

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

Jessé Caletti Mezzomo

**POTENCIAL SILVICULTURAL DE ESPÉCIES NATIVAS
FLORESTAIS SOB DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO
CONTROLADA E VOLUME DE RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO
CAMPO**

Santa Maria, RS
2016

Jessé Caletti Mezzomo

**POTENCIAL SILVICULTURAL DE ESPÉCIES NATIVAS FLORESTAIS SOB
DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E VOLUME DE
RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO CAMPO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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 a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maristela Machado Araujo

Santa Maria, RS
2016

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

Caletti Mezzomo, Jessé
POTENCIAL SILVICULTURAL DE ESPÉCIES NATIVAS FLORESTAIS
SOB DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E
VOLUME DE RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO CAMPO / Jessé
Caletti Mezzomo.- 2016.
78 p.; 30 cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

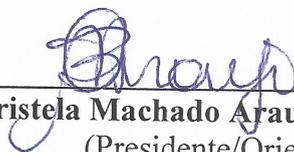
1. Balfourodendron riedelianum 2. Handroanthus
heptaphyllus 3. Mudas florestais I. Machado Araujo,
Maristela II. Título.

Jessé Caletti Mezzomo

**POTENCIAL SILVICULTURAL DE ESPÉCIES NATIVAS FLORESTAIS SOB
DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E VOLUME DE
RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO CAMPO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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 a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

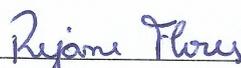
Aprovado em 15 de Agosto de 2016:



Maristela Machado Araujo, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Marcio Carlos Navroski, Dr. (UDESC)



Rejane Flores (IFFarroupilha)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, pelo amor, exemplo e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida e proteção.

Aos meus pais, José e Cristina, por todo o esforço, educação, dedicação, apoio, carinho, paciência e amor.

Ao meu irmão, Henrique, pelas conversas, apoio e amizade.

A todos os meus familiares, pelo apoio, amizade, ensinamentos e carinho.

A minha namorada, Beatriz, por toda a parceria, paciência, apoio, carinho e amor.

A minha orientadora, Professora Dra. Maristela Machado Araujo, pela confiança, apoio, orientação e ensinamentos.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal: Suelen Aimi, Rafael Callegaro, Felipe Manzoni, Adriana Griebeler, Jairo Peripoli, Matheus Roberto, Cláudia Costela, Daniele Rorato, Thaíse Tonetto, Mônica Kelling, Patrícia Mieth, Álvaro Berghetti, Thairini Zavistanovicz, Élio Campanhol, Gervásio Mario, Seu João e demais que passaram por lá pela amizade e parceria de todos os dias.

Aos colegas e amigos Felipe Turchetto e Daniele Gomes por todo o apoio na condução dos experimentos, pelo companheirismo e amizade, e a ajuda na construção desse trabalho.

A todos os meus amigos, em especial ao Bruno, pelo companheirismo, amizade, ajuda na coleta dos dados e conversas.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), em especial aos professores da Pós-graduação, pelos ensinamentos e formação profissional.

Ao professor Dr. Marcio Carlos Navroski e a professora Dra. Rejane Flores pela disponibilidade em participar da banca de avaliação.

Enfim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma ou outra contribuíram para mais essa conquista de minha vida.

Muito obrigado!

“O importante não é vencer todos os dias, mas lutar sempre.”

Waldemar Valle Martins

RESUMO

POTENCIAL SILVICULTURAL DE ESPÉCIES NATIVAS FLORESTAIS SOB DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E VOLUME DE RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO CAMPO

AUTOR: Jessé Caletti Mezzomo
ORIENTADORA: Maristela Machado Araujo

A crescente demanda por mudas de espécies nativas exige a melhoria do padrão de qualidade do processo produtivo, por meio da utilização de técnicas de cultivo mais eficientes. No entanto, a determinação de metodologias e insumos para produção em viveiro devem ser confirmadas em campo, a fim de recomendar técnicas que realmente favoreçam o crescimento das mudas. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo verificar o efeito de diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada sob aspectos morfofisiológicos de mudas de *Balfourodendron riedelianum* e *Handroanthus heptaphyllus* no viveiro e verificar se estas respostas se confirmam no campo. Para a produção de mudas em viveiro, foram utilizados três volumes de recipiente (tubetes de polipropileno de 180 e 280 cm³ e sacos plásticos de 500 cm³) e quatro doses de FLC (0, 4, 8 e 12 g L⁻¹ de substrato). No final do período em viveiro, foi mensurada a altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea, radicular e total, comprimento radicular, área foliar e a fluorescência da clorofila *a* e calculada a relação H/DC e Índice de Qualidade de Dickson. Os mesmos tratamentos foram avaliados no campo, aos 540 dias após o plantio, sendo mensurado o incremento em altura e diâmetro, assim como a sobrevivência, massa seca aérea, área foliar, fluorescência da clorofila *a* e índice de clorofila (*a*, *b* e total). A adubação de base com uso de fertilizante de liberação controlada (FLC) teve influencia positiva na produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum*. Recomenda-se o uso de tubete de 180 cm³ associado com dose de 12 g L⁻¹ de FLC, para a produção de mudas. Os resultados obtidos no viveiro, para a produção de mudas, são confirmados quando as mesmas são conduzidas no campo. Mudas de *Handroanthus heptaphyllus* respondem positivamente a adubação de base com uso de fertilizante de liberação controlada (FLC). Indica-se a produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* com tubetes de 180 cm³ e 12 g L⁻¹ de FLC.

Palavras-chave: *Balfourodendron riedelianum*. *Handroanthus heptaphyllus*. Mudas florestais.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Dados meteorológicos (Temperatura máxima média, temperatura média, temperatura mínima média e precipitação) registrados em Santa Maria, RS. 29
- Figura 2 - Comportamento da altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (HDC) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro..... 36
- Figura 3 - Comportamento da massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD) e comprimento radicular (CR) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro..... 37
- Figura 4 - Comportamento da área foliar (AF) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, produzidas em diferentes volumes de recipiente, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro. 38
- Figura 5 - Comportamento da fluorescência máxima e do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro. 39
- Figura 6 - Comportamento da sobrevivência de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC). 39
- Figura 7 - Comportamento do incremento em altura, incremento em diâmetro do coleto, massa seca aérea e área foliar de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC). 40
- Figura 8 - Comportamento do rendimento quântico máximo de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada, na fase de viveiro. 41
- Figura 9 - Comportamento da altura e massa seca total de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada, na fase de viveiro..... 52

- Figura 10 - Comportamento da massa seca radicular (MSR), índice de qualidade de Dickson (IQD) e relação H/DC de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro..... 53
- Figura 11 - Comportamento da massa seca aérea (MSA), da área foliar (AF) e do comprimento radicular (CR) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro..... 54
- Figura 12 - Rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro. 55
- Figura 13 - Comportamento do incremento em altura, incremento em diâmetro do coleto, massa seca aérea e área foliar de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC). 56
- Figura 14 - Comportamento do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e da clorofila *a* de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC)..... 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos da terra de subsolo utilizada para preenchimento das covas no plantio de mudas.	29
Tabela 2 - Médias das variáveis altura (H) e massa seca total (MST) de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> , avaliadas aos 180 dias após semeio, em função do volume de recipiente, na fase de viveiro.	52

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1 - Resultado da Análise de Variância para a altura, diâmetro, relação H/DC, massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro..... 70
- Apêndice 2 - Resultado da Análise de Variância para o índice de qualidade de Dickson (IQD), área foliar (AF), comprimento radicular (CR), fluorescência máxima (F_m) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro..... 71
- Apêndice 3 - Resultado da Análise de Variância para a sobrevivência, Incremento em altura, incremento em diâmetro e massa seca aérea (MSA) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC). 72
- Apêndice 4 - Resultado da Análise de Variância para a área foliar (AF) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m), de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC). 73
- Apêndice 5 - Resultado da Análise de Variância para a altura, relação H/DC, massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro. 74
- Apêndice 6 - Resultado da Análise de Variância para o índice de qualidade de Dickson (IQD), área foliar (AF), comprimento radicular (CR) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro. 75
- Apêndice 7 - Resultado da Análise de Variância para Incremento em altura, incremento em diâmetro, massa seca aérea (MSA) e área foliar (AF), de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC). 76

Apêndice 8 - Resultado da Análise de Variância para o rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e teor relativo de clorofila <i>a</i> , de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> , avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).	77
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 <i>Handroanthus heptapyllus</i> (Mart.) Mattos	17
2.2 <i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	18
2.3 PRODUÇÃO DE MUDAS	19
2.4 ADUBAÇÃO	20
2.5 RECIPIENTE	21
2.6 PLANTIO NO CAMPO	22
2.7 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 PRODUÇÃO DE MUDAS EM VIVEIRO	26
3.2 PLANTIO DAS MUDAS NO CAMPO.....	28
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
4 CAPÍTULO I - VOLUME DE SUBSTRATO E USO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA INFLUENCIAM O CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE <i>Balfourodendron riedelianum</i> E CRESCIMENTO INICIAL NO CAMPO.....	32
4.1 RESUMO	32
4.2 INTRODUÇÃO.....	33
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.4 RESULTADOS	36
4.4.1 Produção de mudas em viveiro.....	36
4.4.2 Desempenho das mudas no campo	39
4.5 DISCUSSÃO	42
4.5.1 Produção de mudas em viveiro.....	42
4.5.2 Desempenho das mudas no campo	45
4.6 CONCLUSÕES	47

5 CAPÍTULO II – POTENCIAL SILVICULTURAL DE <i>Handroanthus heptapyllus</i> SOB DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E VOLUME DE RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO CAMPO	48
5.2 INTRODUÇÃO.....	49
5.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
5.4 RESULTADOS	52
5.4.1 Produção de mudas em viveiro.....	52
5.4.2 Desempenho das mudas no campo	55
5.5 DISCUSSÃO	57
5.5.1 Produção de mudas em viveiro.....	57
5.5.2 Desempenho das mudas no campo	59
5.6 CONCLUSÕES	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
8 APÊNDICES	70

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil detém 13% da área florestal global, sendo considerado um dos países mais diversificados em florestas do mundo (FAO, 2011). A Mata Atlântica é reconhecida como um dos biomas de maior diversidade, porém, também é um dos mais ameaçados, sendo apontado como um dos mais relevantes *hot spots* mundiais para a conservação (MESQUITA et al., 2011), isso se deve principalmente ao desmatamento para a expansão das fronteiras agrícolas e dos centros urbanos (FAO, 2011), restando menos de 16% da sua área original (MESQUITA et al., 2011).

Diante dessa situação, diversas iniciativas têm sido realizadas com o objetivo de restaurar o bioma Mata Atlântica, conservar a biodiversidade e incentivar o desenvolvimento da silvicultura de espécies florestais nativas, que resultem em benefícios sociais, econômicos e ambientais (PENSAF, 2006; RODRIGUES, BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009; RIO GRANDE DO SUL, 2010), fazendo com que haja um aumento da necessidade por sementes e mudas florestais de espécies nativas (SARMENTO; VILLELA, 2010).

