mm (8:30 hs)
		4 mm (12:30 hs)
		4 mm (15 hs)
		8 mm (16:50 hs)

Aos 90 dias após semeadura, quando as mudas apresentavam-se na faixa adequada para o plantio, a qual segundo Wendling e Dutra (2010) é de 25 cm de altura e diâmetro de coleto com mínimo de 2,0 mm, foi realizada avaliação das seguintes variáveis: altura em centímetros (H), diâmetro do colo em milímetros (DC), relação altura/diâmetro do colo (H/DC), massa seca da parte aérea em gramas (MSPA), massa seca radicular em gramas (MSR), massa seca total em gramas (MST). Também foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o qual é determinado em função da altura da parte aérea (H), do diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) que é dada pela soma da massa seca do colo e das folhas e da massa seca de raízes (MSR), por meio da fórmula (DICKSON et al., 1960):

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

A altura da parte aérea das mudas foi determinada a partir do diâmetro de coleto até o lançamento do último par de folhas, utilizando-se uma régua graduada em milímetros. O diâmetro de coleto foi determinado a um centímetro do substrato com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As mudas foram cortadas e separadas em parte aérea e radicular. A parte radicular contendo o substrato foi lavada em água corrente e com auxílio de peneiras efetuada a separação das raízes. Tanto a parte aérea quanto as raízes foram colocadas em estufa com temperatura de 70°C até atingir peso constante, sendo após pesadas em balança de precisão.

6.4.3 Procedimentos estatísticos

Após avaliar a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Quando o valor de “F” for significativo, os tratamentos foram submetidos a teste de comparação médias de Scott-Knott. As lâminas de irrigação foram consideradas como tratamentos qualitativos devido à irrigação ser feita em diferentes frequências no dia, considerando-se assim, como (regime de rega) em que a planta pode ter respondido de forma diferente a cada momento de irrigação diária. O pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) foi utilizado para a análise estatística dos dados.

6.5 Resultados e discussão

6.5.1 Análise de substrato e hidrogel

Observa-se que a exceção da densidade seca, todos os demais atributos químicos e físicos avaliados apresentaram efeito significativo em razão das dosagens do hidrogel adicionado ao substrato (Tabela 12).

A densidade úmida (DU) foi maior com o aumento a adição do hidrogel, não diferenciando entre as doses 3 e 6 g L⁻¹, mas diferindo da ausência. A densidade seca (DS)

não apresentou variação com o hidrogel. Já a umidade atual (UA) aumentou a medida que elevou-se a dose do polímero. O aumento da DU e da UA é esperado devido à hidratação do hidrogel sob pequena disponibilidade de água já presente no substrato.

Tabela 12 – Análise do substrato comercial (Carolina Soil[®]) na presença e ausência de hidrogel utilizado para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Atributos analisados	Hidrogel (g L ⁻¹)		
	0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
DU (kg m ⁻³)	211,93 b*	233,80 a	237,60 a
DS (kg m ⁻³)	113,62 ^{ns}	113,50 ^{ns}	110,29 ^{ns}
UA (%)	46,38 c	51,45 b	53,58 a
PT (%)	80,81 c	90,50 b	98,00 a
EA (%)	25,33 a	24,82 a	19,35 b
AD (%)	22,61 c	25,76 b	33,31 a
AFD (%)	19,07 c	22,91 b	28,23 a
AT (%)	3,54 b	6,67 b	5,08 a
AR (%)	32,86 c	39,91 b	45,33 a
CRA10 (%)	55,48 c	65,67 b	78,64 a
CRA50 (%)	36,40 c	42,76 b	50,41 a
CRA100 (%)	32,86 c	39,91 b	45,33 a
pH	4,87 c	5,66 b	6,31 a
CE (mS cm ⁻¹)	0,46 b	0,48 b	0,59 a

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AD = água disponível; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água; CE = condutividade elétrica.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A porosidade total (PT) também aumentou proporcionalmente com a dose do hidrogel utilizada. Já o espaço de aeração (EA) diminuiu com a adição do hidrogel. Conforme os valores indicados como adequados por Gonçalves e Poggiani (1996), a porosidade total do substrato sem adição do hidrogel encontra-se dentro da faixa considerada adequada, no qual varia entre 75 e 85%. Já com a adição do hidrogel, a porosidade total está acima do considerado adequado. Entretanto, de acordo com De Boodt e Verdonck (1972) um substrato adequado

possui no mínimo 85% de PT. Desta forma, a adição do hidrogel proporciona melhoria desta característica que segundo Kämpf (2005) é de fundamental importância para o crescimento das plantas, visto que a alta concentração de raízes formadas nos recipientes exige elevado fornecimento de oxigênio e rápida remoção do gás carbônico formado.

Apesar da maior porosidade total, o espaço de aeração ou macroporosidade, diminuiu com a adição do hidrogel. Este resultado é provavelmente causado pelo preenchimento dos maiores poros no substrato com a hidratação do hidrogel. Para ambas as situações, o espaço de aeração está abaixo do considerado ideal por Gonçalves e Poggiani (1996), no qual situa-se na faixa entre 35-45%.

Quanto à água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR) a adição do hidrogel provocou aumento dos níveis em todos os atributos, mostrando que o hidrogel aumenta a disponibilidade de água no substrato. Segundo Abad et al. (1993), em condições ótimas, o substrato ideal deve apresentar entre 20 e 30% de água facilmente disponível (AFD), entre 4 e 10% de água tamponante (AT) e entre 24 e 40% de água disponível (AD) para as plantas. Para todos estes atributos, a presença do hidrogel proporcionou faixa mais adequada em comparação ao substrato sem o hidrogel. Segundo Zanetti et al. (2003), o aumento da disponibilidade de água no substrato pode reduzir a quantidade de água na irrigação, ou a frequência de irrigação.

Para a capacidade de retenção de água, em todas as colunas de sucções avaliadas, houve aumento da retenção com a elevação da dose do hidrogel adicionado ao substrato (Figura 30).

O substrato com menor capacidade de retenção de água exige maior aplicação de água em cada irrigação, ou que seja aumentada a frequência da mesma (WENDLING et al., 2006). Com a maior capacidade de retenção de água alcançada com o aumento da quantidade de hidrogel, há a necessidade de maior controle de irrigação, com o intuito de evitar o encharcamento, fato que também pode ser muito prejudicial ao crescimento das mudas.

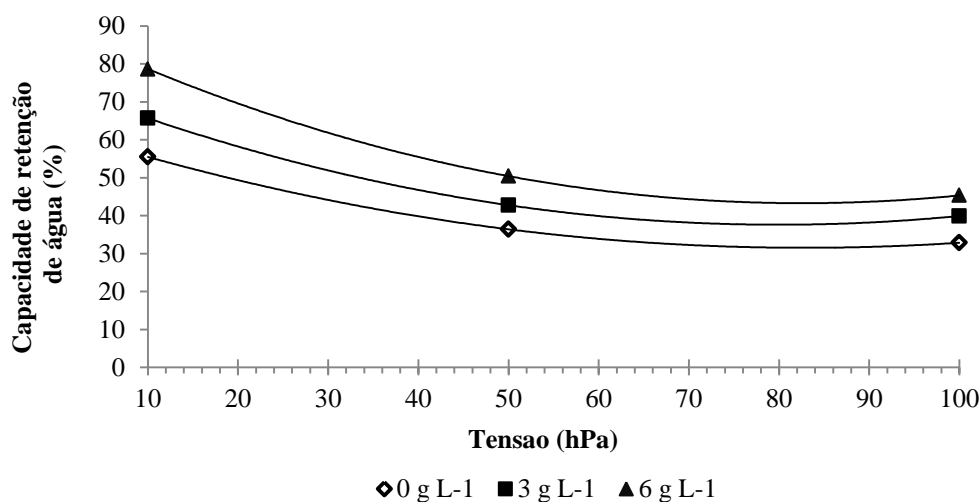


Figura 30 – Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil® em diferentes dosagens do hidrogel submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa.

O excesso hídrico que pode haver com doses muito elevadas do hidrogel no substrato ocasiona a diminuição da pressão de oxigênio ou a falta total ou parcial do mesmo, dificultando a respiração das raízes e conseqüentemente, diminuindo a conversão de energia necessária para a síntese e translocação dos compostos orgânicos e a absorção ativa dos mesmos. A falta de oxigênio nas raízes também provoca a redução na fotossíntese, ocorrendo, portanto, menor crescimento das plantas (REGO et al., 2004).

O pH aumentou com o acréscimo da dose do hidrogel, diferenciando entre as dosagens. A condutividade elétrica (CE) também aumentou com o hidrogel, entretanto a ausência do hidrogel e a dose 3 g L⁻¹ não apresentaram diferença. A elevação do pH com a adição do hidrogel é devido ao potencial básico do hidrogel. A análise de pH em areia lavada indicou o valor de 6,02 na ausência de hidrogel, 6,99 com 3 g L⁻¹ e 8,93 com 6 g L⁻¹. A elevação da dose do hidrogel ocasionou aumento do pH, o que provocou aumento do pH no substrato conforme a incorporação do polímero.

O pH encontrado para o substrato com adição do hidrogel está dentro do limite considerado adequado, o qual segundo Gonçalves e Poggiani (1996), para as espécies florestais, varia entre 5,5 e 6,5. Na ausência do hidrogel, o pH encontrado ficou um pouco abaixo do considerado ideal.

O aumento da condutividade elétrica é devido possivelmente à retenção de água e nutrientes o que causa a elevação do teor de sais no meio e principalmente devido ao potencial salino do polímero. Essa salinidade do polímero foi observada na análise química, a areia lavada sem hidrogel praticamente não apresentou sais nas amostras (CE: 0,01 mS cm⁻¹ e

TTSS: 0,037 g L⁻¹), entretanto, com a adição do hidrogel, o teor de sais aumentou com a dose 3 g L⁻¹ (CE: 0,067 mS cm⁻¹ e TTSS: 0,290 g L⁻¹) e elevou-se ainda mais na maior dose do hidrogel – 6 g L⁻¹ (CE: 0,243 mS cm⁻¹ e TTSS: 0,587 g L⁻¹).

Em geral, para as espécies florestais, a condutividade elétrica deve estar entre 1,5 a 3,0 mS cm⁻¹. Os resultados encontrados para o substrato estão bem abaixo desta faixa, entretanto como a análise foi realizada somente com a adubação presente no substrato comercial, com a adubação adicionada os valores tendem a aumentar em função da dose do fertilizante utilizada.

6.5.2 Crescimento inicial das mudas

A análise de variância mostrou que houve interação entre os fatores principais para a variável altura ($p < 0,001$) e diâmetro do coleto ($p < 0,0001$). Para a relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) houve efeito significativo somente para o fator lâminas de irrigação ($p < 0,0001$) (Apêndice 1). Para as variáveis massa seca da parte aérea – MSPA ($p = 0,038$), massa seca radicular – MSR ($p = 0,002$), massa seca total – MST ($p = 0,021$) e índice de qualidade de Dickson – IQD ($p < 0,0001$), houve interação entre os fatores principais (Apêndice 9).

A altura e o diâmetro do coleto das mudas apresentaram um comportamento diferenciado quando se fez o uso de diferentes dosagens do hidrogel e diferentes lâminas de irrigação (Tabela 13), mostrando que estas variáveis morfológicas são influenciadas pelos dois fatores em conjunto. Na ausência do hidrogel a maior altura das mudas foi obtida com a lâmina de 20 mm diários, não diferenciando das lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹. A menor altura das mudas foi com o uso de 4 e 8 mm não diferenciando entre si.

Em relação ao diâmetro do coleto, na ausência de hidrogel, a maior média foi obtida com a lâmina 16 mm dia⁻¹, não diferenciando de 20 mm dia⁻¹. A lâmina 4 mm dia⁻¹ apresentou a menor média, diferenciando das demais lâminas de irrigação. Pode-se estabelecer que, para um bom desenvolvimento em altura das mudas de *Eucalyptus dunnii* aos 90 dias de idade, é necessário o uso de uma lâmina de irrigação mínima de 12 mm dia⁻¹.

Este resultado é corroborado por Lopes et al. (2005), no qual as lâminas de irrigação 12 e 14 mm dia⁻¹ foram as que mais contribuíram para o desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus grandis*, destacando-se que a lâmina máxima testada foi 14 mm dia⁻¹ e com tendência ao aumento da altura com aumento da lâmina, conforme observa-se a equação.

Segundo os resultados obtidos pelos autores e por este experimento, percebe-se que há uma demanda muito alta por água pelas mudas, podendo-se não atingir o limite máximo de crescimento das mudas com os níveis de irrigação testados. Segundo Alvarenga et al. (1994), estudando o efeito de dois níveis de umidade em *Eucalyptus grandis* (um na capacidade de campo e outro com potencial de água no solo de -1,5 MPa), encontraram crescimento superior a 65% nas plantas produzidas na capacidade de campo. Os autores relatam ainda que a tensão de -1,5 MPa apresenta certa disponibilidade de água às plantas, mas que já leva a uma redução considerável de crescimento. Esses resultados ressaltam a importância da água no desenvolvimento de mudas de eucalipto.

Tabela 13 – Altura (cm) e diâmetro de coleto (mm) de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de hidrogel e diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Variável	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	Hidrogel		
		0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
Altura (cm)	4 mm	24,68 Bb*	30,06 Ab	28,97 Ab
	8 mm	26,52 Bb	30,87 Ab	32,55 Aa
	12 mm	28,78 Ba	35,35 Aa	34,48 Aa
	16 mm	29,03 Aa	32,27 Ab	32,71 Aa
	20 mm	30,03 Aa	32,62 Ab	29,78 Ab
DC (mm)	4 mm	2,25 Bc*	2,90 Ab	3,01 Ab
	8 mm	2,54 Bb	2,85 Ab	2,93 Ab
	12 mm	2,79 Bb	3,45 Aa	3,36 Aa
	16 mm	3,14 Aa	3,27 Aa	3,20 Aa
	20 mm	2,98 Aa	2,87 Ab	2,90 Ab

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

O menor crescimento das mudas nas menores lâminas de irrigação deve-se provavelmente a quantidade insuficiente de água para o pleno crescimento das mudas. Pereira et al. (1997) relatam que a quantidade insuficiente de água proporciona uma redução da reserva útil do meio, prejudicando as plantas e aumentando os custos da água aplicada, além de acentuar os problemas relacionados com a salinização. Para Lopes (2004) e Taiz e Zeiger (2009), a deficiência hídrica também gera redução da atividade fotossintética, conjuntamente

com a diminuição do volume celular e o declínio da turgescência. Além disso, o déficit hídrico reduz bruscamente as atividades fisiológicas ligadas à divisão e ao crescimento das células, ou seja, reduz o crescimento das plantas (BERNARDO, 2005).

Entretanto, deve-se tomar cuidado na utilização excessiva da irrigação, a qual pode proporcionar lixiviação de nutrientes, fator que também pode prejudicar o crescimento das mudas, fato já descrito por Lopes et al. (2007).

A maximização do desenvolvimento em altura das mudas pode ser obtida com a utilização de hidrogel e lâminas de irrigação adequadas. No uso de 3 g L⁻¹ de hidrogel a maior altura e DC das mudas foi obtido com a lâmina de irrigação 12 mm dia⁻¹ (Tabela 13), diferenciando das demais lâminas de irrigação. Este ganho em altura e diâmetro de coleto pode ser devido a maior retenção de água, havendo boa disponibilidade a planta, mas não em excesso. Este excesso também pode provocar uma diminuição do crescimento, fato que foi observado com o uso das maiores lâminas de irrigação.

O excesso de água junto ao sistema radicular proporciona condições desfavoráveis de oxigenação que, por sua vez, reduzem a atividade fotossintética e restringem severamente a respiração vegetal (KANWAR et al., 1988), ou seja, minimizam a fixação do carbono em compostos orgânicos (sacarose, amido, glicose, etc.) e diminuem a produção de energia química na forma de ATP, diminuindo assim o desenvolvimento da planta (RAVEN et al., 2001).