Entretanto, existem diversos desafios na silvicultura de espécies nativas, sendo imprescindível a definição de estratégias e protocolos que visem à produção de mudas com alto padrão de qualidade (DUTRA et al, 2016). Muitos fatores interferem na produção de mudas de espécies florestais, entre eles a semente, o tipo de recipiente, o substrato, fertilizantes, água e o manejo aplicado no viveiro (SANTOS et al., 2000; LOPES, 2004).

Dentre estes, o recipiente é um dos fatores que mais influencia a qualidade das mudas (RITCHIE et al., 2010). O volume ideal do recipiente varia conforme a espécie utilizada (LUNA; LANDIS; DUMROESE, 2009), devendo permitir o desenvolvimento do sistema radicular, sem restrições durante o período de permanência no viveiro (CARVALHO FILHO et al., 2003).

No Brasil, entre os recipientes mais utilizados para a produção de mudas estão os sacos plásticos e os tubetes (GONÇALVES et al., 2005). Segundo Davide e Faria (2008), os tubetes possibilitam a formação de mudas com adequado desenvolvimento radicular, evitando enovelamento das raízes; apresentam melhores condições ergonômicas e possibilita maior produção de mudas por unidade de área. Por outro lado, os sacos plásticos necessitam investimento menor para a produção, redução das aplicações de fertilizantes e permitem maior desenvolvimento radicular (BUSATO et al., 2012).

Outro aspecto a ser considerado é a adubação de base, a qual influencia na capacidade de adaptação, sobrevivência e crescimento das mudas (CRUZ; PAIVA; GUERREIRO, 2006),

devendo ser analisada cuidadosamente, pois tanto o excesso quanto a falta de nutrientes interfere no crescimento (GONÇALVES et al., 2005).

Entre as técnicas de adubação em viveiros, a utilização de fertilizantes de liberação controlada é uma alternativa, tendo em vista o fornecimento regular e contínuo de nutrientes para as mudas (JOSÉ et al., 2009; ELLI et al., 2013), garantindo a manutenção de um sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades nutricionais da planta (ROSSA et al., 2013), além da redução de perdas devido a lixiviação (SHAVIV, 2001), maior praticidade e aplicação única (ROSSA et al., 2013)

Segundo Pandolfi (2009), estudos são realizados para definir metodologias e insumos para a produção de mudas de qualidade. Entretanto, geralmente não é observado o comportamento das plantas quando levadas para plantio no campo (ABREU et al., 2015). Assim, respostas obtidas apenas em viveiro podem levar a conclusões equivocadas (VALLONE et al., 2009).

Nesse sentido, essa pesquisa teve como objetivo identificar metodologias eficientes para produção de mudas de duas espécies e obter informações sobre o desenvolvimento no campo. O trabalho foi dividido em dois capítulos:

- Capítulo I: Estudo do efeito de diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada sob aspectos morfofisiológicos de mudas de *Balfourodendron riedelianum* no viveiro e confirmar as respostas no campo.
- Capítulo II: Caracterizar o crescimento de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* no viveiro, produzidas em diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada e verificar se as respostas obtidas em viveiro se confirmam no campo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Handroanthus heptapyllus* (Mart.) Mattos

Handroanthus heptapyllus é uma espécie pertencente à família Bignoniaceae, conhecida popularmente como ipê-roxo, ipê-roxo-de-sete-folhas, ipê-rosa, entre outros (LORENZI, 2002). No Brasil, ocorre naturalmente nos estados da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul na América do Sul, pode ser encontrada na Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai (CARVALHO, 2003).

A espécie é classificada como secundária tardia, decídua, heliófila, e apresenta ampla dispersão, porém esparsa, comumente encontrada em vegetação secundária como capoeira e capoeirão (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003). De acordo com Carvalho (2003) ocorre naturalmente nas formações Estacionais, bem como na Floresta Ombrófila Mista e esparsamente na Floresta Ombrófila Densa e na Caatinga.

O ipê-roxo ocorre em altitudes de 50 a 1000 metros, em áreas com precipitação média anual variando de 850 a 3700 mm e com temperatura média anual de 18,7 a 25,6 °C (CARVALHO, 2003). Coradin et al. (2011), a descrevem como uma espécie com preferência a matas ribeirinhas, em solos húmicos ou argilosos e avermelhados, podendo ocorrer em encostas de morros, em solos geralmente úmidos, porém não encharcados.

Segundo Carvalho (2003), o ipê-roxo possui altura entre 8 e 20 metros e diâmetro a altura do peito (DAP) de 30 a 60 cm, tronco cilíndrico, reto a levemente tortuoso e copa larga, porém irregular. As folhas são compostas e opostas e o fruto é seco do tipo siliqua, deiscente, além disso, a semente é alada, com duas alas esbranquiçadas e membranáceas. A floração ocorre entre os meses de julho a setembro e a frutificação nos meses de setembro até o início de outubro, sendo a dispersão anemocórica (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003).

A coleta dos frutos deve ser realizada diretamente na árvore quando os primeiros iniciarem sua abertura espontânea (LORENZI, 2002). A germinação das sementes ocorre entre 10 e 15 dias após a semeadura (REITZ et al., 1983) e o potencial germinativo é de 83% (TONETTO et al., 2015), estando prontas para o plantio no campo em cerca de quatro meses (LORENZI, 2002).

A espécie apresenta desenvolvimento satisfatório quando plantada a pleno sol, em plantios puros. No entanto, também pode ser cultivada em plantios mistos, associada a espécies pioneiras e secundárias, visando melhor forma do fuste (CARVALHO, 2003).

Apresenta madeira densa, com alta durabilidade natural e resistência ao ataque de insetos e apodrecimento (PAULA; ALVES, 2010; CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015). A mesma é considerada de elevada qualidade, com trabalhabilidade adequada, podendo ser utilizada em diversas aplicações como construção civil e naval, carpintaria, marcenaria, confecção de tacos de assoalho, entre outros (BACKES; IRGANG, 2002; CARVALHO, 2003; PAULA; ALVES, 2010). A espécie é muito utilizada na ornamentação devido sua beleza, em praças, jardins públicos e na arborização, porém apresenta problemas em calçadas muito estreitas devido ao seu porte, sendo indicada para a restauração de mata ciliar em locais sem inundações (CARVALHO, 2003; CORADIN et al., 2011).

2.2 *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.

Balfourodendron riedelianum popularmente conhecido como pau-marfim, guatambú, farinha-seca, marfim, gramixinga, entre outros é uma espécie pertencente à família Rutaceae (LORENZI, 2002). Ocorre naturalmente no nordeste da Argentina, Paraguai e no Brasil, desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul (CARVALHO, 2003).

Conforme Carvalho (2003), o pau-marfim ocorre principalmente nas Florestas Estacionais e com menor frequência na Floresta Ombrófila Mista ocupando o estrato superior, sendo comum em clareiras, mata primária, matas secundárias e capoeirões, também encontrada no meio das pastagens. A espécie é semidecídua e heliófita, classificada como pioneira, secundária inicial ou secundária tardia (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003).

O pau-marfim ocorre em altitudes que variam de 70 a 1100 metros, em áreas com precipitação média anual de 1000 a 2200 mm, e temperatura média anual variando de 16,2 a 22,3 °C, ocorrendo em solos de alta fertilidade química, profundos e bem drenados, podendo tolerar solos pedregosos e úmidos (CARVALHO, 2003).

A espécie apresenta tronco reto a levemente tortuoso e cilíndrico, com altura de 25 a 35 metros de altura e 40 a 90 cm de diâmetro a altura do peito (DAP), as folhas são compostas trifoliadas, de filotaxia oposta (CARVALHO, 2003). O fruto é uma sâmara seca, indeiscente, lenhoso com três ou quatro alas e possui até quatro sementes por frutos (SILVA; PAOLI, 2006; CORADIN et al., 2011). A floração ocorre a partir do final de setembro à novembro e a maturação dos frutos de agosto a setembro (LORENZI, 2002). Os frutos são disseminados pela ação do vento, com ampla área de dispersão (CARVALHO, 2003).

Devido à dificuldade da abertura do fruto e retirada das sementes sem dano ao embrião, recomenda-se para produção de mudas e análise de sementes, remover as alas

manualmente e utilizar os frutos inteiros (CARVALHO, 2003), o que é denominado por Brasil (2009) como unidade-semente múltipla (USM). A produção de mudas pode ser realizada por meio de sementeiras ou diretamente no recipiente (LORENZI, 2002). Para a superação de dormência é recomendado colocar os frutos em água fria durante 24 horas (CARVALHO, 2003). Os frutos possuem germinação inicial de 37% e a emergência ocorre entre 25 e 45 dias (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003).

O crescimento em viveiro é lento, necessitando em média 8 meses para as mudas estarem aptas para o plantio. No campo, a espécie pode ser plantada a pleno sol, em plantios puros, em locais isentos de geada, bem como em plantios mistos, associado com espécies pioneiras, que apresentem maior crescimento inicial (CARVALHO, 2003).

O pau-marfim apresenta madeira moderadamente pesada, com baixa resistência ao apodrecimento e ao ataque de insetos (LORENZI, 2002). A madeira é indicada para a fabricação de móveis de luxo, portas e acabamentos internos, marcenaria, molduras, compensados, chapas, laminas decorativas, peças torneadas, hélices de avião entre outros (CARVALHO, 2003; CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015). Devido sua grande utilidade comercial é considerada por Reitz et al. (1983), como a mais importante das madeiras brasileiras. A espécie também pode ser utilizada na restauração de mata ciliar, em solos bem drenados ou com inundações periódicas de rápida duração (CARVALHO, 2003).

2.3 PRODUÇÃO DE MUDAS

A preocupação da sociedade em relação à conservação ambiental faz com que haja um aumento da necessidade por sementes e mudas florestais de espécies nativas, que são parte fundamental nos programas de recuperação, melhoramento e biotecnologia (SARMENTO; VILLELA, 2010). Porém, segundo Morais et al. (2012), a falta de conhecimento sobre a autoecologia da maioria das espécies florestais, o crescimento irregular e a escolha de métodos silviculturais impróprios são impeditivos para a utilização adequada das mudas de espécies nativas.

Desta maneira, é imprescindível a definição de estratégias e protocolos que visem a produção de mudas com alto padrão de qualidade (DUTRA et al., 2016), o que é fator determinante para a sobrevivência e crescimento inicial pós-plantio (CARNEIRO, 1995). Uma muda de qualidade é caracterizada por apresentar parte aérea bem formada, ausência de deficiências minerais e/ou estiolamento, sistema radicular bem formado, bom aspecto

fitossanitário e altura da parte aérea adequada para o habitat e método de plantio, visando sua resistência às condições adversas do meio (GOMES; PAIVA, 2008).

Segundo Carneiro (1995) e Lopes (2004) muitos fatores influenciam na produção de mudas de qualidade de espécies florestais, destacando-se as sementes, recipientes, substratos, fertilizantes, água e o manejo aplicado no viveiro.

2.4 ADUBAÇÃO

Na produção de mudas em viveiro, geralmente são utilizados substratos que apresentam baixas quantidades de nutrientes, ou em quantidades desequilibradas (CECONI et al., 2007). Desta forma, a adubação de base é um aspecto que deve ser analisado cuidadosamente para a obtenção de mudas de qualidade, sendo o crescimento das mesmas prejudicadas pela falta ou excesso de nutrientes (GONÇALVES et al., 2005). Segundo Cruz; Paiva; Guerreiro (2006) a fertilização tem sido de fundamental importância na produção de mudas, influenciando na capacidade de adaptação, sobrevivência e crescimento das mesmas.

Conforme Gonçalves (1995), a quantidade e as características do fertilizante, dependem da espécie utilizada, da forma de reação e sua eficiência. A deficiência de determinado elemento pode provocar distúrbios nas plantas, causando redução do seu crescimento e desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2009), isso se deve ao fato das funções exercidas pelos nutrientes serem específicas nos processos fisiológicos (BELLOTE; FERREIRA; SILVA, 2008).

Segundo Mendonça et al. (2007) a eficiência das adubações está diretamente relacionada com as doses e as fontes dos adubos utilizados. A aplicação parcelada de fertilizantes é uma alternativa para aumentar a eficiência da fertilização, porém esta prática eleva significativamente os custos operacionais (SGARBI et al., 1999; MENDONÇA et al., 2007).

A utilização de adubos de liberação controlada poderá ser uma alternativa ao parcelamento da aplicação (OLIVEIRA; SCIVITTARO, 2002; MENDONÇA et al., 2007). Dentre os fertilizantes de liberação controlada, destacam-se os nutrientes encapsulados por resinas que são liberados por meio de estruturas porosas, atingindo o sistema radicular mais lentamente (SHAVIV, 2001), garantindo a manutenção de um sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades nutricionais da planta (ROSSA et al., 2013).

As vantagens desses fertilizantes são o fornecimento regular e contínuo de nutrientes durante o período de formação das mudas (JOSÉ et al., 2009; ELLI et al., 2013), redução de perdas devido a lixiviação (SHAVIV, 2001; BARBIZAN et al., 2002; ELLI et al., 2013), eliminação de danos causados a raízes pela alta concentração de sais (SHAVIV, 2001), maior praticidade e redução nos custos com mão de obra devido a aplicação única (ROSSA et al., 2013) e a redução da mortalidade de plantas no pós-plantio (LANG, 2011).

Nesse sentido, para determinar a melhor dose de fertilizante de liberação controlada (FLC), Elli et al. (2013) avaliaram o efeito de cinco doses de FLC (0, 3, 6, 9, 12 g L⁻¹ de substrato) no desenvolvimento inicial de mudas de *Eugenia uniflora* e concluíram que a dose de 3 g L⁻¹ promove o melhor desenvolvimento das variáveis avaliadas. Gasparin et al. (2015), ao analisar a produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* sob cinco doses de FLC (0, 3, 6, 9, 12 g L⁻¹ de substrato), combinadas com três volumes de tubetes (50, 110 e 180 cm³), constataram que a dose de 9 g L⁻¹ de FLC combinada com o tubete de 180 cm³ apresentou as mudas com características morfológicas superiores.

2.5 RECIPIENTE

O sistema de produção de mudas se modificou com o passar do tempo, sendo hoje, prioritariamente utilizado recipientes substituindo o sistema de raiz nua. A produção em sistemas de recipientes segundo Gomes e Paiva (2011) permite a produção de mudas de melhor qualidade, devido ao melhor controle da nutrição e proteção das raízes contra danos mecânicos e a desidratação, além de facilidades no manejo e transporte.

A função principal do recipiente conforme Landis (1990) é conter o substrato, que por sua vez, irá fornecer as raízes das plântulas água, ar, nutrientes e suporte físico, durante o período de viveiro.

O volume do recipiente, conforme Ritchie et al., (2010) é um dos fatores que mais afetam a morfologia e a qualidade das mudas, sendo esse um fator limitante ao desenvolvimento de raízes. O volume do recipiente deve permitir o desenvolvimento do sistema radicular, sem restrições durante o período de permanência no viveiro (CARVALHO FILHO et al. 2003), sendo que, o volume ideal varia conforme a espécie utilizada, a velocidade de crescimento, o tamanho final da muda, o período de permanência no viveiro, a morfologia do sistema radicular e os aspectos econômicos (LUNA; LANDIS; DUMROESE, 2009).

A utilização de recipientes com volumes menores que o recomendado causa deformação do sistema radicular, como a dobra e o estrangulamento das raízes (FREITAS et al., 2013), já recipientes com volumes acima do recomendado causa um gasto desnecessário com substrato (VIANA et al., 2008).

Os sacos (sacolas) plásticos e os tubetes de polipropileno são os recipientes mais utilizados para a produção de mudas (GONÇALVES et al., 2005). Os tubetes são constituídos de plástico rígido; possuem estrias longitudinais na parte interna, que servem para o direcionamento das raízes; e uma abertura na parte inferior, para auxiliar na poda do sistema radicular e no escoamento da água excedente. Os sacos plásticos são embalagens flexíveis, com perfurações laterais que permite a drenagem da água (BUSATO et al., 2012).

Em relação à produção de mudas, os tubetes apresentam como vantagem em relação aos sacos plásticos: melhores condições ergonômicas, facilidade de administração, maior grau de mecanização, menor consumo de substrato, boa formação do sistema radicular, maior dificuldade de enovelamento das raízes, maior produção de mudas por unidade de área e menor custo de transporte (GONÇALVES et al., 2005; DAVIDE; FARIA, 2008; GOMES; PAIVA, 2008). Os sacos plásticos apresentam como vantagens, o menor investimento de aquisição, menor número de aplicações de fertilizantes, maior facilidade de adaptação pós-plantio e maior desenvolvimento radicular (BUSATO et al., 2012; DAVIDE; FARIA, 2008).

Ferraz e Engel (2011), testando três diferentes tamanhos de tubete (50, 110 e 300 cm³) para a produção de mudas de *Hymenaea courbaril*, *Tabebuia chrysotricha* e *Parapiptadenia rigida*, concluíram que o tubete de 300 cm³ proporcionou mudas com maior altura e diâmetro do coleto, além de ter conferido maior desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas. Cruz; Andrade; Feitosa (2016), comparando o crescimento de *Spondias tuberosa* em diferentes substratos e recipientes, verificaram que é indicado a produção das mudas com substrato contendo terra de subsolo (45%) + Areia (15%) + Esterco bovino (40%) em sacos plásticos de 1900 cm³, por esse requerer menos quantidade de substrato que o saco de 5000 cm³.

2.6 PLANTIO NO CAMPO

O sucesso dos plantios de reflorestamento, tanto com fins conservacionistas quanto comerciais, esta ligado diretamente a qualidade das mudas (DELARMELINA et al., 2013; ABREU et al., 2015; GASPARIN et al., 2014). Onde a utilização de mudas com maior vigor possibilita aumento na chance de sucesso, maximiza o crescimento (LIMA et al., 2008),

diminui a intensidade de tratos culturais no campo e reduz o ciclo de produção (FREITAS et al., 2013).

As mudas utilizadas no plantio devem ser capazes de sobrepor às condições desfavoráveis ao seu estabelecimento (GOMES; PAIVA, 2011; LIMA et al., 2014). Segundo Gonçalves et al. (2005), é recomendado a utilização de mudas que apresentem altura e diâmetro do coleto adequados, além de ampla área foliar. Esses resultados podem ser obtidos com a utilização de materiais genéticos adaptados ao local de plantio e com a utilização de técnicas silviculturais adequadas (DAVIDE; FARIA, 2008).

Além disso, para o sucesso do plantio, diversos outros fatores envolvidos devem ser analisados, como o tipo de solo, a fertilidade e a acidez, sendo muitas vezes necessárias práticas de correções como adubação e calagem. Também devem ser realizadas práticas de manutenção do plantio, como controle de formigas com o uso de iscas, e da mato-competição por meio de capinas (química e mecânica) e roçadas (HIGA; MORA; HIGA, 2000).

Muitos estudos são realizados para definir metodologias e insumos adequados para a produção de mudas de alto padrão de qualidade, que permitam elevada sobrevivência e desempenho após plantio (PANDOLFI, 2009). Porém, geralmente não é observado o comportamento das plantas quando levadas para plantio no campo (ABREU et al., 2015), dificultando determinar da relação entre as características morfológicas e biológicas obtidas em viveiro com a situação de campo (GASPARIN et al., 2014). Assim, respostas obtidas apenas em viveiro podem levar a conclusões equivocadas (VALLONE et al., 2009).

Novaes et al. (2014), avaliando o crescimento no viveiro e no campo de mudas de *Azadirachta indica* produzidas em diferentes recipientes, verificaram que mudas produzidas em sacos plásticos com 382 cm³, apresentam valores superiores para as características morfológicas avaliadas tanto em viveiro como à campo, 15 meses após o plantio.

Gasparin et al (2014), estudando diferentes substratos e volumes de recipiente para a produção de mudas de *Cabralea canjerana* em viveiro e no campo, observaram que o comportamento das mudas em campo, após 360 dias, diferiu do encontrado em viveiro e que o efeito dos tratamentos utilizados na produção tendem a desaparecer após o plantio, ressaltando a importância da fase de plantio no campo, a fim de confirmar os resultados de viveiro.

2.7 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS

A qualidade das mudas, imprescindível para o sucesso dos plantios, é determinada conforme Gomes e Paiva (2011) por meio de parâmetros morfológicos e fisiológicos. Os parâmetros morfológicos como a altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC) e peso da matéria seca, pela facilidade de obtenção são os mais utilizados para a determinação da qualidade das mudas (GOMES; PAIVA, 2011).

A altura da parte aérea e o diâmetro do coleto são facilmente mensurados e não há necessidade de destruir a planta. A altura da parte aérea é considerada um excelente parâmetro para estimar o crescimento inicial no campo, já o diâmetro do coleto é um ótimo indicador da sobrevivência após plantio (GOMES; PAIVA, 2011). A relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto (H/DC) é também muito utilizada, e indica equilíbrio de desenvolvimento da planta (CARNEIRO, 1995).

A massa seca, apesar de ser um método destrutivo, é considerada um ótimo parâmetro para determinar a qualidade das mudas, estando diretamente correlacionado com a sobrevivência e crescimento inicial das mudas, após plantio no campo. A massa seca aérea indica rusticidade das mudas e apresenta uma relação direta com o crescimento em altura, enquanto a massa seca radicular é um importante parâmetro para estimar a sobrevivência e crescimento inicial das mudas no campo (GOMES; PAIVA, 2011).

O índice de qualidade de Dickson pode ser considerado um bom indicador da qualidade das mudas, pois no seu cálculo são consideradas a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade (FONSECA et al., 2002).

No entanto, para a classificação do padrão de qualidade das mudas, não se deve utilizar parâmetros morfológicos de forma isolada, a fim de evitar erros de seleção, como mudas mais altas, porém fracas, descartando as menores, mas com maior vigor (FONSECA et al., 2002). Segundo Carneiro (1995) os parâmetros fisiológicos se referem à capacidade fotossintética, ao estado nutricional, a ecofisiologia e o potencial de regeneração das raízes. Porém, esses são considerados de difícil medição, análise e interpretação, principalmente em viveiro (GOMES; PAIVA, 2011).