Diminuição ainda maior da quantidade de água via irrigação pode ser possível com o uso de 6 g L⁻¹ de hidrogel. Neste caso, a lâmina de irrigação 8 mm dia⁻¹ pode ser utilizada sem apresentar diferença em altura em relação as lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹. O uso de 6 g L⁻¹ de hidrogel com a menor (4 mm dia⁻¹) e maior (20 mm dia⁻¹) lâminas de irrigação ocasionou diminuição da altura, diferenciando das demais. Em relação ao diâmetro do coleto, as lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹ apresentaram os maiores valores, diferenciando das demais lâminas.

Desta maneira, mesmo o uso da maior dose do hidrogel, há a necessidade de uma lâmina de irrigação de no mínimo 8 mm dia⁻¹ para a maximização do crescimento em altura e diâmetro do coleto.

Diversos trabalhos mostram que a relação de crescimento das mudas, principalmente em relação à altura e diâmetro é influenciada pelo regime hídrico. Xavier et al. (2011), observaram que plantas de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (C1 e C2), crescendo em vasos sob diferentes níveis de déficit hídrico (30 e 60 dias), apresentaram maior crescimento sob maior disponibilidade. Tatagiba et al. (2006), estudando seis clones

comerciais de *Eucalyptus* spp. em resposta à disponibilidade de água, verificaram que a deficiência hídrica restringiu o crescimento em altura e diâmetro dos clones estudados.

A primeira consequência fisiológica para as plantas submetidas ao estresse hídrico é a redução ou a interrupção dos ritmos de crescimento, devido à redução na diferenciação celular, influenciada pela menor disponibilidade hídrica (CAIRO, 1995). Segundo Nunes (2007), as plantas podem desenvolver mecanismo de tolerância à baixa disponibilidade hídrica, ao nível celular, através da produção e/ou acúmulo de solutos osmoticamente ativos processo conhecido como ajustamento osmótico ou osmorregulação, a fim de manter o turgor e equilíbrio do potencial hídrico na célula. Entretanto, o ajuste osmótico permite a sobrevivência da planta em baixa disponibilidade hídrica, mas não mantêm o crescimento e a produtividade da planta (SERRAJ; SINCLAIR, 2002).

Observando-se a interação relativa ao fator hidrogel nas diversas lâminas de irrigação (Tabela 13), a altura das mudas foi maior com o uso das dosagens 3 e 6 g L⁻¹ nas lâminas 4, 8 e 12 mm dia⁻¹, diferenciando da ausência do hidrogel, a qual apresentou menores médias de altura. Já nas maiores lâminas de irrigação (16 e 20 mm dia⁻¹) não houve diferença estatística entre o uso do hidrogel, independente da dose utilizada. O diâmetro do coleto apresentou comportamento similar à altura, exibindo diferença entre as médias com o uso do hidrogel nas lâminas 4, 8 e 12 mm dia⁻¹. Nestas lâminas de irrigação foi observada maior média com o uso hidrogel, mesmo na dose 3 g L⁻¹.

A relação H/DC apresentou diferença em relação às lâminas de irrigação (Tabela 14). A menor relação H/DC foi obtida com as lâminas 4 e 8 mm dia⁻¹, e a maior relação com a lâmina 20 mm dia⁻¹, diferenciando das demais médias. Comportamento semelhante foi encontrado em trabalho relacionado com diferentes lâminas de irrigação na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. Lopes et al. (2005) observaram, para a relação H/DC, o aumento desse parâmetro à medida que aumentava a lâmina de irrigação, em proporções constantes até 12 mm dia⁻¹ (11,1), a partir de então, o aumento na relação H/DC ocorreu em índices menores, alcançando 11,91 com a lâmina de 14 mm dia⁻¹.

A relação H/DC, segundo padrão recomendado por Birchler et al. (1998), para espécies florestais deve ser menor que 10, valores obtidos nas menores lâminas de irrigação. Carneiro (1995) salienta que, quanto menor for este valor, maior será a capacidade das mudas sobreviverem e se estabelecerem. A menor relação H/DC nos tratamentos com as lâminas de irrigação 4 e 8 mm dia⁻¹ pode ser atribuída a menor taxa de crescimento em altura das mudas em relação ao diâmetro do coleto, nos casos em que há baixa disponibilidade de água para a planta. Estudos realizados por Silva et al. (2010), em plantas jovens de *Erythrina velutina*

revelaram que o crescimento em altura foi bastante afetado por variações nos regimes hídricos, sendo o diâmetro de coleto menos sensível a estas variações. Da mesma forma Rodrigues (2007), analisando o uso da água em unidade de produção de mudas de eucalipto, verificou que o diâmetro de colo mostrou-se menos afetado pelo estresse hídrico que a altura de plantas.

Tabela 14 – Relação H/DC de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função de diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	Relação H/DC
4 mm	9,29 c*
8 mm	9,88 c
12 mm	10,95 b
16 mm	10,96 b
20 mm	11,80 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Em relação à massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) observa-se a interação entre as lâminas de irrigação e as doses do hidrogel. Na ausência do hidrogel, as maiores médias de MSPA, MSR e MST foram obtidas com as lâminas de irrigação 12, 16 e 20 mm dia⁻¹, diferenciando das lâminas 4 e 8 mm dia⁻¹, as quais obtiveram as menores médias (Tabela 15).

O IQD não apresentou diferença estatística em relação às lâminas de irrigação na ausência do polímero hidrotentor. Estes resultados são corroborados por Lopes et al. (2007), no qual os autores verificaram que houve incremento da MSPA, MSR e MST conforme o aumento da lâmina. A menor produção de massa da parte aérea e radicular nas menores lâminas de irrigação deve ser atribuída provavelmente a baixa disponibilidade hídrica à planta. Segundo Larcher (2000), a insuficiência hídrica afeta o estado nutricional dos vegetais, pois reduz ou cessa a absorção de elementos minerais, que são componentes integrantes de enzimas, pigmentos ou ativadores do processo fotossintético. Além disso, segundo o autor, o aporte nutricional das plantas pode interferir negativamente na sua morfogênese, ou seja, no crescimento, tamanho e estrutura das folhas, nos ramos e nas raízes, provocando assim a diminuição da biomassa das plantas.

Com o uso do hidrogel, independente do uso de 3 ou 6 g L⁻¹, a MSPA apresentou o menor valor com a lâmina 4 mm dia⁻¹, diferenciando das demais lâminas. Neste caso, é possível observar que há aumento da MSPA com menores lâminas de irrigação em comparação a ausência do hidrogel. Este resultado pode indicar que com o uso do hidrogel é possível haver redução das lâminas de irrigação na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Em relação às dosagens de hidrogel com o uso de diferentes lâminas de irrigação, as maiores médias foram alcançadas com o uso de 3 e 6 g L⁻¹ nas menores lâminas de irrigação (4, 8 e 12 mm dia⁻¹), deixando de existir diferença com o uso das lâminas 16 e 20 mm dia⁻¹. Este resultado indica que o hidrogel apresenta vantagem na utilização quando se fez uso de menor quantidade de água para irrigação. O uso de lâminas maiores de irrigação pode dispensar o uso do polímero, pois neste caso a presença do polímero pode influenciar negativamente na qualidade das mudas.

Os valores mais elevados de massa seca da parte aérea (MSPA), alcançados com o uso do polímero, ocorreram, possivelmente, pela maior disponibilidade hídrica às raízes das plantas. De acordo com Felipe (1979), o estado de umidade do meio determina a variação do conteúdo de água nos tecidos das plantas. Deste modo, em condição de maior disponibilidade de água, há um aumento do teor de água em seus tecidos e, com isso, acúmulo maior de biomassa.

A MSR na presença do hidrogel, independente da dose, foi maior com as lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹. A partir dessas lâminas, o aumento da irrigação e o uso do hidrogel provocaram a diminuição da massa seca radicular, provavelmente em função do excesso de umidade no substrato, diminuindo a oxigenação das raízes e conseqüentemente o desenvolvimento radicular, e aéreo da planta. Em condições de excesso, a água ocupa todo o espaço poroso, reduz as trocas gasosas e pode propiciar condições anaeróbicas em torno das raízes. Esta situação diminui a respiração e limita a fotossíntese favorecendo, ainda, o aparecimento de doenças nas plantas (MARTINS et al., 1999). Sob altas temperaturas o excesso de água é ainda mais problemático pois aumenta a taxa respiratória da raiz (PEREIRA; MARTINEZ, 1999).

Tabela 15 – Médias de massa seca da parte aérea - MSPA (g), massa seca radicular – MSR (g), massa seca total – MST (g) e Índice de Qualidade de Dickson - IQD de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de hidrogel e diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Variável	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	Hidrogel		
		0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
MSPA (g)	4 mm	1,32 Bb*	1,65 Ab	1,81 Ab
	8 mm	1,49 Bb	1,89 Aa	1,97 Aa
	12 mm	1,82 Ba	2,12 Aa	2,17 Aa
	16 mm	1,80 Aa	1,97 Aa	2,09 Aa
	20 mm	1,95 Aa	2,05 Aa	2,07 Aa
MSR (g)	4 mm	0,3492 Bb	0,4788 Ab	0,4988 Ab
	8 mm	0,3514 Bb	0,4528 Ab	0,5086 Ab
	12 mm	0,3806 Ba	0,5721 Aa	0,6040 Aa
	16 mm	0,3986 Ba	0,5449 Aa	0,5624 Aa
	20 mm	0,3941 Ba	0,4495 Bb	0,5099 Ab
MST (g)	4 mm	1,66 Bb	2,12 Ab	2,21 Ab
	8 mm	1,80 Bb	2,34 Aa	2,47 Aa
	12 mm	2,12 Ba	2,69 Aa	2,77 Aa
	16 mm	2,29 Aa	2,42 Aa	2,58 Aa
	20 mm	2,24 Ba	2,60 Aa	2,61 Aa
IQD	4 mm	0,1225 Ba	0,1650 Ab	0,1617 Ab
	8 mm	0,1287 Ba	0,1800 Aa	0,1650 Ab
	12 mm	0,1325 Ba	0,1851 Aa	0,1925 Aa
	16 mm	0,1275 Ba	0,1775 Aa	0,1700 Aa
	20 mm	0,1250 Ba	0,1725 Aa	0,1825 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

A MST na presença do hidrogel apresentou comportamento das médias similar à MSPA. A lâmina de irrigação 4 mm dia⁻¹ apresentou os menores resultados diferenciando das demais lâminas. A presença do hidrogel apresentou diferença nas médias em comparação a ausência nas menores lâminas de irrigação. A partir da lâmina 16 mm dia⁻¹ não houve mais diferença da presença (3 e 6 g L⁻¹) ou ausência (0 g L⁻¹) do polímero.

Segundo Ferreira et al. (1999), a formação radicular apresenta grande importância na formação de mudas de qualidade. Segundo o autor no momento de déficit hídrico as raízes são as primeiras a serem afetadas, a partir do qual são desencadeados uma série de efeitos em toda a planta. Carneiro (1995) ressalta sobre a importância das raízes, as quais asseguram maior desenvolvimento às mudas, pois as mesmas estão fortemente associadas às atividades fisiológicas, e são fundamentais para estimar a sobrevivência e o crescimento inicial, em condições de campo.

Em relação ao Índice de Qualidade de Dickson, na utilização de 3 g L⁻¹ de hidrogel, as maiores médias foram observadas a partir da lâmina de irrigação 8 mm dia⁻¹. A lâmina 4 mm dia⁻¹ apresentou o menor IQD, diferenciando das demais. Na utilização de 6 g L⁻¹ de hidrogel as lâminas 4 e 8 mm dia⁻¹ apresentaram as menores média, diferindo das lâminas com maior irrigação. A presença do hidrogel (3 e 6 g L⁻¹) apresentou diferença nas médias em comparação à ausência (0 g L⁻¹) em todas as lâminas de irrigação. Isto representa que o uso do hidrogel apresentou benefício às mudas em todas as lâminas de irrigação utilizadas, considerando-se o IQD como parâmetro.

De acordo com Gomes et al. (2002), quanto maior o IQD, melhor a qualidade das mudas, podendo-se assim constatar a elevada qualidade das mudas produzidas, considerando que os melhores valores foram entre 0,18 e 0,19, valores obtidos na presença do hidrogel e lâminas intermediárias de irrigação.

6.6 Conclusões

Melhoria das características físicas e químicas do substrato, principalmente as relacionadas à retenção de água.

A redução da irrigação das mudas de *Eucalyptus dunnii* é possível fazendo-se a adição de 3 g L⁻¹ do polímero hidroretentor, podendo-se obter desenvolvimento superior com menores lâminas de irrigação na comparação a ausência do hidrogel.

7 CAPÍTULO V

IFLUÊNCIA DO HIDROGEL NA SOBREVIVÊNCIA DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS

7.1 Resumo

A utilização de polímeros adsorventes de água, no momento do plantio de mudas, tem a função de retenção de água e a sua liberação de maneira gradativa para a planta, podendo aumentar a eficácia da irrigação. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do uso do hidrogel em mudas de *Eucalyptus dunnii* cultivadas em recipientes, relacionando com frequências de irrigações, buscando fornecer informações sobre a eficiência do uso do hidrogel. Foram utilizadas mudas de aproximadamente 25 cm de altura plantadas em vasos preenchidos com 2,5 L de solo. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema bifatorial 2 x 3, em que os níveis do fator “A” referiram-se a presença (3 g L⁻¹) e ausência de hidrogel e os níveis do fator “B”, às frequências de irrigação (somente no plantio, 6 e 3 dias). Foram utilizadas dez repetições, compostas por uma planta. Após o plantio, a cada dois dias, foi realizada avaliação da sintomatologia do estresse hídrico nas plantas até o 44º dia. Foi adotado o seguinte critério de análise: SEM – sem sintoma; SLM - com sintoma leve de murcha; SMM - com sintoma moderado de murcha; SSM - com sintoma severo de murcha e PPV – número de dias que a planta permaneceu viva, sendo anotado o número de dias que cada planta permanecia em cada condição. Houve interação entre os fatores principais para a maioria das variáveis avaliadas, mostrando que o uso do hidrogel tem influência nos sintomas de deficiência hídrica em relação à frequência de irrigação. O uso do hidrogel proporcionou um atraso nos sintomas de estresse hídrico em todas as características avaliadas. O maior período sem apresentar sintomas de déficit hídrico com o uso do hidrogel foi observado na irrigação de plantio e na frequência de seis dias entre irrigações. Não foi observado efeito da presença ou ausência do hidrogel no uso das irrigações mais frequentes (3 dias).

Palavras-chave: Hidroretentor. Irrigação. Estresse hídrico. Sobrevivência de mudas.

7.2 Abstract

The use of polymeric adsorbents water, at planting of seedlings, has the function of water retention and its release in a gradual fashion to the plant, and may increase the effectiveness of the irrigation. This study aimed to evaluate the effect of using the hydrogel in planting seedlings of *Eucalyptus dunnii* in pots, relating to frequency of irrigation. Seedlings were used approximately 25 cm planted in pots filled with 2.5 liters of soil. The experiment was conducted in a completely randomized in a factorial scheme 2 x 3, where levels of factor "A" indicated the presence and absence of hydrogel and the levels of the factor "B", the frequency of irrigation. Ten replicates were used, consisting of a plant. After planting, every two days, was conducted assessing symptoms of water stress on plants until the 44th day. We adopted the following criteria analysis: SEM - no symptom, LDH - with mild symptoms of wilt; MDH - with moderate symptoms; SDH - with severe symptoms and SBV - the number of days the plant remained alive, and noted the number of days each plant remained in each condition. There was interaction between the main factors for the majority of variables, showing that the use of hydrogel has influences on symptoms of water deficit in the frequency of irrigation. The use of hydrogel provided a delay in symptoms of water stress in all traits. The longest period without symptoms of water deficit using the hydrogel was observed in planting and irrigation frequency six days between irrigations. There was no effect of the presence or absence of the hydrogel in the use of more frequent irrigations (3 days).

Keywords: Hidroretentor. Irrigation. Water stress. Survival of seedlings.

7.3 Introdução

A influência das variáveis ambientais no crescimento de povoamentos de eucalipto é notória, dentre elas se destacam a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração potencial, a temperatura máxima e a temperatura mínima (MAESTRI, 2003). O aporte hídrico é o principal elemento controlador da produtividade do eucalipto, assim, em períodos de déficit hídrico, a produção de madeira é significativamente afetada (STAPE, 2001).

Condições de solo e umidade são fatores chave para o estabelecimento de florestas, pois afetam o plantio e a regeneração das plantas. Assim, é necessária a elaboração de novos procedimentos ou modificações para a melhoria das condições de umidade do solo. Esses

procedimentos devem buscar o aumento da sobrevivência das mudas e elevar o desempenho no campo após o plantio (SARVAS et al., 2007).

Para aumentar a qualidade da implantação florestal, a irrigação de mudas de espécies florestais durante o plantio e nas primeiras semanas da implantação é uma operação importante em plantações comerciais, principalmente nas épocas secas do ano, influenciando na sobrevivência e desenvolvimento das mesmas (BUZZETTO et al., 2002).

Além disso, a capacidade de armazenamento de água em solos de textura mais arenosa pode ser um fator limitante ao plantio. No caso de plantio de mudas com tubetes, a avaliação se mostra ainda mais necessária, pois o meio de crescimento não proporciona reserva de água suficiente para manter a muda viva por mais de uma semana no campo, podendo, esse tempo, ser ainda menor sob condições de pós-plantio quente e seco (STAPE, 1989). O mesmo autor sugere aplicar seis litros de água por planta no plantio, seguida por outra irrigação uma semana depois do plantio caso não ocorra precipitação nesse período, independente do tipo de solo.

Uma alternativa para minimizar o problema de falta de água na época seca é a utilização de polímeros adsorventes de água, que possibilitam a retenção de água e a sua liberação de maneira gradativa à planta, podendo aumentar a eficácia da irrigação e diminuir o risco de ocorrência de falhas durante a implantação do povoamento florestal (BUZZETTO et al., 2002).

Conforme Volkmar e Chang (1995), os hidrogéis são utilizados na agricultura como alternativa de produção para as regiões de clima árido, visando prolongar a disponibilidade de água para as plantas. Sua aplicação se tornou conhecida nas diferentes partes do planeta, diversificando-se, sobremaneira, em hortaliças e culturas anuais. A maior parte das pesquisas realizadas se mostrou favorável ao emprego de polímeros nos solos agrícolas, apresentando como principal fator de convergência a melhor utilização da água. Por outro lado, Huttermann et al. (1997) comentam que alguns hidrogéis não apresentaram efeitos benéficos à sobrevivência de árvores sob condições de seca, os quais podem ser até prejudiciais devido a absorção de água do substrato pelo polímero e pela concentração excessiva de sais.

Com o aparecimento de uma nova geração de polímeros, as suas aplicações se intensificaram ultimamente, principalmente em projetos paisagísticos, gramados esportivos, fruticultura, reflorestamento, plantio de lavouras e viveiro de mudas, sendo que alguns viveiristas já utilizam esses polímeros em misturas com o substrato, obtendo resultados satisfatórios. Por outro lado, alguns resultados de pesquisa têm sido contraditórios na utilização desses polímeros, considerando-se que vários fatores afetam seu desempenho, tais

como modo de aplicação, disponibilidade de água, concentração de sais presentes no solo e na água a ser usada e resistência que o meio oferece à expansão do polímero (VALE et al., 2006).

Em espécies florestais, o hidrogel é utilizado na implantação de povoamentos, onde várias empresas o utilizam em escala operacional, podendo reduzir os custos de plantio de eucalipto em 8% no primeiro ano, chegando ao final do ciclo de sete anos com economia de 3% (BOLETIM CELULOSE ON-LINE, 2007). Em *Nothofagus dombeyi* (espécie arbórea nativa do Chile), Nissen e Ovando (1999) verificaram a eficácia do hidrogel obtendo aumento de sobrevivência, diâmetro do coleto e altura das plantas. Neste caso o polímero foi aplicado previamente ao plantio, sendo que as raízes foram imersas em solução a 0,5% durante 10 minutos.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso do hidrogel em mudas de *Eucalyptus dunnii* cultivadas em recipientes, relacionando com frequências de irrigações, buscando fornecer informações sobre a eficiência do uso do hidrogel após o transplante.

7.4 Material e métodos

7.4.1 Produção das mudas

O estudo foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais (29°43'S; 53°43'W) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), entre julho e novembro de 2012. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo 'Cfa' (subtropical úmido), caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C, e do mês mais quente superior a 22°C, com precipitação média anual de 1.769 mm (MORENO, 1961). Na região ocorrem as quatro estações bem definidas, cujos meses mais frios compreendem entre junho e agosto, e os mais quentes entre dezembro e março.

As sementes de *Eucalyptus dunnii* utilizadas são originárias de Área de Produção de Sementes da empresa da qual foi feita a aquisição do material. Conforme os dados fornecidos pela empresa o lote possuía pureza de 90% e porcentagem de germinação média de 80%. Após a aquisição das sementes até a semeadura (aproximadamente 1 ano) as sementes foram

acondicionadas em embalagem de plástico semipermeável (90 micras de espessura) e armazenadas em câmara fria ($T = 8^{\circ}\text{C}$; UR= 85%).

As mudas utilizadas no experimento foram produzidas em tubetes com a capacidade de 110 cm^3 utilizando o substrato Carolina Soil[®], sem a presença do hidrogel. A adubação de base utilizada foi composta de fertilizante de liberação controlada na formulação NPK 18-5-9, sendo utilizada a dose de 6 g L^{-1} de substrato. A semeadura foi efetuada colocando-se duas a três sementes em cada recipiente. Para a cobertura das sementes foi utilizada uma fina camada peneirada de vermiculita visando cobertura homogênea sobre as pequenas sementes da espécie.

Após a semeadura, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, onde permaneceram por 60 dias, e, após, foram transferidas para área de crescimento e aclimatação (rustificação) por mais 30 dias. A irrigação no primeiro ambiente foi realizada por uma barra móvel de microaspersores com lâmina d'água de 4 mm e, no segundo ambiente, 8 mm diários.

7.4.2 Transferência para vasos

Após as mudas estarem em um desenvolvimento adequado para o plantio a campo, ou seja, altura próxima a 25 cm e no mínimo 2,0 mm de diâmetro de coleto conforme recomendado por Wendling e Dutra (2010) foi realizada a transferência para os vasos contendo solo. O solo utilizado foi classificado com Latossolo Vermelho com textura argilosa.

Para simular a condição de campo, foram usados vasos de polietileno com 3 L de capacidade e 25 cm de altura, utilizando 2,5 L do solo previamente peneirado (malha de 5 mm) e seco. Depois de preenchidos os vasos, o solo foi molhado com 500 mL de água em todos os recipientes. Foi realizada a abertura de uma cova manual de aproximadamente 300 cm^3 no centro de cada vaso para a realização do plantio. Nos tratamentos utilizando o hidrogel foram adicionados 200 mL na forma já hidratada, antes da realização do plantio da muda (Figura 31A). A hidratação foi realizada meia hora antes, utilizando-se 3 g do hidrogel por litro de água.

O polímero comercial (Hydroplan[®]) utilizado correspondeu a um produto misto de copolímero de acrilamida ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$) e acrilato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) usado para absorver e

reter grandes quantidades de água e nutrientes, com as seguintes características: pó branco insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de $0,8 \text{ g cm}^{-3}$ e índice de pH utilizável do solo de 5 a 9, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão), capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume, sendo compatível com a maioria dos insumos utilizados, e vida útil que varia de 1 a 5 anos, conforme a granulometria (menor granulometria tem menor vida útil).

Após a abertura da cova para o plantio, preenchidas ou não com o hidrogel, foi realizado o plantio das mudas de *Eucalyptus dunnii* (Figura 31B).

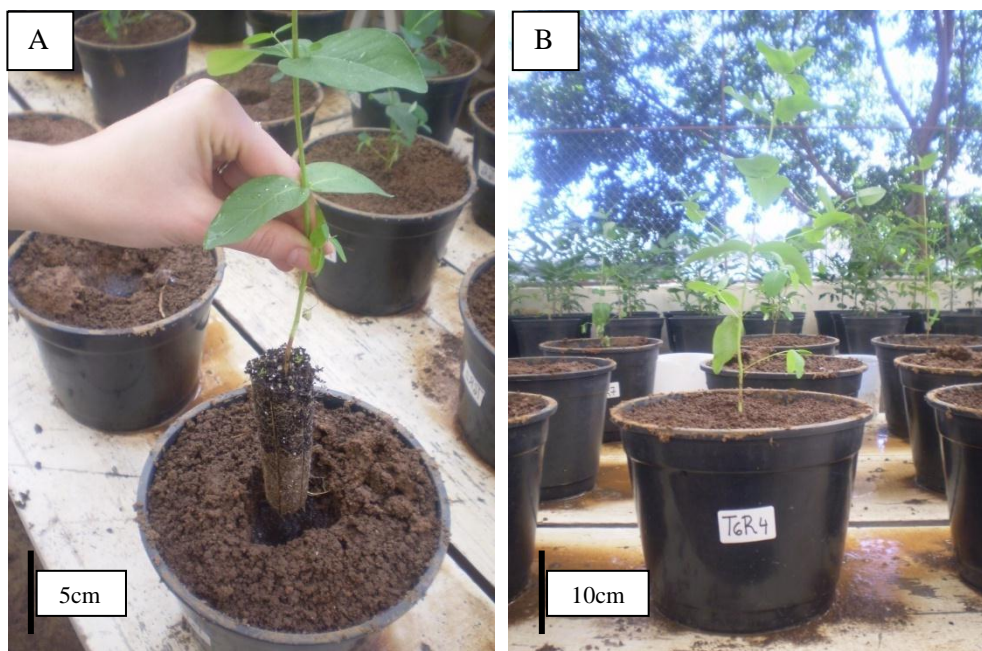


Figura 31 – A - Vasos com a abertura da cova para o plantio das mudas de *Eucalyptus dunnii*. B – Mudas após o plantio.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema bifatorial 2×3 , em que os níveis do fator “A” referiram-se à presença ($3 \text{ g de hidrogel L}^{-1}$ de água – 200 mL vaso^{-1}) e ausência de hidrogel e, os níveis do fator “B”, à frequência de irrigação (somente no plantio, e intervalos de 6 e 3 dias). Foram utilizadas dez repetições, compostas por uma planta.

Após o plantio, além dos 500 mL para umedecer o solo, foram adicionados 200 mL de água para cada vaso para os tratamentos sem o hidrogel, de modo a compensar o volume de

água adicionado via hidrogel. Para os tratamentos com irrigações foram utilizados 100 mL de água em cada vaso seguindo a frequência determinada (tratamentos) e a metodologia descrita por Lopes et al. (2010).

Depois do plantio até o 44º dia, a cada dois dias, foram realizadas avaliações da sintomatologia do estresse hídrico nas plantas. Foi adotado o seguinte critério de análise, sendo anotado o número de dias que cada planta permanecia em cada condição: SEM – dias sem sintomas (planta turgida, visualmente vigorosa, sem sintomas de déficit hídrico); SLM – dias com sintomas leves de murcha; SMM - dias com sintomas moderados (planta em ponto de murcha permanente, com o ápice escurecido e curvado); SSM – dias com sintomas severos de murcha (folhas secas e/ou em abscisão). Para a sobrevivência foi adotado o código PPV – número de dias que a planta permaneceu viva.

Após avaliar a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Quando o valor de “F” foi significativo, os tratamentos qualitativos tiveram suas médias comparadas por meio do teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. O pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) foi utilizado para a análise estatística dos dados.

7.5 Resultados e discussão

A análise de variância dos dados medidos no 44º dia após transferência para os vasos mostrou que houve interação ($p < 0,05$) entre os fatores para a maioria das variáveis avaliadas, a exceção de sem sintoma (SEM) que apresentou efeito significativo para os fatores principais (hidrogel - $p = 0,0170$ e freq. irrigação - $p < 0,01$).

A avaliação da sintomatologia do estresse hídrico originou diferentes classes de estresse, sendo que ao final da avaliação foram encontradas plantas ainda vivas, mas não houve plantas sem estresse hídrico, independente do uso ou não do hidrogel. A Figura 32A representa uma muda sem déficit, sendo classificada como sem sintomas (SEM), ou seja, planta turgida. O aparecimento de sintomas de déficit hídrico, como murcha no ápice, foi classificada como sintoma leve de murcha (SLM) (Figura 32B). Plantas com o ápice escurecido e curvado, (Figura 32C) foram denominadas com sintomas moderados (SMM). Quando as plantas apresentaram folhas secas ou com abscisão foliar, estas foram

denominadas com sintomas severos (SSM) (Figura 32D), já no momento em que as plantas apresentaram folhas totalmente secas, estas foram consideradas mortas (Figura 32E).

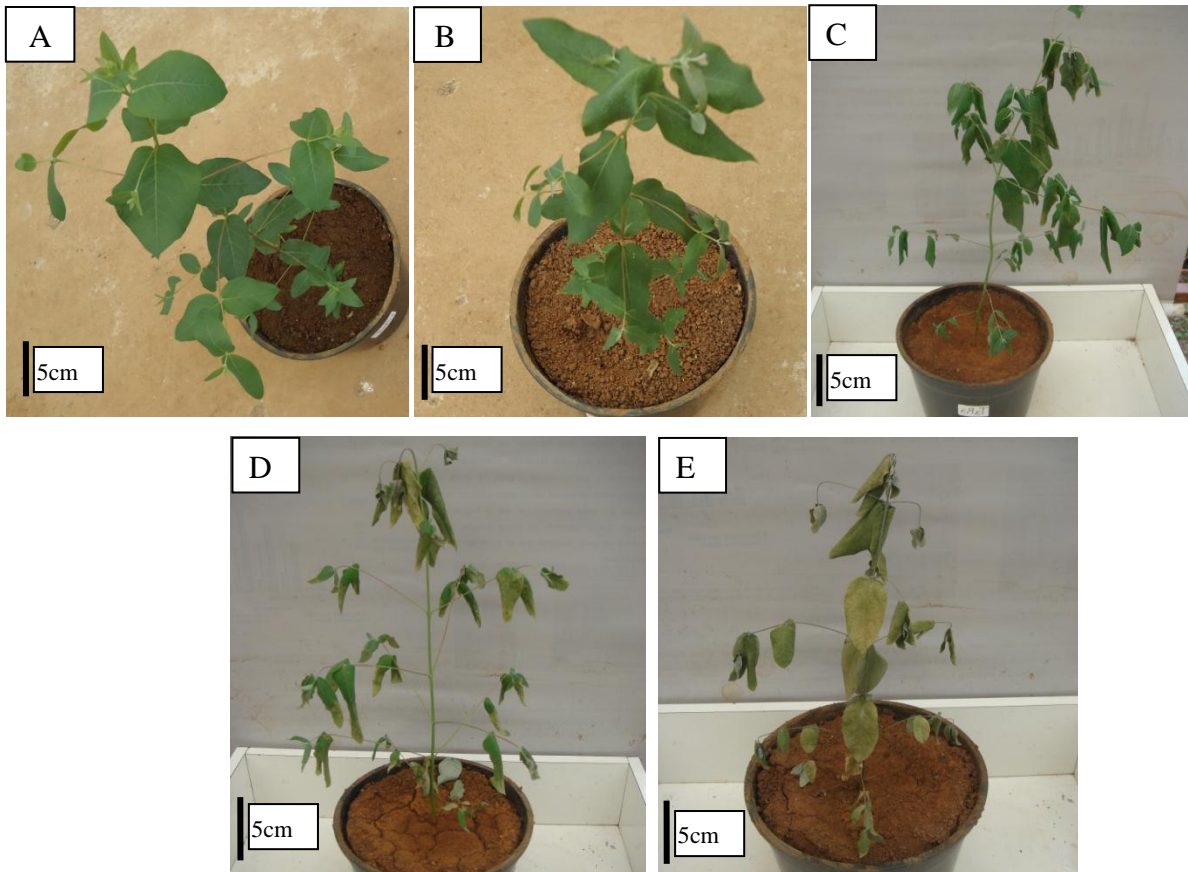


Figura 32 – Avaliação da sintomatologia do estresse hídrico em plantas de *Eucalyptus dunnii* submetidas a diferentes regimes de irrigação na presença e ausência de hidrogel. A- sem sintomas; B- sintoma leve de murcha; C- sintomas moderados; D – sintomas severos e E – planta morta.