Entre as variáveis fisiológicas destaca-se a fluorescência da clorofila *a*, um eficiente parâmetro na indicação de ausência ou presença de danos no processo fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2009; FALCO et al., 2011), sendo amplamente utilizada, pois possibilita a avaliação quantitativa e qualitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo

fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética, além de ser um método não destrutivo (KRAUSE; WEIS, 1991; NETTO et al., 2005).

Nas medições da fluorescência da clorofila *a*, as principais variáveis observadas são: fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m). O F_0 representa a fluorescência com todos os centros de reação “abertos” e refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do PSII (KRAUSE; WEISS, 1991). A F_m indica completa redução da quinona A (QA) a partir da incidência de um pulso de luz no centro de reação QA. A F_v é a diferença entre a F_m e a F_0 . A F_v representa o fluxo de elétrons do centro de reação do PSII (P680) até a plastoquinona (PQH2). O rendimento quântico máximo é calculado como: F_v/F_m . Sendo que a razão deve variar entre 0,75 e 0,85, quando a planta apresentar aparelho fotossintético intacto (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989), enquanto decréscimo nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII (BJÖRKMAN; DEMMING, 1987).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PRODUÇÃO DE MUDAS EM VIVEIRO

O experimento foi conduzido no Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal (29°43'S e 53°43'O), do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (DCFL/UFSM), no município de Santa Maria, RS, entre setembro de 2013 e setembro de 2014 para o *Balfourodendron riedelianum* e entre março de 2014 e setembro de 2014 para o *Handroanthus heptaphyllus*.

Conforme classificação de Köppen, o clima da região é subtropical, do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1720 mm e temperatura média anual de 19,1°C, sendo 32°C e 9°C, as médias dos meses mais quente e frio, respectivamente (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Os frutos de *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim) foram coletados em agosto de 2013 em árvores localizadas em fragmentos florestais, na localidade de Caemborá, no município de Nova Palma, RS. A coleta ocorreu diretamente nas árvores, com o auxílio de podão e lona. Após a coleta, os frutos foram dispostos em bandejas em local coberto e arejado para pré-secagem durante três dias, em temperatura ambiente, em seguida, procedeu-se o beneficiamento, com auxílio de tesoura de poda, sendo removida a parte alada do fruto. Após o beneficiamento, os frutos foram armazenados, em câmara fria e úmida ($T^{\circ} = 8^{\circ}\text{C}$, U.R. = 80%), até o semeio.

As sementes de *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo) foram adquiridas da empresa MP sementes, oriundas do município de Ijuí, RS.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, em esquema fatorial (3 x 4), considerando três volumes de recipiente (tubetes de polipropileno de 180 e 280 cm³, de formato cilíndrico e cônico, acondicionados em bandejas e sacos plásticos de 500 cm³ constituído de plástico flexível, com furos laterais) e doses de fertilizante de liberação controlada (0, 4, 8 e 12 g L⁻¹ de substrato). A parcela experimental foi constituída por 20 mudas.

Para o preenchimento dos recipientes utilizou-se substrato comercial composto turfa e casca de arroz carbonizada, na proporção de 2:1. O preparo do substrato foi realizado em betoneira, e após foi realizado o preenchimento dos recipientes e acomodação do substrato.

O FLC utilizado (Osmocote[®]) apresenta a seguinte composição química: macronutrientes 15% de nitrogênio (N); 9% de superfosfato (P₂O₅); 12% de cloreto de

potássio (K_2O); 1% de magnésio (Mg) e os micronutrientes 2,3% de enxofre (S); 0,05% de cobre (Cu); 0,06% de manganês (Mn); 0,45% de ferro (Fe) e 0,2% de molibdênio (Mo), o qual é revestido por uma camada orgânica semipermeável, conforme especificações técnicas do fabricante, os nutrientes são liberados entre cinco e seis meses, quando colocados em substrato úmido e temperatura média de 21 °C.

A produção das mudas *Balfourodendron riedelianum* teve início em setembro de 2013, quando foi realizado o semeio dos frutos em sementeiras. Essas foram constituídas de bandejas plásticas, com areia peneirada (malha de 2 mm) e após semeadura houve recobrimento com vermiculita. As bandejas foram alocadas em casa de vegetação por quatro meses, para emergência das plântulas. Em janeiro de 2014, as plântulas com altura mínima de cinco cm e um par de folhas, foram repicadas para o recipiente definitivo.

Para a produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, o semeio ocorreu diretamente nos recipientes em março de 2014, utilizando duas sementes por recipiente, após 60 dias foi realizado raleio, quando a plântula excedente foi eliminada, deixando apenas a mais vigorosa e central.

Após a repicagem e o semeio, de *Balfourodendron riedelianum* e *Handroanthus heptaphyllus* respectivamente, as mudas foram levadas para casa de vegetação com irrigação diária de 5 mm, realizada por uma barra móvel de microaspersores, onde permaneceram até o final do experimento.

As mudas de *Balfourodendron riedelianum* e *Handroanthus heptaphyllus* foram avaliadas quanto aos seguintes parâmetros: altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação H/DC área foliar (AF), comprimento radicular (CR), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e fluorescência da clorofila *a*. As avaliações foram realizadas ao final do experimento, sendo para o *Balfourodendron riedelianum* aos 240 dias após repicagem, e para *Handroanthus heptaphyllus* aos 120 dias após raleio.

A medição da altura foi realizada com auxílio de régua graduada (cm), a partir do nível do substrato até a gema apical. O diâmetro do coleto foi avaliado ao nível do substrato, com utilização de paquímetro digital (precisão de 0,01 mm). A partir destes dados foi obtida a relação H/DC. A quantificação da área foliar (AF) e o comprimento radicular (CR) das mudas foi realizada baseando-se na amostragem de duas mudas por tratamento. A parte aérea foi separada em caule e folhas, já a parte radicular foi colocada sobre peneiras e lavada em água corrente para a retirada do substrato, após as folhas e as raízes foram distribuídas sobre papel branco e recobertas por um vidro transparente, contendo referência de escala, para a retirada

de fotografias. As fotografias foram retiradas com câmara digital, presa a uma estrutura fixa e processadas com o auxílio do programa ImageJ[®].

Posteriormente, determinou-se a massa seca da parte aérea (MSA) e massa seca radicular (MSR), utilizando as mesmas amostras utilizadas para avaliar a AF e CR. A parte aérea e a parte radicular foram acondicionadas em embalagens de papel (tipo Kraft), e levadas à estufa de circulação forçada de ar para secar, na temperatura de 65 ± 5 °C por 72 horas. Após, as amostras foram pesadas em balança analítica (precisão 0,01 g). A massa seca total (MST) foi obtida pelo somatório da MSA e MSR. A partir desses dados calculou-se o índice de qualidade de Dickson (IQD), obtido pela seguinte fórmula (DICKSON et al., 1960):

$$IQD = \frac{MST}{[(H/DC) + (MSPA/MSR)]}$$

sendo: IQD: Índice de Qualidade de Dickson; MST: massa seca total (g); H: Altura da parte área (cm); DC: Diâmetro do coleto (mm); MSPA: Massa seca da parte área (g); MSR: Massa seca do sistema radicular (g).

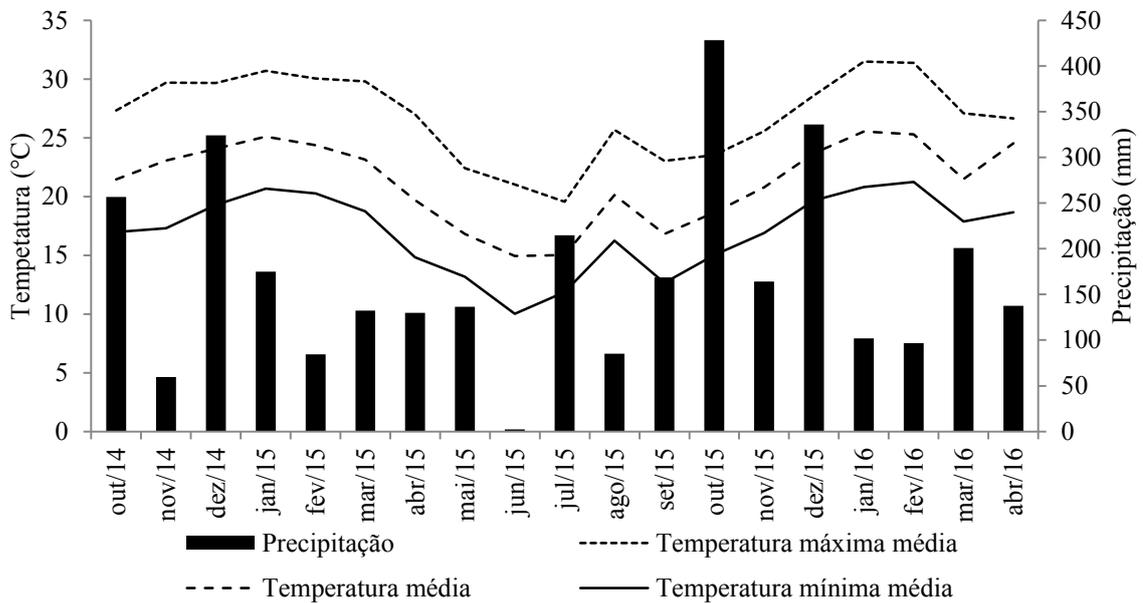
A análise da fluorescência da clorofila *a*, foi realizada com o auxílio do fluorômetro de pulso modulado (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz Mess-und-Regeltechnik), sendo selecionada uma muda de cada repetição, analisando-se uma folha completamente expandida do segundo ramo, a qual foi pré-adaptada ao escuro, sendo envolta em papel alumínio por 30 minutos, após esse período foi realizada a leitura. Esta medição foi realizada no período das 7 às 11 horas, obtendo os valores de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e taxa de transporte de elétrons (ETR).

3.2 PLANTIO DAS MUDAS NO CAMPO

O plantio das mudas foi realizado em outubro de 2014, em área adjacente ao Viveiro Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, ($29^{\circ}43'12''S$ e $53^{\circ}43'14''O$). Foram utilizados os mesmos tratamentos descritos no experimento de viveiro.

Os dados meteorológicos de temperatura, precipitação e umidade relativa, foram obtidos na Estação Meteorológica de Santa Maria, localizada no Campus da UFSM, por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (FIGURA 1).

Figura 1 - Dados meteorológicos (Temperatura máxima média, temperatura média, temperatura mínima média e precipitação) registrados em Santa Maria, RS.



Fonte: BDMET/INMET (2016).

Inicialmente efetuou-se a limpeza total da área, com o uso de roçadeira e o controle de formigas cortadeiras, por meio de iscas granuladas a base de Sulfluramida, distribuídas de forma sistemática em toda a área de experimento.