Não foi observada interação entre o uso de hidrogel e a frequência de irrigação na avaliação de plantas sem sintomas, ou seja, a presença do hidroretentor não teve influência sobre as plantas túrgidas, independente da frequência de irrigação. Com a presença do hidrogel, as mudas de *Eucalyptus* permaneceram mais dias sem apresentar sintomas de déficit hídrico, retardando em média três dias o aparecimento de sintomas (Tabela 16). O uso de irrigação apresentou efeito esperado, sendo que em menor frequência (três dias) houve um atraso do aparecimento de sintomas.

A frequência de irrigação de seis dias elevou o tempo para o aparecimento de estresse comparando com a irrigação somente no plantio. Apesar de haver diferença entre as

frequências três e seis dias de irrigação, a magnitude de dias sem apresentar estresse é menos expressiva, quando comparada à irrigação somente no plantio. A irrigação somente no plantio provocou um rápido aparecimento de estresse. Por outro lado, deve-se ressaltar que o plantio foi realizado em vasos, com solo e condições específicas, servindo somente como indicativo do comportamento do uso do hidrogel e diferentes manejos de irrigação em condições do plantio a campo.

Da mesma forma, Lopes et al. (2010) avaliando o uso de hidrogel na sobrevivência, após o plantio em solo argiloso, de mudas clonais de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos, mostraram que o hidrogel exerce influência no aparecimento de sintomas de estresse hídrico. Segundo os autores, o hidrogel possibilitou que as plantas permanecessem vivas sem sintomas de falta de água por até 20 dias, cerca de até 7 dias a mais do que quando o produto não foi adicionado nas covas de plantio. Deve-se considerar que esse maior período (20 dias) para aparecer o estresse, observado por esses autores, é devido ao maior tamanho do vaso no qual foi feito o plantio (10 L), bem maior do que deste trabalho (3 L).

Para as demais variáveis, ou seja, quando apresentaram alguns sintomas de deficiência, os efeitos dos fatores atuam de forma dependente. As mudas apresentaram sintomas leves de déficit hídrico em um menor período, quando não se fez o uso do hidrogel (Tabela 16). Estas diferenças são mais acentuadas em plantas irrigadas somente no plantio e em intervalos de irrigação maior. No caso de uma irrigação somente de plantio com o uso do hidrogel, há um ganho superior a três dias. Este efeito benéfico do hidrogel, retardando o aparecimento dos sintomas de estresse hídrico é também verificado na frequência de irrigação de seis dias, com um ganho de 6 dias sem sintomas fazendo-se o uso do hidrogel. O uso do hidrogel não apresenta diferença quando são feitas irrigações mais frequentes (três dias).

Utilizando-se estas informações na implantação de um plantio a campo, pode-se supor que nos casos em que a irrigação é efetuada frequentemente, ou nos casos em que a frequência de chuvas é maior, o uso do hidrogel poderia ser descartado. Já em condições com menor frequência de chuva, ou fazendo-se irrigações mais espaçadas, o uso do hidrogel pode ser recomendado. Cabe destacar que na implantação de florestas de *Eucalyptus*, normalmente, observa-se que o período mais crítico quanto à perda de mudas por falta de água é nos primeiros 20 dias, período em que a planta está se estabelecendo e, com um sistema radicular ainda em formação.

Tabela 16 – Aparecimento dos sintomas de estresse, em dias, avaliados a partir do plantio até o 44º dia após o plantio de *Eucalyptus dunnii* em vasos, em função da presença ou ausência de hidrogel e diferentes frequências de irrigação.

Variável	Hidrogel	Aparecimento dos sintomas de estresse (dias)			Médias
		Frequência de irrigação			
		Plantio	6 dias	3 dias	
SEM**	Ausência	5,25	16,0	25,0	15,41 b
	Presença	8,0	22,5	24,5	18,33 a
	Média	6,62 c	19,25 b	24,75 a	-
SLM	Ausência	9,0 C b*	20,50 B b	32,0 A a	20,5
	Presença	12,5 C a	26,5 B a	31,0 A a	23,3
	Média	10,75	23,50	31,0	-
SMM	Ausência	14,0 C b	25,0 B b	35,0 A a	25,3
	Presença	17,5 C a	31,0 B a	36,0 A a	27,5
	Média	15,7	28,0	35,5	-
SSM	Ausência	19,5 C b	31,0 B b	41,0 A a	30,5
	Presença	25,0 C a	35,0 B a	42,5 A a	34,16
	Média	22,2	33,0	41,75	-

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

** SEM – sem sintomas de murcha; SLM - sintomas leves de murcha; SMM - sintomas moderados de murcha e SSM - sintomas severos de murcha.

Esta vantagem do uso de hidrogel também é discutida por Saad et al. (2009), os quais relatam que sob o ponto de vista prático, os cinco dias a mais (observados pelos autores) garantidos pelo hidrogel no solo arenoso possibilitam o retardamento de uma nova irrigação e ganhos econômicos, uma vez que se poderia aguardar por chuvas nesse período.

Quanto à irrigação, na ausência de hidrogel, a frequência de seis dias mostra um bom ganho sem o aparecimento de sintomas como a murcha inicial, caracterizada por murcha do ápice e encurvamento de algumas folhas. Neste ponto de estresse as plantas tem total condição de se recuperarem, diante da ocorrência de chuva. Já a não utilização de hidrogel, mesmo com irrigação há ocorrência acelerada desses sintomas. Em irrigações mais frequentes (três dias) o aparecimento de sintomas leves de murcha aparecem em um tempo relativamente alto, tanto na presença ou ausência do hidrogel. Entretanto, deve-se considerar que irrigações

frequentes demandam maior recurso financeiro e também a disponibilidade de água próximo ao plantio.

O aparecimento de sintomas moderados nas mudas (Tabela 16), sendo caracterizado por ápices escuros e próximo ao ponto de murcha, seguiu um comportamento similar ao sintoma leve, caracterizado por um retardamento do estresse quando se fez o uso do hidrogel, tanto na irrigação única no plantio, como em irrigações de seis dias entre elas. Esta diferença do uso ou não do hidrogel não é observada em irrigações de três dias de frequência, devido ao menor intervalo entre irrigações, e conseqüentemente maior disponibilidade de água por esta forma.

Quanto à irrigação, também foi observado um comportamento esperado e similar ao sintoma leve, caracterizado por um retardamento do aparecimento dos sintomas moderados de estresse com o aumento da frequência de irrigação.

Em relação aos sintomas severos de murcha (Tabela 16), sendo que nesse nível de estresse uma recuperação da planta com novas irrigações ou chuvas já é dificultada, o uso do hidrogel mostrou um bom desempenho. Houve um atraso em mais de cinco dias o aparecimento desses sintomas quando se utilizou a irrigação somente no plantio em relação ao não uso do hidroretentor. No uso de irrigação com seis dias de intervalo o ganho médio obtido com o uso de hidrogel foi de quatro dias. Novamente não foi observado ganho significativo do hidrogel quando se fez uso da irrigação mais frequente.

Quanto ao número de dias em que as plantas permaneceram vivas (Tabela 17), o uso do hidrogel apresentou diferença somente no uso da irrigação de plantio, obtendo-se um aumento de aproximadamente 5 dias em que as plantas permaneceram vivas, fazendo-se o uso do hidrogel. No uso de irrigações pós-plantio não foi observado efeito significativo do uso do hidrogel. Isto pode indicar que o uso do hidrogel é benéfico no retardamento da mortalidade das mudas quando não se faz o uso de irrigações, ou se faz somente no plantio, permitindo um ganho de alguns dias, na espera de chuvas, quando em condições de campo.

Na ausência de hidrogel, os tratamentos com frequências de irrigações mostram diferenças esperadas. Com o uso de irrigações mais frequentes as mudas têm uma sobrevivência maior em dias, diminuindo quando se fez uso da frequência de seis dias. Já a irrigação somente no plantio ocasiona uma mortalidade muito mais precoce das mudas, diferenciando das irrigações pós-plantio. Na presença do hidrogel com irrigação frequente (três dias) não foi verificada mortalidade das mudas até o 44º dia de avaliação, somente alguns sintomas de murcha apresentados na Tabela 17. A frequência de seis dias entre

irrigações provocou a mortalidade de algumas plantas, mas estatisticamente não diferiu de irrigações a cada três dias.

O aumento de dias em que as plantas permaneceram vivas com o uso de hidrogel também foi observado por Lopes et al. (2010) em estudo com *Eucalyptus urograndis*, durante o período de verão. Segundo os autores com o uso do hidrogel as plantas permaneceram vivas em média por 34,7 dias contra 26,2 dias na ausência. Os autores destacam ainda que o uso do hidrogel pode reduzir o número de replantios, ocasionando dessa forma povoamentos mais homogêneos.

Thomas (2008) explicou que o hidrogel melhora a sobrevivência das mudas, pois permite que as raízes das plantas cresçam por dentro dos grânulos do polímero hidratado, com maior superfície de contato entre raízes, água e nutrientes.

Tabela 17 – Número de dias em que as plantas permaneceram vivas (PPV) avaliadas a partir do plantio até o 44º dia após o plantio de *Eucalyptus dunnii* em vasos, em função da presença ou ausência de hidrogel e diferentes frequências de irrigações.

Variável	Hidrogel	Frequência de irrigação			Médias
		Plantio somente	6 dias	3 dias	
PPV (dias)	Ausência	26,6 C b	38,0 B a	43,5 A a	36,0
	Presença	30,5 B a	42,0 A a	44,0 A a	38,8
	Média	28,5	40,0	43,7	-

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Portanto, o uso da irrigação na fase de desenvolvimento inicial de mudas de espécies florestais, principalmente nas épocas de seca, é importante para a sobrevivência e desenvolvimento inicial das plantas. Em contra partida, existem riscos da adoção de uma silvicultura irrigada que devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando-se sempre a diminuição dos custos e o aumento da eficiência da irrigação (SILVA et al., 2003).

Dessa forma, a utilização de hidrogéis como veículos carreadores para liberação controlada, os quais liberam água e nutrientes paulatinamente, aumentando a disponibilidade de água ao redor do sistema radicular da planta (SHAVIV, 2001), pode ser um meio eficiente para diminuir os gastos de água com irrigação e também podendo retardar a frequência de irrigação em áreas mais secas.

Viero e Little (2006), avaliando a implantação de eucalipto a campo com o uso de hidrogel verificaram que o uso do polímero aumenta a sobrevivência da mudas, obtendo melhor resposta quando também é realizada a irrigação. Além disso, o maior crescimento inicial da mudas foi alcançado com o uso do hidrogel mais a adubação, em comparação a ausência de hidrogel com adubação.

Segundo Lopes et al. (2010) os solos argilosos têm maiores forças de retenção, e isso implica em maior esforço da planta para a absorção de água. O uso de hidrogel torna-se interessante e está de acordo com informações de literatura, que apontam diferenças na disponibilidade de água em solos distintos que receberam adição de hidrogel (NIMAH et al.,1983).

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, demonstrando o benefício do hidrogel, foram encontrados por Buzetto et al. (2002). Os autores estudaram a eficiência do polímero no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* constataram que o polímero reteve a água de irrigação por maior período de tempo, disponibilizando-a de maneira gradativa para as plantas, o que resultou na diminuição da mortalidade das mudas cultivadas com o polímero, sem, contudo acelerar o crescimento em altura das mesmas.

Efeito positivo do hidrogel também foi obtido por Taylor e Halfacre (1986), os quais observaram que o uso de hidrogéis foi eficiente na retenção de água e disponibilidade de nutrientes para *Ligustrum lucidum* Ait. Observaram ainda que as plantas cresceram e não necessitaram, para o tratamento com o polímero, de maior frequência na irrigação, quando comparada com o tratamento testemunha.

Avaliando o comportamento de quatro espécies florestais em campo submetidas a diferentes adubações orgânicas e minerais com adição de hidrogel, Souza et al. (2006) não obtiveram efeitos positivos, já que quando o polímero não estava presente no plantio o desempenho das mudas foi superior. A justificativa para o efeito prejudicial do hidrogel pode ser pelo fato do plantio ser realizado no período das chuvas, o qual pode não apresentar resultado ou como foi observado.

O uso de hidrogel com o objetivo de aumentar a sobrevivência de mudas de eucalipto também foi pesquisada por Ribeiro et al. (2010), os quais avaliaram a resistência de quatro espécies de eucalipto em nível de viveiro, (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus vimminalis*) submetidas ao regime de déficit hídrico com adição de gel hidrorretentor. *Eucalyptus dunnii* apresentou índices superiores às demais espécies citadas, apresentando média de 31,2 dias de sobrevivência com adição de hidrogel e 29,5 dias sem a adição de hidrogel.

7.6 Conclusões

O polímero hidroretentor possibilita o retardamento dos sintomas de déficit hídrico em mudas de *Eucalyptus dunnii*, sendo maior sua influência quando a irrigação é efetuada em menor frequência.

8 CAPÍTULO VI

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO HIDROGEL NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

8.1 Resumo

A utilização dos polímeros retentores de água na produção de mudas de *Eucalyptus* em viveiro pode auxiliar na melhoria da qualidade das mudas obtidas, com redução do consumo de água e adubação. Contudo, um fator limitante ao uso dos polímeros é o seu custo, ainda considerado elevado. Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi realizar a análise dos custos envolvidos com a utilização do hidrogel na produção de mudas. Para avaliação da viabilidade econômica da utilização do hidrogel, foram considerados cenários conforme o uso do polímero, considerando-se as diferentes dosagens que foram utilizadas. Somente foram considerados os materiais que poderiam variar com a adição do hidrogel. Os preços dos produtos utilizados foram baseados na média de três orçamentos realizados em empresas da região Sul do Brasil. O custo na produção de mudas com a adição do hidrogel eleva-se com o aumento da dose e também com o uso de substratos comerciais e mistura de vermiculita. A adição do hidrogel pode ser economicamente mais vantajosa quando se utiliza componentes mais baratos, como a casca de arroz carbonizada. A presença do hidrogel também ocasiona maiores gastos, mesmo reduzindo-se a adubação em 50%. O diferencial na utilização do hidrogel pode estar na redução dos custos com irrigações. O uso de 3 g L⁻¹ de hidrogel, além de proporcionar maior crescimento das mudas, reduz gastos na produção. A diminuição da dose do hidrogel também é uma opção para a redução dos custos de produção, podendo-se obter bons resultados mesmo em menores doses.

Palavras-chave: Viveiro florestal. Polímeros hidrotentores. Viabilidade econômica.

8.2 Abstract

The use of polymers retaining water in the production of *Eucalyptus* seedlings in nursery can help to improve the quality of seedlings produced, reducing the consumption of water and fertilizer. However, a limiting factor to the use of polymers is their cost, still considered high. Thus, the aim of this study was to analyze the costs involved with the use of hydrogel for the production of seedlings. For the realization of the economic viability of the hydrogel was performed observing scenarios as the use of the polymer, considering the different dosages were used. Were considered the only materials that could vary the addition of the hydrogel. The prices used were based on the average of three estimates made in companies in southern Brazil. The cost of production of seedlings with the addition of the hydrogel increases with increasing dosage and with the use of more expensive substrates, such as commercial and mixed with vermiculite. The addition of the hydrogel can be economically advantageous when using, cheaper components, such as rice hulls. The presence of the hydrogel also leads to higher costs even reducing the fertilization of 50%. The difference in the use of the hydrogel can be reduced costs with irrigation. The use of 3 g L⁻¹ hydrogel may well represent better growth of seedlings, to the decrease of the production costs. The decreased dosage of the hydrogel is also an option to reduce production costs, it being possible to obtain good results even at lower doses.

Keywords: Nursery. Hidroretentores polymers. Economic viability.

8.3 Introdução

Segundo Gonçalves e Poggiani (1996), a produção de mudas florestais, em quantidade e qualidade, é uma das fases mais importantes para o estabelecimento de povoamentos florestais, com grande repercussão sobre a produtividade. Deste modo, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção de mudas.

Uma das alternativas para diminuir os custos de produção das mudas, principalmente objetivando reduzir o uso de fertilizante e da água para a irrigação é a utilização dos polímeros retentores de água, também chamados de hidrogéis. Apesar disso, até o momento, não se conhece todas as consequências que esses produtos podem expressar na produção e

qualidade de mudas de *Eucalyptus*, e se o custo com a utilização do produto viabiliza a sua utilização.

Um fator limitante ao uso dos polímeros é o seu custo, ainda considerado elevado. Porém, podem ser obtidos resultados positivos com doses baixas, as quais, mesmo assim podem trazer a melhoria das condições de retenção de água e nutrientes no substrato, propiciando mais uma alternativa na produção de mudas de *Eucalyptus*, com menores custos (HAFLE et al., 2008).

Diante disso, os custos de produção de mudas florestais se tornaram imperativos no planejamento e execução de todas as etapas que compõem a operação. Portanto, a maximização operacional e a minimização dos custos de produção, incorporados aos custos de investimentos, são de suma importância nas tomadas de decisões, o que as tornam mais seguras economicamente. Um bom gerenciamento dos custos institui os processos indispensáveis para garantir que um projeto proporcione a possibilidade de melhorias e desenvolvimento dentro dos orçamentos pré-estabelecidos (SIMÕES; SILVA, 2010).

Uma das finalidades gerenciais do custo é sua redução contínua. Para que isto se efetive, faz-se necessário entender o custo como um gasto relativo a bens ou serviços utilizados na produção de outros bens e serviços (MARTINS, 2001). Esse custo de produção pode ser entendido como o preço original de aquisição de qualquer bem ou serviço, e ainda, como a parcela do gasto aplicada na produção ou em qualquer outra função de custo, gasto esse desembolsado ou não. O que se deve entender por custo, porém, é que ele expressa um gasto feito para se obter um objeto de venda ou de uso (SÁ, 1967).

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise dos custos envolvidos com a utilização do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*, utilizando-se para isso diferentes cenários de avaliação conforme os experimentos realizados e apresentados nos capítulos anteriores.

8.4 Material e métodos

Para a viabilidade econômica da utilização do hidrogel, foram observados cenários conforme o uso do polímero, considerando-se as diferentes dosagens que foram utilizadas.

Os preços dos produtos utilizados são baseados na média de três orçamentos realizados em empresas da região Sul do Brasil. Todos os valores dos produtos não incluem o frete, sendo este um fator determinado pela localização do viveiro.

Somente foram considerados os materiais que variaram com a adição do hidrogel, sem considerar os materiais permanentes do viveiro e custos como mão de obra, encargos sociais, custos de administração, depreciação, energia elétrica, entre outros custos possíveis em um viveiro de produção de mudas florestais. Na Tabela 18, encontra-se a relação dos produtos considerados na avaliação, a unidade considerada e o custo correspondente. Todos os valores e resultados apresentados são expressos em reais (R\$) para a produção de 1.000 mudas.

Tabela 18 – Produtos e valores considerados na constituição dos cálculos da viabilidade do uso do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Produto	Unidade	Valor unitário médio (R\$)
Substrato		
Comercial (Carolina Soil)	embalagem 50 L	12,00
Casca de arroz	1 m ³	95,00
Vermiculita	embalagem 100 L	35,00
Fertilizante Osmocote [®] (18-5-9)	embalagem 22,68 kg	510,00
Fertilizante NPK	embalagem 50 kg	70,00
Polímero vegetal (Zeba [®])	embalagem 1 kg	36,70
Polímero poliacrilamida	embalagem 1 kg	30,83
Água para irrigação*	m ³	2,81
Energia elétrica**	kWh	0,3277

*Tarifa empresarial, categoria industrial. Preço conforme tabela tarifária da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN.

** Tarifa Comercial, serviços e outras atividades conforme tabela tarifária da AES Sul. Já incluso ICMS (25%).

Para apresentação dos resultados da viabilidade econômica do uso do hidrogel, foram propostos cenários conforme a realização dos experimentos, variando-se a dose do hidrogel, dose da adubação, composição do substrato e lâminas de irrigação. Os cenários propostos referem-se à produção de 1000 mudas, sendo:

I – Custo de adubação (Osmocote[®] - 6 g L⁻¹) e irrigação (4 mm diários) constante, variando-se o substrato e o polímero vegetal (Zeba[®]).

II – Custo do substrato (Carolina Soil[®]), irrigação (4 mm diários) e adubação (NPK – 0,6 N; 4,0 P e 0,4 K g L⁻¹) constante, variando-se a dose do polímero a base de poliacrilamida.

III - Custo do substrato (Carolina Soil[®]) e irrigação (4 mm diários) constante, variando-se a adubação de fertilização controlada e o polímero a base de poliacrilamida (6 g L⁻¹).

IV - Custo de adubação (Osmocote[®] - 6 g L⁻¹) e substrato (Carolina Soil[®]) constante, variando-se a irrigação (água e energia elétrica) e o polímero a base de poliacrilamida.

V – Cenário comparativo entre o uso do hidrogel utilizando-se os melhores resultados para a produção de mudas.

8.5 Resultados e discussão

8.5.1 Cenário I – referente ao capítulo II

Com o acréscimo das dosagens do hidrogel os custos de produção elevam-se de maneira progressiva (Tabela 19). Utilizando-se os dados da análise morfológica das mudas presente no capítulo II, e os custos da Tabela 18, pode-se inferir que com a utilização, por exemplo, do substrato comercial e 2 g L⁻¹ de hidrogel, há a produção de mudas de boa qualidade e uma elevação dos custos não tão expressiva (de R\$ 55,72 para R\$ 63,79). Com o uso de substrato comercial e vermiculita também houve benefício na qualidade das mudas, entretanto o custo de produção eleva-se em função do maior custo da vermiculita. Outra possibilidade para obter mudas de boa qualidade e com menor custo é a utilização da casca de arroz carbonizada juntamente com o substrato comercial, e o uso do hidrogel. Com esta composição, o uso de 2 g L⁻¹ do hidrogel equipara-se aos custos do uso do substrato comercial sem a adição do hidrogel, com redução de altura nas mudas, mas com acréscimo de diâmetro das mudas, melhorando assim a relação H/DC.

Tabela 19 – Custos (R\$) de produção* de 1.000 mudas de *Eucalyptus dunnii* em função da variação do substrato e da dose do polímero vegetal, sendo considerados somente os itens da Tabela 18.

Substrato	Dose hidrogel			
	0 g L ⁻¹	2 g L ⁻¹	4 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
Comercial (Carolina Soil [®])	55,72	63,79	71,86	79,94
Comercial + casca de arroz carbonizada (CAC)	47,74	55,81	63,88	72,82
Comercial + vermiculita	61,77	69,84	77,91	85,99
Comercial + vermiculita+CAC	54,46	62,53	70,61	78,68

* Custo de adubação (Osmocote[®] - 6 g L⁻¹) e irrigação (4 mm diários) constante.

Entretanto, cabe destacar que no uso do substrato comercial (comercial + vermiculita e comercial + vermiculita + casca de arroz) o uso do hidrogel, principalmente na dose de 2 g L⁻¹ e substrato comercial+casca de arroz com 4 g L⁻¹, há incremento na qualidade das mudas, principalmente em altura. Nestas condições, a expedição das mudas pode ocorrer em menor tempo, significando redução de gastos com energia e mão de obra, dependendo do regime de trabalho em cada viveiro.

Conforme Simões e Silva (2010) os custos com materiais de consumo e fertilizante não representam 20% do custo total na produção de mudas. Desta forma, a redução de gastos com mão de obra, pela redução da permanência das mudas em viveiro, pode representar maior redução de custos quando comparado ao gasto com a introdução do hidrogel. Segundo os mesmos autores, os custos que advêm das despesas com pessoal representaram 64,92% do custo total de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* por propagação vegetativa.

8.5.2 Cenário II – referente ao capítulo III

De forma semelhante ao cenário I, o custo de produção de mudas com a adição do hidrogel aumentou de forma proporcional a dose (Tabela 20). Desta maneira para se obter uma estimativa do benefício do polímero na produção de mudas, deve-se analisar também as características morfológicas e de qualidade das mudas. Conforme os resultados obtidos no capítulo III, a dose 4,5 g de hidrogel por litro de substrato ocasionou a melhor resposta quanto

as variáveis avaliadas, sendo que o uso de dosagens abaixo de 3 g L⁻¹ ou acima de 4,5 g L⁻¹ pode influenciar negativamente a maioria das variáveis que avaliam a qualidade da muda.

Utilizando-se como base na comparação dos gastos a ausência do hidrogel em comparação à dose 4,5 g L⁻¹, que apresentou melhor resultado, obteve-se uma diferença de R\$ 15,25. Esta diferença nos custos pode ser coberta pela diminuição no tempo de produção das mudas. Com 90 dias de avaliação as mudas produzidas com 4,5 g L⁻¹ de hidrogel apresentaram praticamente 25 cm de altura e 2,2 mm de diâmetro de coleto, enquanto as mudas produzidas sem hidrogel apresentaram altura média inferior a 15 cm e diâmetro de coleto 1,6 mm. Para que as mudas produzidas sem o hidrogel atingissem estes níveis de altura e diâmetro de coleto seriam necessários mais dias de cultivo, ocasionando aumento dos gastos com mão de obra, irrigação (energia elétrica, água) e outros custos que representam a maioria dos gastos em um viveiro de produção de mudas de *Eucalyptus*, conforme discutido anteriormente.

Tabela 20 – Custos de produção de 1.000 mudas de *Eucalyptus dunnii* em função da variação da dose do polímero hidrotentor a base de poliacrilamida, sendo considerado somente os itens da Tabela 18.

Dose hidrogel (g L ⁻¹)	Custo (R\$)
0	41,89
1,5	46,97
3,0	52,06
4,5	57,15
6,0	62,24

* Custo do substrato (Carolina Soil[®]), da irrigação (4 mm diários) e da adubação (NPK) são constantes.

8.5.3 Cenário III – referente ao capítulo IV

Na avaliação da viabilidade do uso do hidrogel conforme a dose do fertilizante de liberação controlada (FLC), constituindo o cenário III, a presença do hidrogel apresenta maiores gastos (Tabela 21), mesmo diminuindo-se a adubação para 3 g L⁻¹ (50% da dose convencional, conforme recomendada por Bernardi et al. (2012).

Na avaliação da qualidade das mudas, há a possibilidade de diminuição em 50% da adubação sem apresentar desempenho inferior quanto à altura, diâmetro de coleto entre outras variáveis. Comparando-se os custos de produção das mudas na ausência do hidrogel e adubação convencional de 6 g L⁻¹ em relação à presença do hidrogel e redução da adubação para 3 g L⁻¹ obtém-se ainda um custo de R\$ 12,93 superior com o uso do hidrogel. A diminuição dos custos de produção seria possível com a diminuição da dose do hidrogel, sem diminuição da qualidade das mudas, conforme os resultados presentes no capítulo III. Dessa forma, somando-se os efeitos econômicos e de crescimento das mudas, uma redução da dose é possível e até recomendada. Vale salientar que os dados apresentados na Tabela 21 são referentes ao uso de 6 g L⁻¹ de hidrogel, buscando-se saber a inferência do hidrogel na possibilidade da redução da adubação.

Tabela 21 – Custos de produção de 1.000 mudas de *Eucalyptus dunnii* em função da variação da dose do FLC na ausência ou presença do hidrogel, sendo considerado para os cálculos somente os itens da Tabela 18.

Dose FLC (g L ⁻¹)	Custo (R\$)	
	Ausência de hidrogel	Presença de hidrogel (6 g L ⁻¹)
0	40,89	61,24
1,5	44,59	64,94
3,0	48,3	68,65
4,5	52,01	72,36
6,0	55,72	76,07
7,5	59,43	79,78

* Custo do substrato (Carolina Soil[®]) e da irrigação (4 mm diários) são constantes.

O fertilizante de liberação controlada possui características de diminuir a lixiviação dos nutrientes, liberando-os de maneira gradativa para a planta. O uso do hidrogel em dosagens adequadas pode colaborar ainda mais na diminuição da lixiviação. Entretanto o alto custo do hidrogel somado ao do fertilizante de liberação controlado pode fazer com que haja uma escolha entre o uso do FLC ou da adubação convencional mais o hidrogel. Outra alternativa seria a diminuição da dose do hidrogel e diminuição da adubação, visto que pode apresentar bons resultados na qualidade da muda mesmo em menores doses.

A diminuição do uso de fertilizante também pode diminuir os efeitos ambientais ocasionados pela incorporação de elementos a água. Segundo Favaretto (2002), o potencial de contaminação da água não está restrito somente ao período posterior a adição do nutriente ou em momentos de alta precipitação pluviométrica, já que o solo atua como agente tamponante, e é capaz de reter nutrientes e liberá-los gradativamente à solução do solo. Se estes nutrientes chegarem ao lençol freático, estes passarão a fazer parte da água subterrânea, a qual poderá apresentar valores elevados chegando a causar problemas, não só a saúde humana, mas também ao meio ambiente. A contaminação da água subterrânea torna-se também um problema de contaminação de água superficial, pois a água do subsolo em algum momento aflora à superfície formando nascentes e, conseqüentemente, constituindo os cursos de água de superfície.

8.5.4 Cenário IV – referente ao capítulo V

Na avaliação da viabilidade do uso do hidrogel em função das lâminas de irrigação e das dosagens do polímero hidrotentor, constituindo o cenário IV, a presença do hidrogel na dose 3 g L^{-1} e uso de lâminas intermediárias (até 12 mm) representam um pequeno acréscimo do custo de produção (Tabela 22), quando compara, por exemplo, à ausência de hidrogel e lâmina de 16 mm diários.

Na ausência do hidrogel, a melhor resposta morfológica das mudas foi obtida com o uso de 16 e 20 mm diários de irrigação. O custo com a água para a irrigação representa um representativo percentual dos gastos totais. À medida que se eleva a lâmina de irrigação, aumenta-se os custos de produção de mudas.

Na presença de 3 g L^{-1} de hidrogel a melhor resposta morfológica foi obtida com o uso de 12 mm diários. O acréscimo do custo da adição do hidrogel é compensado pela diminuição do uso da água para irrigação, equivalendo-se praticamente a utilização de 16 mm de irrigação na ausência do hidrogel. Entretanto a resposta morfológica obtida com o uso do hidrogel e 12 mm de irrigação é superior ao obtido na ausência de hidrogel e lâmina de irrigação de 16 ou 20 mm. Isto pode representar além de economia de água, melhor qualidade das mudas, podendo-se reduzir ainda mais o custo de produção pela diminuição do período de permanência das mudas em viveiro, devido ao maior desenvolvimento com o uso do hidrogel e lâminas adequadas de irrigação.

Tabela 22 – Custos de produção (R\$) de 1.000 mudas de *Eucalyptus dunnii* em função da variação da irrigação e da dose do polímero a base de poliacrilamida, sendo considerados somente os itens da Tabela 18.