Foram abertas covas circulares de 30 cm de diâmetro e 35 cm de profundidade, com um perfurador de solo acoplado a um trator, em espaçamento de 1 x 1 m. As covas foram preenchidas com terra de subsolo, previamente analisada no Laboratório de Análise de Solos (UFSM) (TABELA 1).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos da terra de subsolo utilizada para preenchimento das covas no plantio de mudas.

pH	P*	K	Ca	Mg	Al	MO	Argila	V
H ₂ O	-----mg.dm ⁻³	-----	-----	cmolc.dm ⁻³	-----	-----	%	-----
4,4	4,5	36,0	2,0	0,6	1,8	2,1	31	13,3

Em que: P: fósforo *extraído pelo método de Mehlich I; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; MO: matéria orgânica; V: saturação por bases.

A partir dos resultados da análise química do solo, foi necessário realizar a correção do pH, através da calagem, sendo essa executada 30 dias antes do plantio.

O experimento foi conduzido em delineamento blocos ao acaso, formado por 12 tratamentos testados inicialmente no viveiro (tipo de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada) distribuídos em três blocos, sendo que cada parcela foi composta por quatro mudas com o tamanho médio do tratamento, totalizando 144 plantas.

As mudas foram plantadas com o auxílio de pá de jardinagem. A irrigação das mudas foi efetuada uma vez por semana, no primeiro mês de plantio, quando não houve precipitação, adicionando-se aproximadamente 2 L de água por muda, com uso de regador. As adubações de cobertura foram realizadas aos 30, 210 e 390 dias após o plantio, por meio de aplicação de 100 g de NPK (05-20-20) nas duas primeiras adubações e de 50 g de ureia na última adubação, distribuídos a 20 cm da planta, em dois lados opostos.

Práticas de manutenção e controle, como roçadas, coroamento, aplicação de herbicidas e controle de formigas com iscas granuladas, foram realizadas, periodicamente, durante todo o período do experimento.

As avaliações de altura (H) e diâmetro do coleto (DC) foram realizadas no momento do plantio e ao final do experimento (0 e 540 dias após o plantio). A partir da medição final, realizada aos 540 dias após o plantio, calculou-se o incremento em altura (IA) e o incremento em diâmetro do coleto (IDC) das mudas em relação ao momento do plantio. A avaliação da sobrevivência foi realizada aos 540 dias após o plantio, por meio de observação visual e contagem do número de indivíduos mortos.

Aos 540 dias após o plantio foi avaliada a fluorescência da clorofila *a*, em uma muda de cada tratamento por bloco, sendo utilizada a metodologia do experimento realizado no viveiro. Também foi analisado o índice de clorofila (*a*, *b* e total), em duas plantas por repetição, as leituras foram realizadas em uma folha completamente expandida do terceiro ramo, com o auxílio do clorofilômetro portátil ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece como unidade de medida o índice de clorofila Falker (ICF).

Ao final do experimento (540 dias após o plantio), foi determinada a área foliar (AF) e a massa seca aérea (MSA), utilizando-se a metodologia citada anteriormente.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Em ambos os experimentos, foram avaliados às pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade da variância, com posterior análise de variância (ANOVA) seguida pela comparação de médias pelos testes de Tukey ou regressão polinomial a 5% de

probabilidade de erro. As análises foram realizadas no pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 CAPÍTULO I - VOLUME DE SUBSTRATO E USO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA INFLUENCIAM O CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE *Balfourodendron riedelianum* E CRESCIMENTO INICIAL NO CAMPO

4.1 RESUMO

O presente estudo teve como objetivo verificar o efeito de diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada sob aspectos morfofisiológicos de mudas de *Balfourodendron riedelianum* no viveiro e verificar se estas respostas se confirmam no campo. Para a produção de mudas em viveiro, foram utilizados três volumes de recipiente (tubetes de polipropileno de 180 e 280 cm³ e sacos plásticos de 500 cm³) e quatro doses de FLC (0, 4, 8 e 12 g L⁻¹ de substrato), sendo as mudas conduzidas por um período de 240 dias. No final do período em viveiro, foi mensurada a altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea, radicular e total, comprimento radicular, área foliar e a fluorescência da clorofila *a* e calculada a relação H/DC e Índice de Qualidade de Dickson. Os mesmos tratamentos foram avaliados no campo, aos 540 dias após o plantio, sendo mensurado o incremento em altura e diâmetro, assim como a sobrevivência, massa seca aérea, área foliar, fluorescência da clorofila *a* e índice de clorofila (*a*, *b* e total). A adubação de base com uso de fertilizante de liberação controlada (FLC) teve influencia positiva na produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum*. Recomenda-se o uso de tubete de 180 cm³ associado com dose de 12 g L⁻¹ de FLC, para a produção de mudas. Os resultados obtidos no viveiro, para a produção de mudas, são confirmados quando as mesmas são conduzidas no campo.

Palavras-chave: Pau-marfim. Mudas florestais. Saco plástico. Tubete. Nutrição mineral.

4.2 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um dos países mais diversificados em florestas do mundo, porém, o desmatamento para a expansão das fronteiras agrícolas e dos centros urbanos vem reduzindo as áreas de florestas (FAO, 2011). Diante dessa situação, diversas iniciativas são realizadas visando à restauração e conservação, aumentando a necessidade por mudas florestais de espécies nativas (SARMENTO; VILLELA, 2010).

Dentre muitas espécies florestais nativas ameaçadas de extinção que necessitam de medidas urgentes de conservação está o *Balfourodendron riedelianum* (KUBOTA et al., 2015). A espécie pertence à família Rutaceae, sendo conhecida popularmente como pau-marfim, guatambú, farinha-seca, entre outros (LORENZI, 2002). Ocorre naturalmente no nordeste da Argentina, Paraguai e no Brasil, desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, principalmente nas Florestas Estacionais, onde apresenta comportamento de espécie semidecídua e heliófita, classificada como pioneira, secundária inicial ou secundária tardia (CARVALHO, 2003). O mesmo autor ainda destaca a importância tanto ecológica quanto econômica do pau-marfim, sendo indicado para a restauração de áreas degradadas, além do uso da madeira para a fabricação de móveis de luxo. Além disso, pesquisas recentes visando a descoberta de novos agroquímicos (herbicidas, inseticidas, etc) a partir de produtos naturais, identificaram na espécie diversos metabólitos secundários, capazes de inibir o processo fotossintético (VEIGA et al., 2013).

A qualidade das mudas é fundamental para o sucesso inicial de plantios florestais (GASPARIN et al., 2014), entretanto, existem diversos desafios para a produção de mudas de qualidade, sendo indispensável a definição de estratégias e elaboração de protocolos (DUTRA et al, 2016). Conforme Santos et al. (2000), muitos fatores interferem na produção de mudas florestais, entre eles a qualidade das sementes, o tipo de recipiente, o substrato, fertilizantes, água e o manejo aplicado no viveiro.

Dentre estes, Ritchie et al. (2010) destaca que o recipiente é um dos fatores que mais influencia a qualidade das mudas. O recipiente atua sobre a disponibilidade de nutrientes minerais e de água para a planta, e suas características e dimensões podem influenciar aspectos operacionais (LUNA; LANDIS; DUMROESE, 2009).

Os tubetes e os sacos plásticos estão entre os recipientes mais utilizados para a produção de mudas (GONÇALVES et al., 2005). Busato et al. (2012) descrevem que os sacos plásticos necessitam menor investimento inicial para a produção, além de redução das aplicações de fertilizantes e maior desenvolvimento radicular. Já os tubetes possibilitam

adequado crescimento radicular, evitando enovelamento, e possibilitando melhores condições ergonômicas (DAVIDE; FARIA, 2008).

Outro importante aspecto na produção de mudas é a adubação de base, a qual é fundamental para maximizar o crescimento das mudas em recipientes (KLOOSTER et al., 2012), devendo ser analisada cuidadosamente, pois tanto o excesso quanto a falta de nutrientes podem influenciar negativamente o crescimento (GONÇALVES et al., 2005).

A eficiência das adubações está relacionada com as doses e as fontes dos adubos utilizados (MENDONÇA et al., 2007), sendo o parcelamento das aplicações uma importante forma de maximizar a eficiência, porém esta prática eleva os custos operacionais (SGARBI et al., 1999). A utilização de fertilizantes de liberação controlada é uma opção ao parcelamento da aplicação, pois fornece nutrientes de forma regular e contínua para as mudas (JOSÉ et al., 2009; ELLI et al., 2013), o que evita danos ao sistema radicular em função de concentrações tóxicas e/ou por mudanças no potencial osmótico do substrato (BERNSTEIN; KAFKFI, 2002), além de reduzir as perdas por lixiviação (SHAVIV, 2001).

A determinação de metodologias e insumos para produção em viveiro devem ser confirmadas em campo, a fim de recomendar técnicas que realmente favoreçam o crescimento das mudas (GASPARIN et al., 2014), evitando a obtenção de conclusões equivocadas (VALLONE et al., 2009).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo verificar o efeito do uso de diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada, sob aspectos morfofisiológicos de mudas de *Balfourodendron riedelianum* no viveiro, e verificar se as respostas obtidas em viveiro se confirmam no campo.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

A descrição desse componente consta no item 3 Material e métodos, o qual foi elaborado de forma conjunta, para ambas as espécies dessa dissertação.

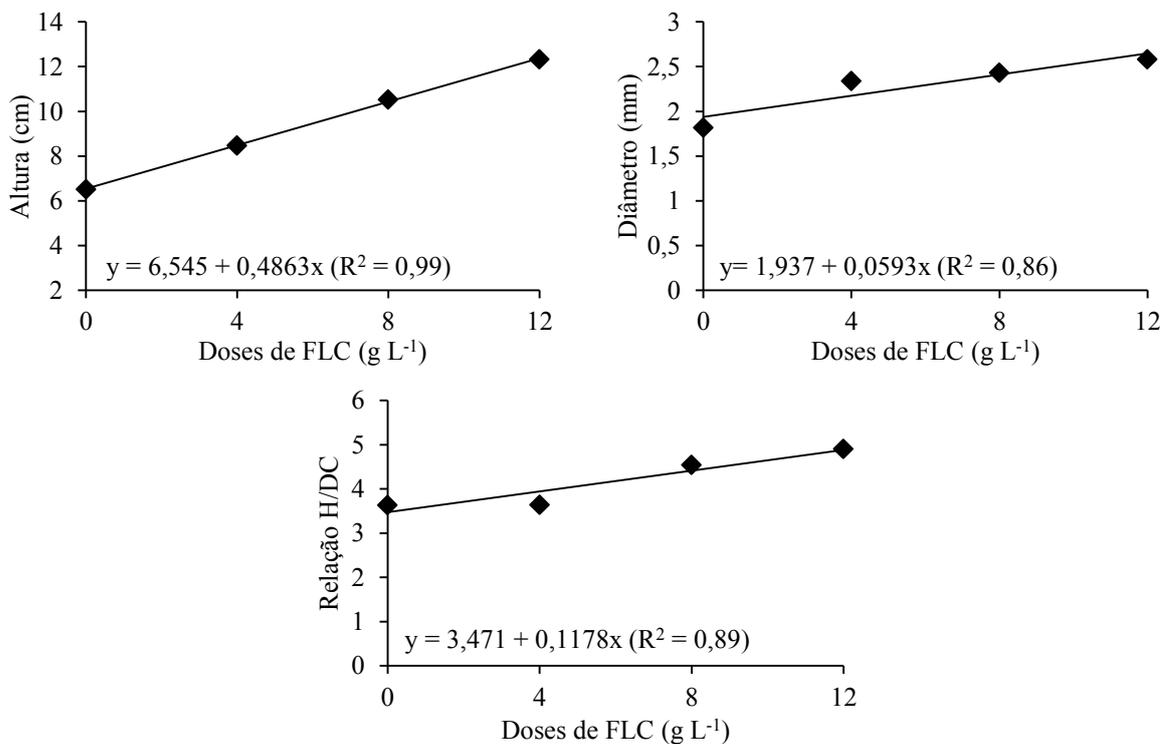
4.4 RESULTADOS

4.4.1 Produção de mudas em viveiro

Para as variáveis morfológicas de mudas de *Balfourodendron riedelianu*, em viveiro, aos 240 dias após repicagem, houve interação significativa entre os volumes de recipiente e as doses de fertilizante de liberação controlada, apenas para a área foliar (AF). As demais variáveis analisadas, altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura/diâmetro do coleto (HDC), massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD) e comprimento radicular (CR), apresentaram diferença significativa somente para o fator doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).