Irrigação (mm dia ⁻¹)	Dose Hidrogel		
	0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
4	55,72	65,90	76,07
8	67,18	77,35	87,52
12	75,61	85,78	95,95
16	87,14	97,31	107,48
20	95,57	106,74	115,99

* Custo de adubação (Osmocote[®] - 6 g L⁻¹) e do substrato comercial (Carolina Soil[®]) são constantes.

O uso de 6 g L⁻¹ de hidrogel além de não representar ganho na qualidade das mudas, também apresenta elevação no custo de produção quando comparado ao uso de 3 g L⁻¹ de hidrogel e lâminas de irrigação maiores, como por exemplo, 12 mm dia⁻¹.

O hidrogel misturado ao substrato, utilizando principalmente a dose 3 g L⁻¹ pode representar uma economia superior a 30% da água consumida para a irrigação das mudas de *Eucalyptus dunnii*, apresentando também desenvolvimento morfológico superior, ou seja, melhor qualidade das mudas e com possibilidade de redução de tempo de cultivo em viveiro. Para locais com baixa disponibilidade de água, o uso do hidrogel pode representar um grande avanço na produção de mudas, com redução do consumo de água. Para locais com disponibilidade de água o uso também pode ser economicamente e ambientalmente viável, devido à redução do uso deste recurso natural, além da redução do uso de adubação e da lixiviação de nutrientes, diminuindo o impacto ambiental.

8.5.5 Cenário V – referente ao melhor desempenho das mudas

Este cenário proposto utiliza os melhores resultados obtidos para a produção das mudas de *Eucalyptus dunnii* em todos os experimentos. Sem a utilização do hidrogel, o melhor desempenho das mudas foi obtido utilizando-se o substrato comercial, 6 g L⁻¹ de fertilizante de liberação controlada e irrigação de 20 mm diários, resultando em um custo de R\$ 95,51. Com o uso do hidrogel, considerando-se a melhor dose (4,5 g L⁻¹), uso de substrato

comercial, redução de fertilização controlada para 3 g L^{-1} e irrigação diária de 12 mm diários, resultou em um custo de R\$ 81,61. O uso do hidrogel é pôde representar uma economia de R\$ 13,90 a cada 1.000 mudas de *Eucalyptus dunnii* produzidas, mostrando que além de melhorar as características do substrato, esse benefício é refletido nas mudas e principalmente na redução dos custos de produção mantendo-se ou até melhorando a qualidade das mudas.

8.6 Conclusões

O uso do polímero é economicamente viável quando se faz o uso de substratos mais porosos e de menor custo como aqueles contendo a casca de arroz carbonizada. A adição do hidrogel possibilita a redução da adubação, e principalmente pode reduzir o consumo de água para irrigação.

Utilizando-se os melhores parâmetros para a produção de mudas, o hidrogel possibilita redução dos gastos de produção.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O polímero vegetal apresentou comportamento diferenciado em relação ao uso de diferentes substratos. Em substratos que possuem maior capacidade de retenção de água, como o comercial e a mistura com vermiculita, o uso do hidrogel não representou potencial mudança nas propriedades físicas do substrato. Já a adição do hidrogel em substrato com casca de arroz carbonizada, há um ganho principalmente de características relacionadas à retenção de água. A melhoria das características químicas e físicas dos substratos reflete na qualidade de parâmetros morfológicos das mudas de *Eucalyptus dunnii*. Com a adição do polímero vegetal, principalmente na dose 4 g L⁻¹, há incremento de características morfológicas das mudas, principalmente altura, massa seca e índice de qualidade de Dickson. A exemplo das características físicas do substrato, substratos com menor capacidade de retenção de água apresentaram melhor resposta morfológica das mudas com maiores dosagens do polímero, e substratos com maior retenção de água, a melhor resposta é obtida com as menores dosagens (2 g L⁻¹).

Em relação ao polímero de poliacrilamida, embora não comparado em um mesmo experimento, a resposta obtida para as características físicas e químicas do substrato é similar às obtidas pelo polímero vegetal. O aumento da dose do hidrogel possibilita o aumento da retenção de água e características importantes para o substrato como água disponível, água tamponante, água remanescente e porosidade total. Em relação ao desenvolvimento das mudas, doses intermediárias (3 e 4,5 g L⁻¹) apresentaram a melhor resposta, refletindo no aumento da altura, diâmetro de coleto e demais variáveis. O uso de dosagens muito altas do hidrogel provocou redução nos valores dessas variáveis, possivelmente por excesso de água no substrato.

Um dos objetivos do uso do hidrogel, que é a redução da quantidade de adubação sem prejudicar o crescimento das mudas, mostrou que o hidrogel apresenta potencial para esse fim. Com a adição do hidrogel, é possível uma redução de 25 a 50% da adubação convencional, sem haver prejuízo ao desenvolvimento das plantas. Esse resultado é possível devido ao aumento da retenção de água no substrato, refletindo em uma menor lixiviação, e consequentemente menor quantidade de adubo utilizada.

O efeito benéfico do hidrogel também foi possível verificar no experimento com lâminas de irrigação e doses de hidrogel. Com o uso do hidrogel, mesmo com a metade da

dose usual ($3,0 \text{ g L}^{-1}$) houve ganho em altura e diâmetro de coleto, além das demais variáveis morfológicas, com grande redução da lâmina de irrigação. Em geral, o melhor desenvolvimento das mudas de eucaliptos foi obtido com 12 mm dia^{-1} com o uso de hidrogel enquanto que na não utilização do hidrogel, o melhor crescimento das mudas foi observado com 20 mm dia^{-1} .

No experimento em vasos foi verificado que o hidrogel apresenta grande potencialidade para o uso no transplante a campo das mudas e com capacidade para redução da frequência da irrigação. O uso do hidrogel proporcionou um retardamento do estresse hídrico nas plantas. Irrigações mais frequentes contribuíram largamente para um menor estresse das mudas, possibilitando maior chance de sobrevivência das mesmas. Entretanto o uso de muitas irrigações ocasiona um alto custo e necessidade de água próximo ao local do plantio, justificando-se o uso do hidrogel, pela redução de alguns dias entre irrigações ou até a ocorrência de precipitações.

Em relação ao aspecto econômico, que pode ser um fator que restringe o uso comercial dos polímeros misturados ao substrato para produção das mudas, o hidrogel ainda possui um custo elevado. Entretanto, o uso de doses menores, aliado a economia obtida com a redução da adubação e principalmente com o consumo de água e energia elétrica, o uso do hidrogel apresenta redução dos custos de produção. Ainda, pode representar uma redução dos problemas ambientais pela redução do consumo de água e adubos químicos utilizados em grande escala nos viveiros de produção de mudas de *Eucalyptus*.

Em geral, os resultados obtidos com relação ao uso de polímeros hidrorretentores ratificam a informação que a adição de hidrogéis no substrato otimiza a disponibilidade de água, acelerando o desenvolvimento das plantas, em consequência de uma melhor performance na absorção de água e nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M.; MARTINEZ, P. F.; MARTINEZ, J. Evaluación agrónomica de los substratos de cultivo. **Actas de Horticultura**, Villaviciosa, Espanha, v. 11, p. 141-154, 1993.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Disponível em: <
http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf>. Acesso em 06 ago. 2013.

ALMEIDA, L. S. **Avaliação morfológica de mudas de *Allophylus edulis* (A. St. Hill., A. Juss. e Cambess.) Radl. (Vacum) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira) produzidas em diferentes substratos**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.

ALMEIDA, L. S. De et al. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* Cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 323-329. 2005.

ALVARENGA, R. C. et al. Efeitos do conteúdo de água no solo e da poda de raízes sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.18, n. 2, p. 107-114, 1994.

ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de plantas em ambiente protegido. In: BARBOSA, J. G.; et al. **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa: UFV, 2004. p. 4-36.

ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Fósforo de adubos fosfatados. In: BISSANI, C. A. et al. (Ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. cap. 10, p. 117-151

ARAÚJO, D. D. **Crescimento de mudas de Jatoba (*Hymenaea courbaril*) sob quatro níveis de sombreamento**. 2009. Ministério da Educação. Ministério da Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém – PA.

ARNOLD, R. J.; CLARKE, B.; LUO, B. Trials of cold-tolerant eucalypt species in cooler regions of Central China. **ACIAR Technical Report**, n. 57, 106 p. 2004.

ASSIS, T. F. de; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 93-121.

AUGUSTO, D. C. C. et al. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 745-751. 2007.

AZEVEDO, H. J. et al. Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n.4, p. 53-62, 1999.

AZEVEDO, T. L. F. **Avaliação da eficiência do polímero agrícola de poliacrilamida no fornecimento de água para o cafeeiro (*Coffea arabica* L) cv. Tupi**. 2000. 38 p. Dissertação. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 2000.

AZEVEDO, T. L. F. et al. Níveis de polímero superabsorvente, frequência de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1239-1243, 2002b.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de Hidrogel na Agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.1, n. 1, p. 23-31, 2002a.

AZZAM, R. A. I. Polymeric conditioner gels for desert soils. **Communication Soil Science Plant**, v. 14, p. 739-760, 1983.

BACKES, M. A. **Composto do lixo urbano como substrato para plantas ornamentais**. 1989. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BACKES, M. A.; KÄMPF, A. N., BORDAS, J. M. C. Substratos para a produção de plantas em viveiros. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1988, p. 665-675.

BACKES, M. A.; KÄMPF, A. N. Substrato a base de composto de lixo urbano para a produção de plantas ornamentais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26. n. 5, p. 753-758, 1991.

BAITEL, D. P.; CALDEIRA, M. V. W.; LOMBARDI, K. C. Carbonização de casca de arroz para uso em substratos: influência do tempo de processamento na variação de pH. In: FERTIBIO 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Editora Universidade Estadual de Londrina, 2008.

BELLÉ, S. **Uso da turfa “Lagoa dos Patos” (Viamão/RS) como substrato hortícola.** 1990. 143f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

BENINCASA, M. M. P; LEITE, I. C. **Fisiologia Vegetal.** Jaboticabal, SP: FUNEP, p.2. 2004.

BERNARDI, M. R. et al. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 67-74. 2012.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 7. ed. atual. ampl. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 611 p.

BILLARD, C. E.; LALLANA, V. H. Multiplicación in vitro de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência, Docência y Tecnología**, v. 16, n. 30, p.199-216, 2005.

BISSANI, C. A.; ANGHINONI, I. Enxofre, cálcio e magnésio. In: BISSANI, C. A. et al. (Ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Genesis, 2004. cap. 17, p. 207-220.

BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o Índice de Qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* – Engelm.** 2007. 53 f.: II. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

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

BLAINSK, E. et al. Influência da presença de polímeros hidroabsorventes na capacidade de retenção de água de um substrato. **Anais... XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.** 2006.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems.** Berlin: SpringerVeriag, 1979. 188 p.

BOLETIM CELULOSE ON-LINE. **Internacional Paper**. Disponível em:
<<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=14512&IDNoticia=11967>>.
Acesso em: 9 abril 2012.

BONNET, B. R. P. **Produção de mudas de *Eucalyptus viminalis* Lambill. (Myrtaceae), *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) e *Mimosa scabrella* Benth. (Mimosaceae) em substrato com lodo de esgoto anaeróbio digerido alcalinizado e compostado.** 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

BOWMAN, D. C.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amend container media. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 3, p. 382-386, 1990.

BOYER, J. S. Differing sensitivity of photosynthesis to low water potential in corn and soybean. **Plant Physiology**, n. 46, p. 226-239, 1970.

BUZETTO, F. A.; BIZON, J. M. C.; SEIXAS, F. Avaliação de polímero adsorvente à base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio. **IPEF**. Circular técnica nº 195, 7 pg. 2002.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 32 p. 1995.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Revista Ambientia**, Guarapuava, v. 3, p. 311-323, 2007.

CAMPOS, A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de muda de três espécies amazônicas. Brasília, DF: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 281-288. 2002.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. **Circular técnica 6**).

CARNEIRO, J. G. A. **Influência de 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: Universidade Federal do Paraná, 1987. 81 p.

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

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

CHAVES, A. S.; PAIVA, H. N. Influência de diferentes períodos de sombreamento sobre a qualidade de mudas de fedegoso (*Senna macranthera* (Collad). Irwin et Barn. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 22-29. 2004.

CLAUSSEN, J. W. Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 245-255. 1996.

COTTHEM, W. V. **O papel de Terracottem como um absorvente universal**. Ghent. Bélgica: editora, 1998. Pgs.

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

CRUZ, C. A. F. et al. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de Ipê Roxo (*Tabebuia impetiginosa* Mart. Standley). **Scientia Florestalis**. n. 66, p. 100-107, 2004.

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

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 2, p. 83-124.

DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. Sementes florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. p. 11-81.

DE BOODT, M. O.; VERDONCK ; I. CAPPAERT. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. **Acta Horticulture** n. 37, p. 2054-2062. 1994.

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

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DURVEA, M. L. **Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests**. 1985. Oregon State University, Corvallis.

DUSI, D. M. **Efeito da adição do polímero hidroretentor na eficiência da adubação nitrogenada no crescimento de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, em dois diferentes substratos**. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 84 p.

DUTRA, A. F. **Produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Luehea divaricata* Mart. et Zucc. em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisas Florestais – CNPF. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**, Curitiba: EMBRAPA, 113 p., 1988 .

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. n. 43/44, p.1-10. 1990.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 392 p.

FAGERIA, N. F. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAN, Z.; MOORE, J. A.; WENNY, D. L. Growth and nutrition of container-grown ponderosa pine seedlings with controlled-release fertilizer incorporated in the root plug. **Annals of Forest Science**, Paris, n. 61, p. 117-124. 2004.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Eucalypts for Planting**. n. 11. Rome, 1979.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. 2002. 77 f. Monografia (Especialização a distância: fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio) – Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” – Universidade Federal de Lavras/FAEPE, Lavras, 2002.

FAVARETTO, N. **Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition**. West Lafayette, 2002. 125 p. Tese (Doctor of philosophy). Universidade de Purdue. 2002.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob co de campo e de ambiente protegido. Hort. Bras., v. 20, p. 90–94, 2002.

FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1979. p. 6.

FERMINO, M. H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2002. p. 29-37.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização de física de substratos**. 89 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERMINO, M. H.; BELLÉ, S. Substratos hortícolas. In: **Plantas Ornamentais: aspectos da produção**. Passo Fundo: EDIUPE, p. 29-40. 2000.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E. Substratos hortícolas. Artigo técnico. **Cultivar HF**, p. 31-33. 2001.

FERNANDES, E. R. P. **Hidrogel e turno de rega no crescimento inicial de eucalipto**. 35 p. 2010. Dissertação. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 2010.

FERRARI, M P. Cultivo do Eucalipto: Produção de Mudás. Sistemas de Produção 4. Versão Eletrônica. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/03_producao_de_mudas.htm>. Acesso em: 16/09/2012.

FERRAZ, E. C. Fisiologia da cultura do arroz. In; SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO. 1983, Jaboticabal-SP. **Anais...** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1983.

FERREIRA, C. A. G., **Aspectos de relações hídricas e crescimento de mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas em tubetes e aclimatadas.** 1997. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

FERREIRA, V. M. **Aspectos de crescimento, nutrição e relações hídricas em dois genótipos de milho (*Zea mays* L.) em função da disponibilidade de água no solo.** 1997. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1997.

FERREIRA, C. A. G. et al. Relações Hídricas em Mudanças de *Eucalyptus citriodora* Hook., em Tubetes, Aclimatadas por Tratamentos Hídricos. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, G. B. **Interferências da matéria orgânica e ferro na dose de boro com Azometina-H e comparação de extratores para boro disponível no solo.** Viçosa, 1998. 97p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2003. 412p. Dissertação (Mestrado) Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2003.

FISHWICK, R. W. Estudo de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, v. 7, p. 13 – 23, 1976.

FLANNERY, R. L.; BUSSCHER, W. J. Use of a synthetic polymer in potting soil to improve water holding capacity. **Communication in Soil Science Plant**, v. 13, n. 2, p. 103-111, 1982.

FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L) Bl ume, produzi das sob diferentes períodos de sombreamento. Viçosa, MG: **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523. 2002.

FONSECA, E. P. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantra* (L.) Blume, *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneurom* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista. 2000.

FREITAG, A. S. **Frequências de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliotti* em viveiro.** 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GEESING, D.; SCHMIDHALTER, U. Influence of sodium polycrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 20, p. 207-209, 2004.

GIANELLO, C.; GIASSON, E. Fatores que afetam o rendimento das culturas e sistemas de cultivos. In: BISSANI, C. A. et al. (Ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 21-32.

GOMES, J. M. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 113-127. 2003.

GOMES, J. M. et al. 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**, v. 14, n. 1, p. 26-34. 1990.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664. 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hillex Maidem, em "Win-Strip". **Revista Árvore**, Viçosa, v. 5, n. 1, p. 35-42, 1991.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais – propagação sexuada**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N.; COUTO, L. Produção de mudas de eucalipto. In: -, **Informe Agropecuário**, EPAMIG. Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 15 - 22. 1996.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de N-P-K**. 2001. 112 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GONÇALVES, J. L. de M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas.(Compact disc). In: SOLO SUELO – CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Anais...** Águas de Lindóia: SLCS; SBCS; ESALQ/USP, CEA; SBM, 1996.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 309-350.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos florestais**. Piracicaba, n. 15, p. 1 –23, 1995.

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., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, **IPEF**, 2000. p.309-350.

GONZAGA, J. V. **Qualidade da madeira e da celulose kraft de treze espécies de *Eucalyptus***. 1983. 163p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

GONZALES, R. A. Estudio sobre el comportamiento en vivero de *Pinus caribaea* var. *caribaea* cultivado en envases de polietileno de 12 dimensiones diferentes. **Revista Forestal Baracoa**, v. 18, n. 1, p. 39-51, 1988.

GRASSI FILHO H; SANTOS CH. 2004. Importância da relação entre fatores hídricos e fisiológicos no desenvolvimento de plantas cultivadas em substratos. **In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS**, 4. Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa: UFV. iv, p. 78-91.

GRUSZYNSKI, C. **Produção comercial de crisântemos: vaso, corte e jardim**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002, 166p.

HAASE, D. L.; ROSE, R.; TROBAUGH, J. Field performance of tree stock size of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. **New Forests**, Netherlands, n. 31, p. 1-24. 2006.

HAASE, D. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planter's Notes**. United States: Department of Agriculture/ Forest Service, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HAFLE, O. M.; CRUZ, M. C. M.; RAMOS, J. D.; RAMOS, P. S.; SANTOS, V. A. Produção de mudas de maracujazeiro-doce através da estaquia utilizando polímero hidrotentor. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 232-236, 2008.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Plant propagation: principles and practices**. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1975. 661 p.

HENDERSON, J.C.; HENSLEY, D. L. Efficacy of a hydrophilic gel as a transplant aid. **Horticulture Science**, v. 21, n. 4, p. 991-992, 1986.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR**. Tese (Doutorado em Silvicultura) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

HUETT, D. O.; MORRIS, S. C. Fertiliser use efficiency by containerised nursery plants. Effect of heavy leaching and damaged fertiliser prills on plant growth, nutrient uptake, and nutrient loss. **Australian Journal of Agriculture Research**, v. 50, n. 2, p. 217-222, 1999.

HUTTERMANN, A., ZOMMORODI, M., REISE, K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. **Soil and Tillage Research**, n. 50, p. 295 – 304, 1999.

HUTTERMANN, A.; ZOMMORODI, M.; WANG, S. The use of Hydrogels for afforestations of difficult stands: Water and salt stress. Afforestation in semi-arid regions- Findings and Perspectives, **Proceedings**, International Symposium in the Peoples Republic of China, 167-174. 1997.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Fertilization. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries. Agriculture Handbook 730. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, **Forest Service**, v.1, 2009. p. 201-215.

JOHNSON, J.D.; CLINE, M.L. Seedling quality of southern pines. In: DURYEY, M.L.; DOUGHERTY, P.M. (eds.). **Forest regeneration manual**. Netherlands: Klumer Academic, 1991. p. 143-162.

JOVANOVIC, T.; ARNOLD, R.; BOOTH, T. Determining the climatic suitability of *Eucalyptus dunnii* for plantations in Australia, China and Central and South America. **New Forests**, v. 19, n. 3, p. 215-226, 2000.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. Australia: Union Offset Printing: Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p.

KÄMPF, A. N. Substratos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 1., 1992, Maringá. Anais... Maringá, 1992, p.36-52.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2.ed. Guaíba: Agrolivros, 2005. 256 p.

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

KANWAR, R. S.; BAKER, L. L.; MUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. **American Society Agricultural Engineers**, Iowa, v. 31, n. 1, p. 133-141, 1988.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K.; SIMON, M. A.; DIAS, S. T. Casca de arroz carbonizada como condicionador de substrato. In: FURLANI, A. M. C. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. p. 95. (Documentos IAC, 70).

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

KRATZ, D. **Substratos renováveis para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Mimosa scabrella* Benth.** 2011. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

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

LANDIS, T. D. Mineral nutrients and fertilization. In: LANDIS, T. D. et al. **The container tree nursery manual**. Agriculture Handbook 674. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, v. 4, 1989. p. 1-67.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K. Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after out planting. **Forest Nursery Notes**. United States, Department of Agriculture, Forest Service, p. 5-11. 2009.

LANG, D. Z; BOTREL, M. C. G. Desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes substratos. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 1, p. 107-117, 2008.

LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RIMA, 2006.

LARCHER, W. O balanço de carbono das plantas. In: **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. p. 69-182.

LEITE, N. B.; FERREIRA, M.; RAMOS, P. G. D. **Efeito de geadas sobre diversas espécies e procedências de *Eucalyptus spp* introduzidas na região de Lages - Santa Catarina**. Piracicaba: IPEF, 1973. p. 123. (IPEF. Circular Técnica, 7).

LIANG, R. et al. Synthesis of wheat straw-g-poly(acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 77, p. 181-187, 2009.

LIMA, J. E. F. W. et. al. **O uso da irrigação no Brasil**, 2004. Disponível em: <<http://cf.or.br/cf2004/irrigação.doc>>. Acesso em: 27 dez 2012.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **Uso da irrigação no Brasil. O estado das águas no Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM, 1999.

LIMA, L. M. L. de. et al. Produção de mudas de café sob diferentes laminas de irrigação e doses de um polímero hidroabsorvente. **Bioscience journal**. v. 19, n. 3, p. 27-30. 2003.

LOPES, J. L. W. et al. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Scientia Forestalis**, v. 68, p. 97-106, 2005.

LOPES, J. L. W. et al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 217-224, 2010.

LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. 2004. 128 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Rev. Árvore**. v.31, n. 5, p. 835-843. 2007.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALDONADO-BENITEZ, K. R. et al. Producción de *Pinus greggii* engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. **Agrociencia**, v. 45, n. 3, p. 389-398. 2011.

MANFRON, P. A. et al. Água disponível para plantas de alface após cultivos sucessivos em estufa plástica. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.12, n.1, p. 1-13. 2005.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2007.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005, 451 p.

MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 53-57. 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888p.

MARTINS, E. Contabilidade de custos. 8ª. ed. – São Paulo: Atlas, 2001.

MARTINS, S. R.; PEIL, R. M.; SCHWENGBER; ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E. G. Produção de melão em função de diferentes sistemas de condução de plantas em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 15-23, 1999.

MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O. C.; ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2002. p.53-76.

MARTYN, W.; SZOT, P. Influence of superabsorbents on the physical properties of horticultural substrates. **International Agrophysics**, v.15, p.87-94, 2001.

MEDEIROS C. A. B.; STRASSBURGER A. S; ANTUNES L. E. C. Avaliação de substratos constituídos de casca de arroz no cultivo sem solo do morangueiro. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2 (Suplemento - CD Rom), jul-ago. 2008.

MELO G. H. B.; BORTOLOZZO, A. R.; VARGAS, L. Substratos. In: **Produção de Morangos no Sistema Semi-hidropônico**. Sistemas de Produção, 15. 2006.

MELO, B., et al. Uso do polímero hidroabsorventes Terracottem e da frequência de irrigação na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista Ceres**, n. 52, p. 13-22. 2005.

MENEGASSI, A. D. et al. Produção de mudas de eucalipto sob diferentes fontes de adubação.. In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba / PR. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2012.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. Berna: International Potash Institute, 1987. 593p.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento de plantas. In: NOVAIS. R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, SBCS, 2007. p. 65 -90.

MEXAL, J. G.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM: PROCEEDINGS COMBINED MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, 1990, Oregon. **Proceedings...** Oregon: USDA, 1990. cap. 3. p. 17-37.

MIKKELSEN, R. L.; BEHEL, A. D.; WILLIAMS, H. M. Using idrophilic polymers to improve uptake of manganese fertilizers by soybeans. **Fertizer Research**, v. 41, p. 87-92, 1995.

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

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. (Série Engenharia Agrícola 2).

MIYAZAWA, L. C. **Manual de análises químicas**. Brasília: EMBRAPA. 370p, 1999.

MORAES NETO, S. P. et al. Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 779-789, 2003a.

MORAES NETO, S. P. M. et al. Fertilização de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 129-137, 2003b.

MORAES, O.; BOTREL, T. A.; DIAS, C. T. S. Efeito do uso de polímero hidroretentor no solo sobre intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). **Engenharia Rural**, v. 12, 2001.

MORAIS, O. **Efeito do uso de polímero hidrorretentor no solo sobre o intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2001. 73 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, 2001.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 83 p.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. de. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa. p. 99-126. 1990.

NIMAH, N. M.; RYAN, J.; CHAUDHRY, M. A. Effect of synthetic conditioners on soil water retention, hydraulic conductivity, porosity, and aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, n. 1, p. 742-745, 1983.

NISSEN, M. J. Uso de hidrorretentores em la producción de frambuesas (*Rubus idaeus*) del sur de Chile. **AgroSur**, Valdivia, v. 22, n. 2, p. 160-165, 1994.

NISSEN, M. J.; OVANDO, C. Efecto de un hidrogel humectado aplicado a las raíces de *Nothofagus obliqua* (MIRB.) Oerst. Y *Nothofagm dombeyi* (MIRB.) Oerst. durante su trasplante. **Agro Sur**, Valdivia, v. 27, n. 2, p. 48-58, 1999.

NOVAES, A. B. et al. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu comportamento no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, nov./dez. 2002.

NUNES, C. M. J. **Caracterização da resposta ao déficit hídrico de linhas transgênicas de *Medicago trunculata* cv. Jemalong**. 2007. 64p. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia), Universidade de Lisboa, Lisboa – Portugal.

OLIET, J. et al. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* mil. **Investigación agraria: sistemas y recursos forestales**, Madrid, v. 8, n. 1, p. 207-228, 1999.

OLIVEIRA, R. A. et al. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 160-163, 2004.

PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 149 p. (Coleção Jardinagem e Paisagismo. Série Arborização Urbana, 1).

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Viveiros florestais**. Viçosa: UFV, 2000. 56 p.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; dos SANTOS, P. E. T. **Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii*, no estado do Paraná**. Colombo: EMBRAPA, 2005. Pgs. (Comunicado Técnico 141).

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. 45 p. (Documentos, 129).

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 83 p.

PEREIRA, P. R. G.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 24-31, 1999.

PETERSON, D. Hydrophilic polymers: effects and uses in the landscape. **Soviet Soil Science**, Moscow, v. 13, n. 4, p. 111-115, 2003.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008. 407 p.

PREVEDELLO, C. L.; BALENA, S. P. Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 251-258, 2000.

PREVEDELLO, C. L.; LOYOLA, J. M. T. Efeito de polímeros hidroretentores na infiltração da água no solo. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 3, p 313-317, 2007.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

REGO JL; VIANA TVA; AZEVEDO BM; BASTOS FGC; GONDIM RS. Efeitos de níveis de irrigação sobre a cultura do crisântemo. **Revista Ciência Agronômica** n. 35, p. 302-308. 2004.

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**, v. 13, n. 1, p. 1-18, 1989.

RIBEIRO, R. R. Influência do substrato e de gel hidro-retentor na sobrevivência e crescimento de mudas de diferentes espécies de eucalipto no Sudoeste do Paraná. Programa institucional de iniciação científica. **Relatório final de atividades**. 2010.

RITCHIE, G. A. et al. Assessing plant quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling Processing, Storage and Outplanting**, v. 7, Agriculture. Handbook. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2010. cap. 2, p. 17-81.

RIVIERI, L. M. Importance des caractéristiques physiques dans le choix des substrats pour les cultures hors sol. **Revue Horticole**, v. 209, p. 23-27, 1980.

RÖBER, R.; SCHALLER, K. **Pflanzenernährung im Gartenbau**. Stuttgart: Ulmer, 1985. 352p.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762p.

RODRIGUES, S. B. S. **Análise do uso de água em unidades de produção de mudas de eucalipto**. 2007. 106p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais-MG.

ROSE, R.; CARLSON, W. C.; MORGAN, P. The target seedling concepts. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM: PROCEEDINGS COMBINED MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, 1990, Oregon. **Proceedings...** Oregon: USDA, 1990. cap. 1. p. 13-17.

RUBIRA, J. L. P. ; BUENO, L. O. **Cultivo de plantas forestales en contenedor**. Centro de Publicaciones. Madrid, 1996. 189 p.

SÁ, A. L. de. **Organização e contabilidade de custos: custo de produção aplicado às indústrias, estudo teórico e prático – mecanização de custos**. 4ª. Ed. - São Paulo: Atlas, 1967.

SAAD, J. C. C.; LOPES, J. L. W.; SANTOS, T. A. Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urograndis* em dois solos diferentes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 404-411. 2009.

SALOMÃO, L. C.; BASILIO, E. E. **Irrigação por gotejamento na cultura do café**. 2006. 72 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Tecnologia em Irrigação e Drenagem) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Urutaí, Urutaí-Go, 2006.

SANTOS, C. B. et al. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 115. 2000.

SARVAŠ, M.; PAVLENDÁ, P.; TAKÁČOVÁ, E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. **Journal of forest science**, n. 53, v. 5, p. 204–209. 2007.

SASSE, J; SANDS, R.; WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F.M. Comparative responses of cutting and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**. v. 16 p.287 – 294, 1996.

SCHMIDT-VOGT, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings: the present international status of research. In: Simpósio internacional sobre métodos de produção e controle de qualidade de sementes e mudas florestais. Curitiba, 1984, **Anais...** p. 366-378. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1984.

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

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 333-341, 2002.

SGARBI, F.; SILVEIRA, R. V. A.; HIGASHI, E. N.; PAULA, T. A.; MOREIRA, A.; RIBEIRO, F. A. Influência da aplicação de fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de um clone de *Eucalyptus urophylla*. In: Simpósio sobre fertilização e nutrição florestal, 2., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/ESALQ, 1999. p. 120-125.

SHAINBERG, I.; LEVY, G.J. Organic polymers and soil sealing in cultivated soils. **Soil Science**, Baltimore, v.158, n:4, p.267-273, 1994.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2001.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

SILVA, E. C.; SILVA, M. F. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. Brazilian. **Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 4, p. 225-233, 2010.

SILVA, E. A; OLIVEIRA, G. C.; SILVA, B. M.; COGO, F. D.; OLIVEIRA, L. M. Avaliação da disponibilidade de água e ar em substratos agrícolas à base de turfa e casca de arroz carbonizada. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v. 5, n. 4, p. 19-23.2011.

SILVA, M. R. et al. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Revista Scientia Forestalis**, n. 68, p. 97-106. 2005.

SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W.**(Hill ex.Maiden). 2003. 100 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SILVEIRA, R. L. V. A.; LUCA, E. F.; SHIBATA, F. Absorção de macronutrientes pelas mudas de *Eucalyptus grandis* em condição de viveiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS/UFV, 1995a. p. 839-841.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Absorção de micronutrientes pelas mudas de *Eucalyptus grandis* em condição de viveiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos expandidos... Viçosa: SBCS/UFV, 1995b. p. 842-844.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Análise técnica e econômica das etapas de produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 359-366. 2010.