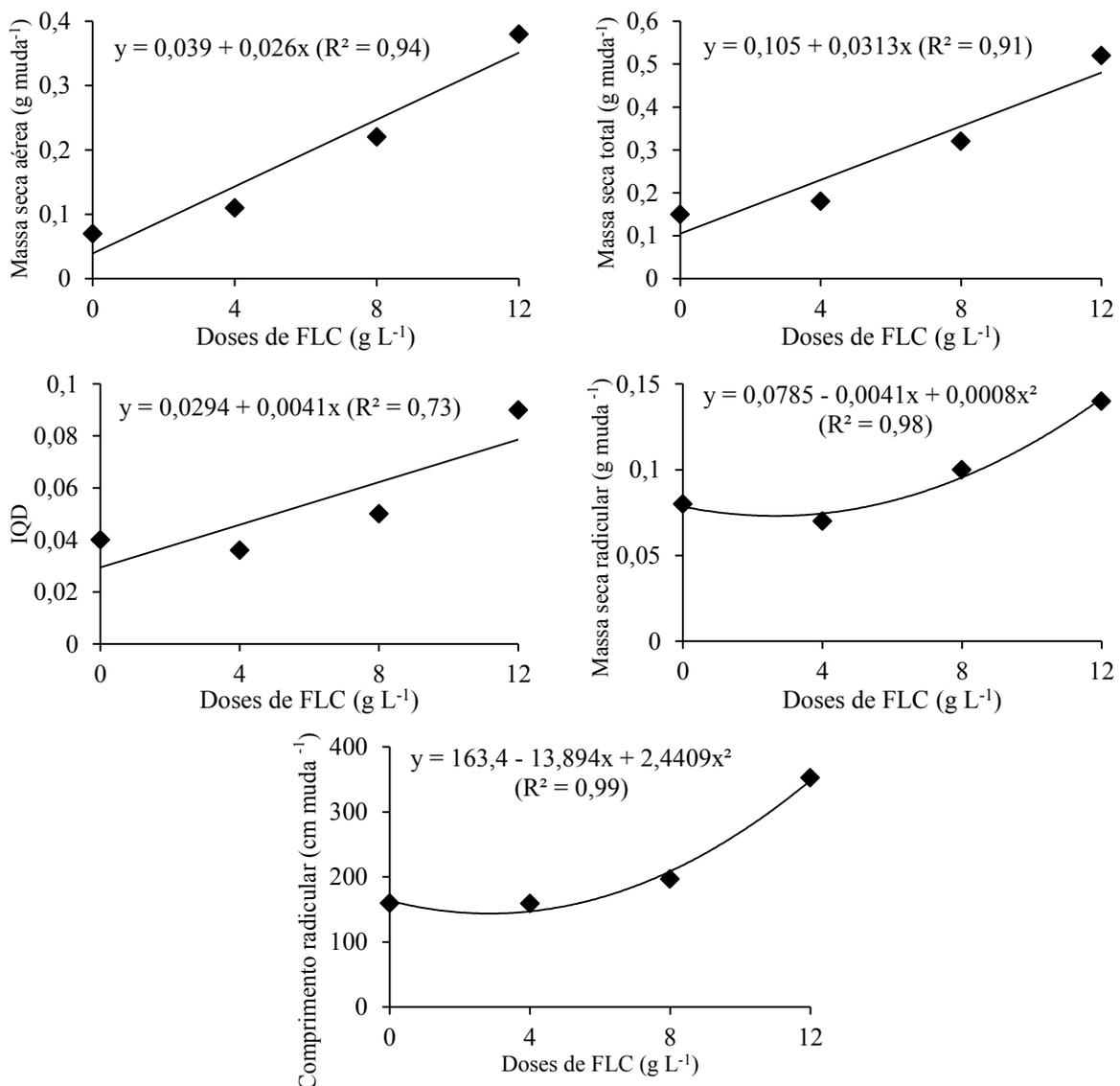
O desenvolvimento em altura, diâmetro do coleto e relação altura/diâmetro apresentaram comportamento linear crescente, em função do aumento das doses de FLC (FIGURA 2).

Figura 2 - Comportamento da altura (H), diâmetro do coleto (DC) e relação altura/diâmetro do coleto (HDC) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.



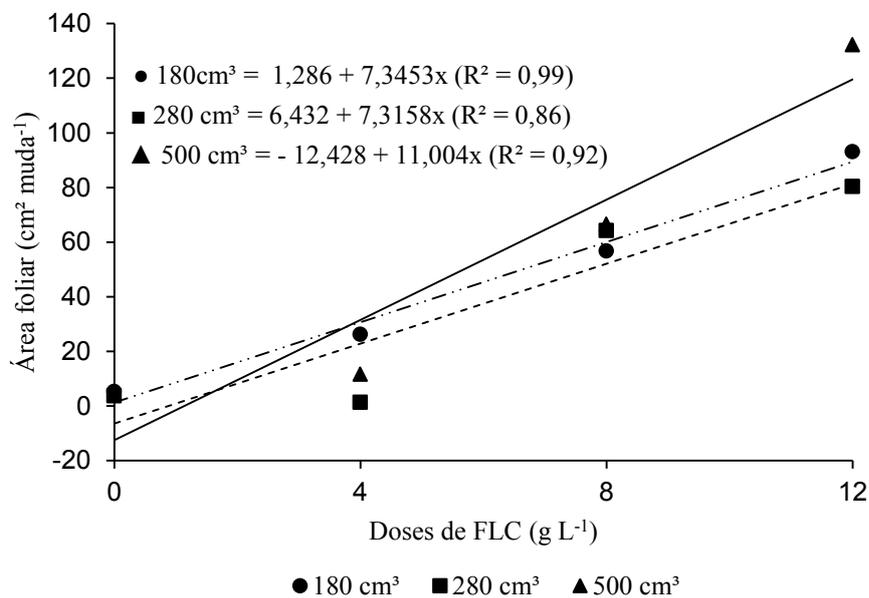
Os valores de massa seca aérea, massa seca total e índice de qualidade de Dickson, também apresentam tendência de crescimento linear e crescente com o aumento das doses de FLC, obtendo as maiores médias (0,38 g muda⁻¹, 0,52 g muda⁻¹ e 0,09, respectivamente) para a dose de 12 g L⁻¹ (FIGURA 3). Já a massa seca radicular e o comprimento radicular apresentaram comportamento quadrático conforme o incremento das doses de FLC (FIGURA 3), com as maiores médias observadas também para a dose de 12 g L⁻¹ (0,14 g muda⁻¹ e 352,21cm, respectivamente).

Figura 3 – Comportamento da massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD) e comprimento radicular (CR) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.



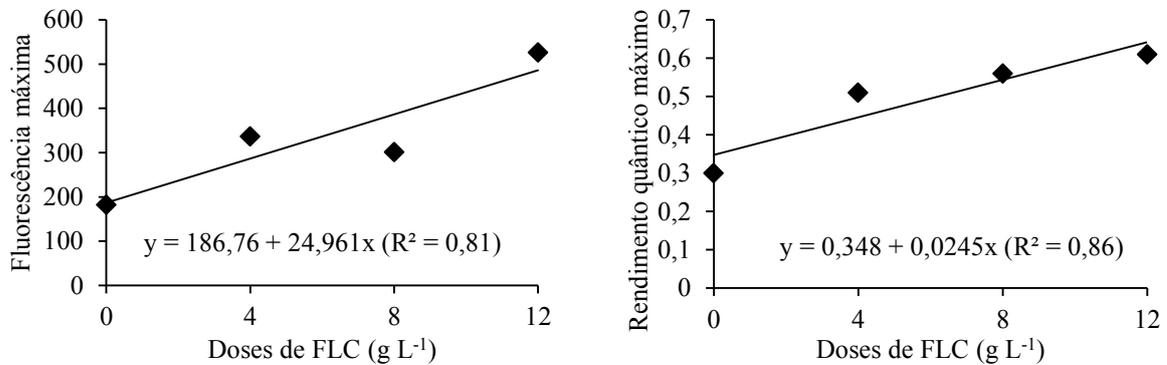
Analisando-se a área foliar, pode-se observar que houve desenvolvimento crescente conforme o aumento das doses de FLC, para todos os volumes de recipiente, sendo as maiores médias encontradas na dose de 12 g L⁻¹ de FLC (FIGURA 4). No saco de 500 cm³ apresentou área foliar de 132,23 cm², valor superior aos encontrados para os tubetes de 180 e 280 cm³ (93,08 e 80,42 cm² muda⁻¹, respectivamente).

Figura 4 – Comportamento da área foliar (AF) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, produzidas em diferentes volumes de recipiente, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.



As variáveis fisiológicas (F_0 , F_m , F_v/F_m e ETR) não apresentaram interação significativa entre as doses de FLC e os volumes de recipiente. Foi constatado efeito significativo para a fluorescência máxima (F_m) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) apenas para o fator doses de FLC (FIGURA 5), sendo as maiores médias observadas na dose de 12 g L⁻¹ de FLC (526,44 e 0,61, respectivamente).

Figura 5 – Comportamento da fluorescência máxima (F_m) e do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

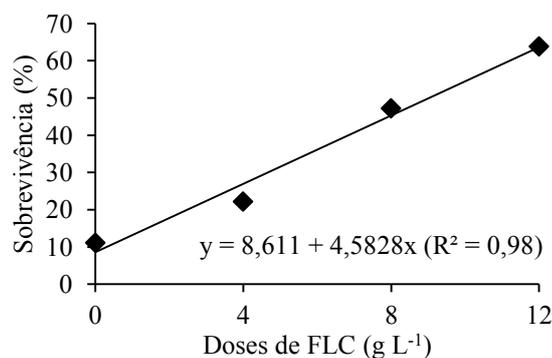


4.4.2 Desempenho das mudas no campo

No campo aos 540 dias após o plantio observou-se, para mudas de *Balfourodendron riedelianum*, que não houve interação significativa entre as doses de FLC e os volumes de recipiente para todas as variáveis morfológicas analisadas. Sendo verificado efeito significativo somente para o fator doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), com comportamento linear crescente.

Ao final do experimento a maior taxa de sobrevivência no campo foi de 64 % para mudas produzidas com 12 g L⁻¹ de FLC, já o tratamento testemunha (0 g L⁻¹) apresentou a menor taxa de sobrevivência (11%) (FIGURA 6).

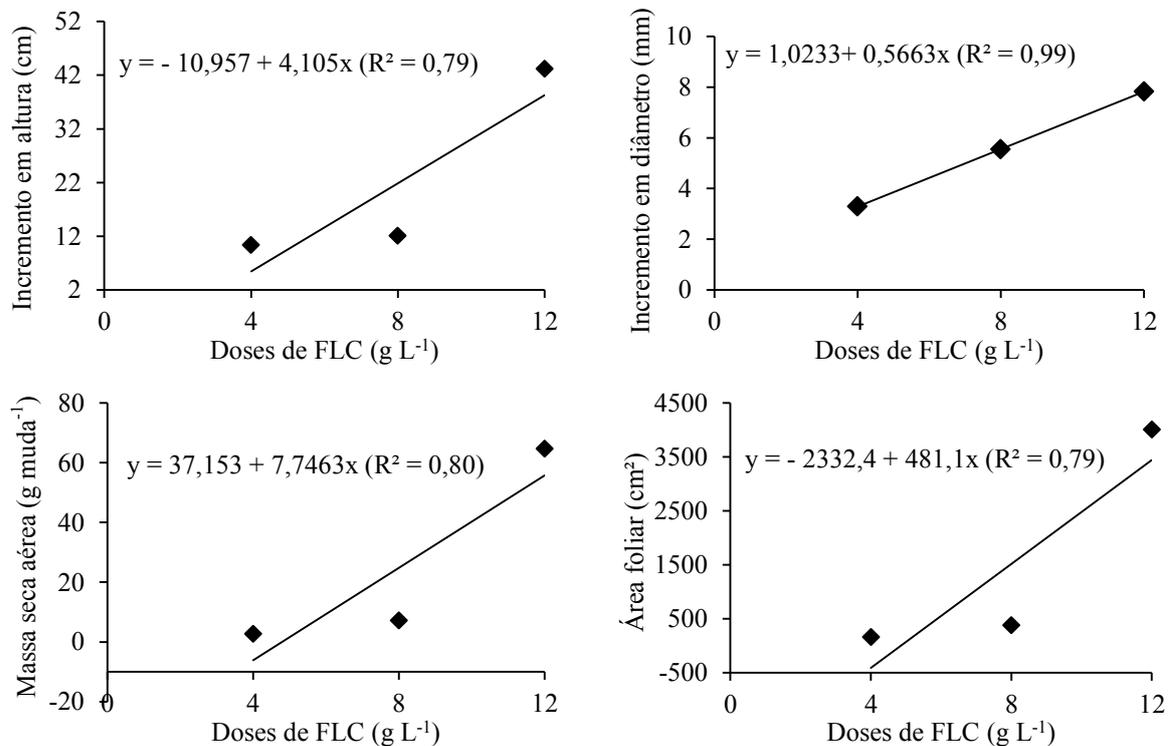
Figura 6 - Comportamento da sobrevivência (%) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).



Devido à elevada mortalidade observada nas mudas do tratamento testemunha (89 %) não foi possível incluí-la na análise estatística dos dados das variáveis morfológicas e fisiológicas realizadas aos 540 dias após plantio.

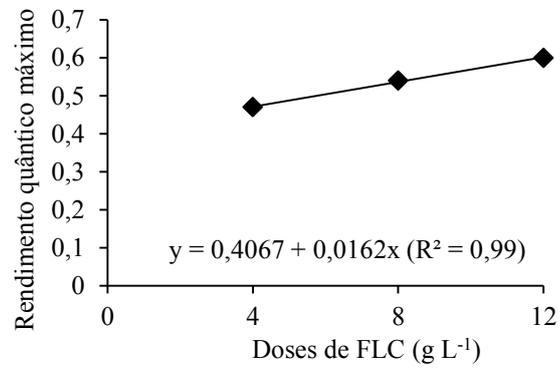
O incremento em altura, incremento em diâmetro do coleto, massa seca aérea e área foliar das mudas de *Balfourodendron riedelianum* apresentaram comportamento linear em resposta ao aumento das doses de FLC (FIGURA 7), sendo as maiores médias observadas para a dose de 12 g L⁻¹ de FLC, mesma tendência verificada na fase de viveiro.

Figura 7 – Comportamento do incremento em altura, incremento em diâmetro do coleto, massa seca aérea e área foliar de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).



A análise das variáveis fisiológicas de mudas de *Balfourodendron riedelianum* no campo, aos 540 dias após o plantio, demonstrou que não houve interação significativa entre as doses de FLC e os volumes de recipiente. Foi verificado efeito significativo somente para o fator doses de FLC, no parâmetro rendimento quântico máximo (F_v/F_m), com tendência linear crescente conforme o aumento das doses de FLC (FIGURA 8).

Figura 8 – Comportamento do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.



4.5 DISCUSSÃO

4.5.1 Produção de mudas em viveiro

O maior crescimento em altura foi verificado na dose de 12 g L⁻¹ de FLC com 12,32 cm, representando um acréscimo de 88,96% em relação à testemunha (0 g L⁻¹). Para o diâmetro do coleto e relação altura/diâmetro do coleto, as maiores médias (2,58 mm e 4,9, respectivamente) também foram observadas na dose 12 g L⁻¹ de FLC, com incremento de 41,76 e 34,99%, respectivamente, em relação ao tratamento testemunha. Isso demonstra uma influência mais acentuada das doses de FLC no crescimento em altura do que no crescimento em diâmetro do coleto e relação altura/diâmetro do coleto.

Klooster et al. (2012), também verificaram que o crescimento em altura tende a aumentar com a adição de fertilizante, ao estudarem o crescimento e fisiologia de espécies de sombra, em resposta ao uso de FLC. Jacobs; Salifu; Seifert (2005) observaram para várias espécies florestais aumento das taxas de crescimento em altura e diâmetro em mudas fertilizadas com FLC. Estes resultados sugerem que o FLC melhora o sucesso no estabelecimento inicial das mudas, conforme Sloan e Jacobs (2012) o uso de FLC aumenta a eficiência operacional e potencial do PSII, o que contribuiu para o aumento da taxa fotossintética líquida propiciando o melhor desenvolvimento das mudas.

Para mudas de *Balfourodendron riedelianum*, apenas os resultados da relação altura/diâmetro do coleto, são considerados adequados, conforme recomendação de Gonçalves et al. (2005), que consideram uma muda de qualidade, aquelas que apresentam altura entre 20 e 35 cm, diâmetro do coleto entre 3 e 10 mm e relação altura/diâmetro entre 2 e 7. Entretanto os valores podem ser considerados adequados, considerando o crescimento lento que a espécie apresenta em viveiro (CARVALHO, 2003).

Houve equilíbrio no acúmulo de MSA e MSR para mudas produzidas com 0 g L⁻¹ de FLC (0,07 e 0,08 g muda⁻¹, respectivamente), sendo essas as menores médias observadas no estudo. No entanto, com o aumento das doses de FLC, a produção de MSA tornou-se superior à MSR, evidenciando-se a maior diferença na dose de 12 g L⁻¹ de FLC (0,38 e 0,14 g, respectivamente). O maior equilíbrio nos valores de MSA e MSR em mudas conduzidas sem a aplicação de FLC (0 g L⁻¹) deve-se ao fato da menor disponibilidade nutricional tornar as raízes um forte dreno de carboidratos, causando, assim, maior limitação ao crescimento da parte aérea do que da radicular (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Resultados semelhantes foram observados por Rossa et al. (2015), que estudando diferentes doses de FLC na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius*, observaram que a menor dose de FLC (0 g L^{-1}) produziu mudas com as menores médias de MSA e MSR, bem como o equilíbrio entre os valores destas variáveis. Além disso, o aumento das doses de FLC possibilitou maior acréscimo de MSA em relação à MSR, sendo as maiores médias encontradas na maior dose utilizada (10 g L^{-1}). Conforme Jacobs e Timmer (2005), a fertilização pode ter um efeito expressivo sobre o desenvolvimento do sistema radicular das mudas, promovendo o crescimento em condições culturais bem equilibrados, ou criando inibições quando as condições são desfavoráveis.

A massa seca total foi positivamente influenciada pelo aumento das doses de FLC, e está relacionada com o desenvolvimento das mudas. Batista et al. (2014), consideram que quanto maior for o valor dessa variável melhor será a qualidade da muda. A MST também é importante fator para o crescimento inicial das plantas no campo, pois essas dependem dos fotossintatos armazenados pela muda (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991).

O comprimento radicular teve acréscimo de 121,03% (192,86 cm) quando utilizado 12 g L^{-1} em comparação com mudas produzidas sem o uso de FLC. A mesma tendência foi observada na MSR com acréscimo de 75% (0,06 g) em comparação à testemunha, porém, esse valor foi menor que o incremento percentual observado para o comprimento radicular. Essa diferença pode ser devido a maior quantidade de raízes finas observadas em mudas produzidas com 12 g L^{-1} de FLC. Conforme Haase (2008), a massa radicular nem sempre expressa a fibrosidade das raízes, pois uma muda com grande quantidade de raízes finas pode possuir a mesma massa que uma muda com raiz pivotante mais desenvolvida.

Abreu et al. (2015), também encontraram maiores valores de área foliar para mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em sacos plásticos em relação a tubete de 180 e 280 cm^3 . Aimi et al. (2016), estudando a produção de mudas da espécie *Cabrlea canjerana*, em diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, evidenciaram que a dose de FLC ($12,5 \text{ g L}^{-1}$) proporcionou a maior média de área foliar ($63,6 \text{ cm}^2$), enquanto a dose testemunha (0 g L^{-1}) obteve os menores valores ($5,8 \text{ cm}^2$).

Respostas de mudas de espécies florestais à adubação têm sido amplamente interpretadas em termos de aumentos de área foliar (ALBAUGH; ALLEN; FOX, 2006). De acordo com Sampson e Allen (1998), o aumento no índice de área foliar está associado ao aumento na interceptação da luz, o que serve como o principal promotor do aumento de produtividade em biomassa. Além disso, a maior área foliar advinda da fertilização também resulta em um aumento da eficiência de crescimento (BLEVINS et al., 2005). Dessa forma,

pode-se inferir que a resposta de crescimento de mudas submetidas a níveis distintos de fertilização é impulsionado por mudanças na área foliar das plantas.

A fluorescência máxima apresenta comportamento linear crescente conforme o aumento das doses de FLC. A menor média foi observada para plantas produzidas sem o uso de FLC (0 g L^{-1}), com valor de 181,94. Os menores valores de F_m , podem ser relacionados com a fotorredução da quinona A (QA), associada a inativação do PSII nas membranas dos tilacóides, comprometendo o fluxo de elétrons entre os fotossistemas (SILVA et al., 2006).