SITA, R. C. M. et al. Effect of polymers associated with N and K fertilizer sources on *Dendrathera grandiflorum* Growth and K, Ca and Mg relations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 335-342. 2005.

SORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies nativas**. Oficina de Textos, 2012, 256 p.

SOUTH, D.; DAVEY, C. B. The Southern Forest Nursery Soil Testing Program. **Circular**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, AL., n. 265, p. 1-37, 1983.

SOUZA, C. A. de; OLIVEIRA, R. B. de; MARTINS FILHO, S.; LIMA, J. S. de S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 243-249, 2006.

SPERANDIO, H. V. et al. Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* produzidas em diferentes substratos. **Engenharia ambiental**. v. 8, n. 4, p. 214-221. 2011.

SPIER, M. et al. Obtenção da curva de retenção de água pelo método da pressão positiva. **In...** VI Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas, Fortaleza. Resumo expandido...Fortaleza: Embrapa/CNPAT, 2008. v. 1.

STAPE, J. L. **Irrigação de plantio**. Lençóis Paulista: IPEF, 1989. 8p.

STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N. Relationships between nursery practices and field performance for *Eucalyptus* plantations in Brazil: a historical overview and its increasing importance. **New Forests** 22:19-41, 2001.

STRINGHETA, A. C. O. et al. Caracterização física de substratos contendo composto de lixo urbano e casca de arroz carbonizada como condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 155-159, 1997.

SUGUINO, E. **Influência do substratos no desenvolvimento de mudas de plantas frutíferas**. 2006, 82f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

STURION, J. A.; ANTUNES, B. M. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins de produtivos e ambientais**. Colombo: 2000. p. 125-150.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TATAGIBA, S. D. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. Universidade Federal do Espírito Santo. 2006. 128p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo - ES.

TAYLOR, K. C.; HALFACRE, R. G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. **Horticulture Science**, v. 21, p. 1159-1161, 1986.

TEDESCO, M. J. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.il. (Boletim Técnico, 5).

TERRACOTTEM. **Guia técnico**. Capítulo 1.0. Pinhais PR. 1998. n. 45 p. 3.

TEXAS GREENHOUSE MANAGEMENT HANDBOOK. Disponível em: <<http://aggiehorticulture.tamu.edu/greenhouse/nursery/guides/green>>. 1999. Acesso em: 22 mar. 2013.

THINLEY, C. et al. Spiral and interlocking grain in *Eucalyptus dunnii*. **Holz als Rohund Werkstoff**, v. 63, n. 5, p. 372-379, 2005.

THOMAS, D. S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 3-4, p.1305-1314, 2008.

TITTONELL, P. A.; GRAZIA, J. de; CHIESA, A. Adición de polímeros superabsorbentes en el medio de crecimiento para la producción de plantines de pimiento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 641-645, 2002.

TRENKEL, M. E. **Controlled release and Stabilized Fertilisers in Agriculture**. IFA, Paris. 1997.

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

VALE, G. F. R.; CARVALHO, S. P.; PAIVA, L. C. Avaliação da eficiência de polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 7-13. 2006.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 167-190.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 167-190.

VALLONE, H. S. et al. Substituição do substrato comercial por casca de arroz carbonizada para produção de mudas de cafeeiro em tubetes na presença de polímero hidroretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 593 -599. 2004.

VERDONCK, O., GABRIELS, R. Substrate requirements for plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 221, p. 19-23, 1988.

VERDONCK, O.; VLEESCHAUWER, D.; DEBOODT, M. The influence of the substrate to plant growth. **Acta Horticulturae**, Wageningen, 126: 251-258, 1981.

VERVLOET FILHO, R. H. **Utilização de hidroretentor em substrato semi-saturado na produção de mudas de eucalipto**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

VICHIATO, M. et al. Crescimento e composição mineral do porta-enxerto de tangerina Cleópatra cultivado em substrato acrescido de polímero hidroretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 748-756, jul./ago. 2004a.

VICHIATO, M. et al. Crescimento e composição mineral do porta-enxerto de tangerina Cleópatra cultivado em substrato acrescido de polímero hidroretentor. **Ciência Agropecuária**. v. 28, n. 4, p. 748-756. Lavras - MG. 2004b.

VIERO, W. M. P.; LITTLE, M. K. A comparison of different planting methods, including hydrogels, and their effect on eucalypt survival and initial growth in South Africa. **The Southern African Forestry Journal**. v. 208, n1. 2006.

VOLKMAR, K. M.; CHANG, C. Influence of hydrophilic gel polymers on water relation and growth and yield of barley and canola. **Canadian Journal of Plant Science**, 35:605-611, 1995.

WALDEMAR, C. C. A experiência do DMLU como fornecedor de resíduos úteis na composição de substratos para plantas. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M. H. (Ed.) **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 171-176.

WALLACE, A.; WALLACE G. A.; ABOUZAMZAM, A. M. Amelioration of soil sodic with polymers. **Soil Science**, Baltimore, v. 141, n. 5, p. 359-362, 1986.

WALLACE, G. A.; WALLACE, A. Control of soil erosion by polymeric soil conditioners. **Soil Science**, Baltimore, v. 141, n. 5, p. 363- 367, 1986.

WENDLING, I. et al. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora. 2002. 166p.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 13 – 47.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 130. 2006.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002.

WIEDENHOEFT, A. C. **Plant nutrition**, New York: Chelsea House, 2006. 144 p.

WILSON, B. J. Shoot competition and root competition. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 279-296, 1988.

WINTER, E. G., Efeitos no crescimento e desenvolvimento - **A Água, o solo e a planta**. São Paulo: EPU, Editora da Universidade de São Paulo, 1976. 115 p.

WU, L.; LIU, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. **Carbohydrate Polymers**, 72:240-247, 2008.

XAVIER, T. M. T; et al. Crescimento do eucalipto sob diferentes níveis de déficit hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA, **Anais...** Búzios-RJ, 2011.

ZANETTI, M et al. Efeito de diferentes concentrações de citocinina na brotação de gemas de laranjeira Valência sobre limoeiro Cravo e citrumeleiro Swingle. **Brazilian Journal of Plant of Plant Physiology**, Campinas, v. 15, suplemento, p.223, 2003.

ZONTA, J. H; BRAUN, H; REIS, E. F; AULUCIO, D.; ZONTA, J. B. Influência de diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente no desenvolvimento inicial da cultura do café conillon (*Coffea canephora* Pierre). **Idesia**, v. 27, n. 3, p. 29-34, 2009.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para a interação entre os fatores substrato*hidrogel; CV(%) e média geral para os parâmetros avaliados na análise de diferentes substratos e dosagens do polímero hidroretentor.

Variável	QM (interação)	CV(%)	Média geral
pH	0,0019*	4,84	0,2860
CE	0,3736*	1,68	5,90 (mS cm ⁻¹)
DU	207,7664*	2,02	217,51 (kg m ⁻³)
DS	76,3247*	2,05	132,13(kg m ⁻³)
UA	15,5363*	3,75	39,03(%)
PT	26,4534*	3,60	85,51(%)
EA	27,6847*	7,08	29,42 (%)
AD	18,7261*	5,93	17,80 (%)
AFD	9,5338*	7,26	15,47 (%)
AT	2,5063*	7,54	2,34 (%)
AR	75,91 ^{ns1}	12,89	39,30 (%)
CRA 10	16,6776 ^{ns2}	5,45	55,87 (%)
CRA 50	5,4325 ^{ns3}	5,50	40,39 (%)
CRA 100	8,2652 ^{ns4}	6,98	38,05 (%)

CE = condutividade elétrica; DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água.

* F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

^{ns1} interação não significativa. Significativo para fatores principais (QM_{substrato}= 1072,91* e QM_{hidrogel}=271,44*)

^{ns2} interação não significativa. Significativo para fatores principais (QM_{substrato}= 1071,87* e QM_{hidrogel}=751,68*)

^{ns3} interação não significativa. Significativo para fatores principais (QM_{substrato}= 675,4649* e QM_{hidrogel}=455,46*)

^{ns4} interação não significativa. Significativo para fatores principais (QM_{substrato}= 629,83* e QM_{hidrogel}=506,65*)

Apêndice 2 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes substratos e quatro doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)		
		H	DC	H/DC
Substrato(S)	3	116,31*	0,5579*	29,058*
Dose hidroretentor (DH)	3	89,87*	0,6620*	1,810 ^{ns}
S * DH	9	79,16*	0,4579*	7,489 ^{ns}
Resíduo	-	2317,20	0,1137	4,040
CV (%)	-	19,15	18,07	19,53
Média geral		18,95	1,86	10,29

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 3 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes substratos e quatro doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)			
		MSPA	MSR	MST	IQD
Substrato(S)	3	0,7825*	0,1932*	1,4966*	0,044 ^{ns}
Dose hidroretentor (DH)	3	0,7113*	0,0171 ^{ns}	0,8890 ^{ns}	0,0106*
S * DH	9	0,4074 ^{ns}	0,1519 ^{ns}	0,9841 ^{ns}	0,0072 ^{ns}
Resíduo	-	0,2249	0,0760	0,5164	0,0043
CV (%)	-	22,28	33,27	24,30	28,04
Média geral		2,12	0,828	2,95	0,229

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 4 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na ausência ou presença (6 g L⁻¹) do polímero hidrorretentor, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)		
		H	DC	H/DC
Hidrogel (H)	1	168,2389*	1,3095*	0,9022 ^{ns}
Dose FLC	5	74,0108*	0,2918 ^{ns}	8,1823 ^{ns}
H * FLC	5	65,1976*	5,4223 ^{ns}	5,4223 ^{ns}
Resíduo		9,2250	6,3685	6,3685
CV (%)		14,95	18,62	18,58
Média geral		20,81	1,53	12,58

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 5 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na ausência ou presença (6 g L⁻¹) do polímero hidrorretentor, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)			
		MSPA	MSR	MST	IQD
Hidrogel (H)	1	37,7461*	0,0498*	40,5390*	0,02108*
Dose FLC	5	6,4425*	0,0140*	6,7178*	0,00362*
H * FLC	5	2,8105*	0,0760*	2,9193*	0,0017 ^{ns}
Resíduo		0,2918	0,0047	0,2972	0,0009
CV (%)		14,84	31,42	14,44	33,41
Média geral		3,6414	0,1344	3,7759	0,0906

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 6 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio), CV(%) e média geral para os parâmetros avaliados na análise de substrato Carolina Soil® e diferentes dosagens de hidrogel.

Variável	QM (fator hidrogel)	CV(%)	Média geral
pH	0,8676*	2,09	5,69
CE	0,0080*	5,60	0,4986 (mS cm ⁻¹)
DU	332,9701*	1,21	230,57 (kg m ⁻³)
DS	10,1020 ^{ns}	1,87	111,68 (kg m ⁻³)
UA	25,9542*	1,97	51,45 (%)
PT	159,5740*	1,36	89,79 (%)
EA	20,6825*	8,22	22,35 (%)
AD	58,2047*	3,82	27,49 (%)
AFD	36,5051*	4,63	23,68 (%)
AT	4,0700*	5,11	3,81 (%)
AR	77,1685*	3,51	39,94 (%)
CRA 10	264,0324*	2,45	67,44 (%)
CRA 50	106,1293*	3,32	43,76 (%)
CRA 100	77,1685*	3,51	39,94 (%)

CE = condutividade elétrica; DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água. ^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 7 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em cinco diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significância)		
		H	DC	H/DC
Doses Hidrogel	4	104,7439*	0,2305*	18,4243 ^{ns}
Resíduo	20	15,8743	0,1907	6,9596
CV (%)	-	22,32	23,14	26,12
Média geral		17,85	1,88	10,09

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 8 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus dunnii* semeadas em cinco diferentes doses do polímero vegetal, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significância)			
		MSPA	MSR	MST	IQD
Doses Hidrogel	4	0,2137*	0,0315*	0,3739*	0,0011*
Resíduo	20	0,0345	0,0002	0,0337	0,0002
CV (%)		32,83	17,34	23,47	21,27
Média geral		0,5661	0,2168	0,7828	0,0620

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 9 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para duração dos sintomas de estresse hídrico nas plantas em vasos de *Eucalyptus dunnii*, em função da presença ou ausência de hidrogel e diferentes frequências de irrigação.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)				
		SEM	LDH	MDH	SDH	SBV
Hidrogel (H)	1	51,041*	48,166*	28,246*	80,667*	48,353*
Freq. Irrigação (FI)	2	690,875*	876,166*	795,133*	763,142*	505,623*
H * FI	2	24,541 ^{ns}	25,166*	23,166*	8,252*	8,166*
Resíduo		7,3750	2,277	2,127	1,222	2,278
CV (%)		16,09	6,89	5,57	3,42	4,03
Média geral		16,87	21,92	26,41	32,33	37,42

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação. SEM - Sem sintomas; LDH - Sintoma leve; MDH - Sintoma moderado; SDH - Sintoma severo e SBV - dias em que as plantas permaneceram vivas.

Apêndice 10 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio), CV(%) e média geral para os parâmetros avaliados na análise de substrato Carolina Soil® e três diferentes dosagens de hidrogel (0; 3,00 e 6,00 g L⁻¹).

Variável	QM (fator hidrogel)	CV(%)	Média geral
pH	1,5393*	2,15	5,61
CE	0,0141*	4,70	0,5111 (mS cm ⁻¹)
DU	575,72*	1,07	227,78 (kg m ⁻³)
DS	10,66 ^{ns}	1,74	112,47 (kg m ⁻³)
UA	40,94*	1,24	50,47 (%)
PT	222,80*	0,86	89,77 (%)
EA	32,95*	9,04	23,17 (%)
AD	90,69*	2,76	27,22 (%)
AFD	63,52*	2,97	23,40 (%)
AT	3,92*	5,99	3,82 (%)
AR	117,42*	4,29	39,37 (%)
CRA 10	404,44*	2,80	66,60 (%)
CRA 50	147,56*	3,50	43,19 (%)
CRA 100	117,42*	4,29	39,37 (%)

CE = condutividade elétrica; DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água.

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 11 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes doses do polímero hidrorretentor e lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)		
		H	DC	H/DC
Blocos	3	896,21*	4,06*	20,00*
Irrigação (I)	4	1038,29*	12,31*	76,54*
Hidrogel (H)	2	2546,70*	22,52*	3,74 ^{ns}
I * H	8	514,31*	4,79*	6,02 ^{ns}
Resíduo		51,12	0,57	4,55
CV (%)		18,88	19,66	20,03
Média geral		30,79	2,95	10,65

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 12 – Resultado da Análise de Variância (Quadrado médio) para Altura (H), diâmetro de coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) das mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes doses do polímero hidrorretentor e lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios (significância)			
		MSPA	MSR	MST	IQD
Blocos	3	0,6182*	0,0248*	0,8672*	0,0042*
Irrigação (I)	4	0,2055 ^{ns}	0,0220*	0,3060 ^{ns}	0,0021 ^{ns}
Hidrogel (H)	2	0,8200*	0,0896*	1,4480*	0,0094*
I * H	8	0,4502*	0,0452*	0,4813*	0,0031*
Resíduo		0,0920	0,0217	0,1021	0,0014
CV (%)		22,81	18,91	20,74	21,79
Média geral		1,82	0,4612	2,28	0,1563

^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade; * F significativo a 5% de probabilidade; CV(%) = Coeficiente de variação.

Apêndice 13 – A - Preparo do substrato com mistura do polímero; B - polímero misturado ao substrato (início da hidratação); C - preenchimento em aproximadamente 80% da capacidade dos tubetes; D - mudas de *Eucalyptus dunnii* com transbordamento de substrato hidratado (tratamento com 6 g L^{-1}); E – área de instalação do experimento do cap. IV – diferentes lâminas de irrigação.