O maior valor do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) (0,61), foi obtido em mudas produzidas com FLC na dose de 12 g L^{-1} , com crescimento linear crescente. Porém os valores encontrados para mudas de *Balfourodendron riedelianum*, não alcançaram os valores recomendados por Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), os quais indicam que devem variar entre 0,75 e 0,85. Contudo, Turchetto et al. (2016), estudando o desempenho de diferentes espécies típicas de sub-bosque em viveiro, consideraram que valores intermediários (acima de 0,55) podem ser considerados bons preditores da sobrevivência e crescimento inicial das plântulas.

Jacobs; Salifu; Seifert (2005) observaram que mudas de várias espécies florestais também exibiram aumento significativo em F_v/F_m com o uso do FLC, o que segundo Maxwell e Johnson (2000) indica que a fertilização no momento do transplante aumenta a eficiência operacional do PSII. Tais aumentos na eficiência operacional e potencial do PSII, provavelmente, contribuem para o aumento da taxa fotossintética líquida (JACOBS; SALIFU; SEIFERT et al., 2005).

Vários estudos têm demonstrado correlação positiva de F_v/F_m com concentrações de nutrientes nas folhas, mais especificamente com concentrações de fósforo (LOUSTOU et al., 1999), ferro (MORALES et al., 2000) e magnésio (LAING et al., 2000). Dessa forma pode-se inferir que mudas com valores adequados de F_v/F_m apresentam melhores condições nutricionais, sendo esse requisito essencial para o bom desempenho e maior aporte de biomassa em plantas cultivadas em viveiro.

Observa-se que para as variáveis morfológicas e fisiológicas a maior dose de FLC (12 g L^{-1}) possibilitou o melhor desempenho das mudas, porém, os resultados também indicam que as mudas apresentam potencial para continuar incrementando. Isso sugere que a espécie possa necessitar de maiores doses de FLC para obter seu máximo crescimento, tornando necessários mais estudos sobre o assunto. O volume do recipiente influenciou apenas a área foliar, onde o recipiente com maior volume de substrato (500 cm^3) possibilitou o maior

crescimento, entretanto, pelos resultados das demais variáveis considera-se o tubete de 180 cm³ como o mais adequado, pela economia de substrato proporcionado.

4.5.2 Desempenho das mudas no campo

As maiores taxas de sobrevivência das mudas produzidas nas maiores doses de FLC esta associada à qualidade das mudas no momento do plantio, pois mudas com melhores características morfológicas e fisiológicas em viveiro apresentaram maior sobrevivência. Gasparin (2012) avaliando o desempenho no campo de mudas de *Parapiptadenia rigida* produzidas em diferentes doses de FLC, também observou que a menor taxa de sobrevivência ocorreu para mudas que não receberam fertilização com FLC (0 g L⁻¹).

Outro fator a ser considerado é o elevado índice pluviométrico nos meses subsequentes ao plantio (FIGURA 1) que pode ter prejudicado o estabelecimento inicial das mudas, tendo em vista que a espécie tem preferência por locais secos ou sujeitos a inundações periódicas rápidas (CARVALHO, 2003). De acordo com Sloan e Jacobs (2012), períodos de estresse após o plantio no campo com duração de uma ou mais estações sazonais, tendem a reduzir as taxas de crescimento e, em casos extremos, pode levar a morte das plantas.

O estresse decorrente de períodos com inundação ou seca prolongados é causado principalmente pela má formação do sistema radicular, o que limita o acesso à água e nutrientes (JACOBS; SALIFU; DAVIS, 2009). Neste estudo pode-se observar que mudas conduzidas a campo com sistema radicular pouco desenvolvido (mudas produzidas sem a adição de FLC no substrato) apresentaram a menor taxa de sobrevivência (11%). Sloan e Jacobs (2012) verificaram em mudas de *Quercus rubra* submetidas a breves períodos de inundação apresentaram efeitos negativos sob a fotossíntese líquida, transpiração e eficiência do PSII, bem como nas concentrações de açúcares solúveis, sendo estas variáveis indicadoras da baixa alocação de carbono nas mudas.

Mudas com baixo padrão de qualidade em viveiro apresentam elevada mortalidade e crescimento reduzido quando conduzidas no campo. Freitas et al. (2005) afirmam que o plantio com mudas pequenas, pode reduzir ou atrasar o crescimento no campo, acarretando em maior custo de manutenção e controle.

Os melhores resultados para todas as variáveis morfológicas no campo foram observados para mudas produzidas em viveiro com dose de 12 g L⁻¹ de FLC, isso pode estar relacionado à maior massa seca radicular e maior comprimento radicular encontrados em viveiro nesse tratamento. Conforme Hasse (2008) e Gomes e Paiva (2011), quanto mais

desenvolvido for o sistema radicular, maior será a sobrevivência e o crescimento das mudas, havendo uma correlação positiva entre a massa seca das raízes e a altura da parte aérea.

A análise da área foliar ao final do experimento no campo demonstrou que não houve diferença entre os volumes de recipiente, distinguindo dos resultados observados em viveiro, onde o saco de 500 cm³ na dose máxima obteve a maior média para essa variável. Conforme José et al. (2005) diferenças observadas no momento do plantio ocasionadas pelo recipiente na fase de produção, tende a desaparecer com o tempo.

Os resultados obtidos para o rendimento quântico máximo no campo foram semelhantes aos encontrados na fase de viveiro, com o maior valor (0,60) observado para a dose de 12 g L⁻¹ de FLC. Embora os valores encontrados não tenham alcançado a recomendação de Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), mudas produzidas na dose máxima FLC apresentaram desempenho satisfatório para os demais parâmetros, podendo dessa forma o valor de 0,60 para a variável rendimento quântico máximo ser indicada como adequado para a espécie.

Pode-se inferir que mudas produzidas em viveiro com a máxima dose de FLC (12 g L⁻¹), apresentaram os melhores resultados para todas as variáveis analisadas no campo, aos 540 dias após plantio, enquanto os diferentes volumes de recipiente não influenciaram as mudas de *Balfourodendron riedelianum*, confirmando os resultados obtidos em viveiro. Além disso, destaca-se que *B. riedelianum* é uma espécie responsiva a altas doses de fertilizante, requerendo estudos que definam sua demanda nutricional, de forma a maximizar sua produção.

4.6 CONCLUSÕES

A adubação de base com uso de fertilizante de liberação controlada (FLC) teve influência positiva na produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum*.

Recomenda-se o uso de tubete de 180 cm³ associado com dose de 12 g L⁻¹ de FLC, para a produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum*.

Resultados obtidos em viveiro para a produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum* são confirmados quando as mesmas são conduzidas no campo.

5 CAPÍTULO II – POTENCIAL SILVICULTURAL DE *Handroanthus heptaphyllus* SOB DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E VOLUME DE RECIPIENTE, EM VIVEIRO E NO CAMPO

5.1 RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar o crescimento de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* no viveiro, produzidas sob diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada e verificar se as respostas obtidas em viveiro se confirmam no campo. Para a produção de mudas no viveiro, foram utilizados três volumes de recipiente (tubetes de polipropileno de 180 e 280 cm³ e sacos plásticos de 500 cm³) e quatro doses de fertilizante de liberação controlada (0, 4, 8 e 12 g L⁻¹ de substrato), sendo as mudas conduzidas por um período de 180 dias. No final do período em viveiro, foi mensurada a altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea, radicular e total, comprimento radicular, área foliar e a fluorescência da clorofila *a* e calculada a relação H/DC e Índice de Qualidade de Dickson. Os mesmos tratamentos foram avaliados no campo, aos 540 dias após o plantio, sendo mensurado o incremento em altura e diâmetro, assim como a sobrevivência, massa seca aérea, área foliar, fluorescência da clorofila *a* e índice de clorofila (*a*, *b* e total). Mudanças de *Handroanthus heptaphyllus* respondem positivamente a adubação de base com uso de fertilizante de liberação controlada (FLC). Indica-se a produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* com tubetes de 180 cm³ e 12 g L⁻¹ de FLC.

Palavras-chave: Ipê-roxo. Mudas florestais. Saco plástico. Tubete. Nutrição mineral.

5.2 INTRODUÇÃO

Handroanthus heptapyllus (Mart.) Mattos, conhecida popularmente como ipê-roxo, é uma espécie pertencente à família Bignoniaceae, com ampla ocorrência na América do Sul (CARVALHO, 2003). A espécie é classificada como secundária tardia, decídua, heliófila, e apresenta ampla dispersão, porém esparsa, comumente encontrada em vegetação secundária (LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003).

O ipê-roxo apresenta madeira de elevada qualidade, com alta durabilidade natural e resistência ao ataque de insetos e ao apodrecimento, podendo ter diversos usos (BACKES; IRGANG, 2002; PAULA; ALVES, 2010; CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015). A espécie é muito utilizada na ornamentação devido sua beleza, em praças, jardins públicos e na arborização, também é indicada para a restauração de mata ciliar em locais sem inundações (CARVALHO, 2003; CORADIN et al., 2011).

A preocupação da sociedade em relação à conservação ambiental faz com que haja um aumento da necessidade por mudas florestais de espécies nativas (SARMENTO; VILLELA, 2010). Porém, segundo Morais et al. (2012), a falta de conhecimento das espécies, crescimento irregular e métodos silviculturais impróprios são impeditivos à utilização adequada das mudas. Isso torna indispensável à definição de estratégias e protocolos para a produção de mudas de qualidade (DUTRA et al., 2016), essenciais para o sucesso inicial de plantios florestais (GASPARIN et al., 2014).

A adubação de base e o volume do recipiente estão entre os fatores que mais influenciam a qualidade das mudas. Segundo Klooster et al. (2012), a adubação de base é fundamental para maximizar o crescimento das plantas, porém, conforme Gonçalves et al. (2005), tanto o excesso quanto a falta de nutrientes pode ser prejudicial ao crescimento.

A quantidade e as características do fertilizante dependem da espécie, da forma de reação e de sua eficiência (GONÇALVES, 1995). A utilização de fertilizante de liberação controlada (FLC) aumenta a eficiência das adubações, pois, segundo Elli et al. (2013), o FLC fornece nutrientes de forma regular e continua para as mudas, além de reduzir as perdas por lixiviação (SHAVIV, 2001).

O volume do recipiente deve permitir o desenvolvimento do sistema radicular, sem restrições durante o período de permanência no viveiro (CARVALHO FILHO et al., 2003), sendo que, o volume ideal varia conforme a espécie utilizada, a velocidade de crescimento, a morfologia do sistema radicular e os aspectos econômicos (LUNA; LANDIS; DUMROESE, 2009). A utilização de recipientes com volumes menores que o recomendado, causa

deformação do sistema radicular, como a dobra e o estrangulamento das raízes (FREITAS et al., 2013), enquanto recipientes com volumes acima do adequado causa um gasto desnecessário com substrato (VIANA et al., 2008).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo caracterizar o crescimento de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* no viveiro, produzidas em diferentes volumes de recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada e verificar se as respostas obtidas em viveiro se confirmam no campo.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

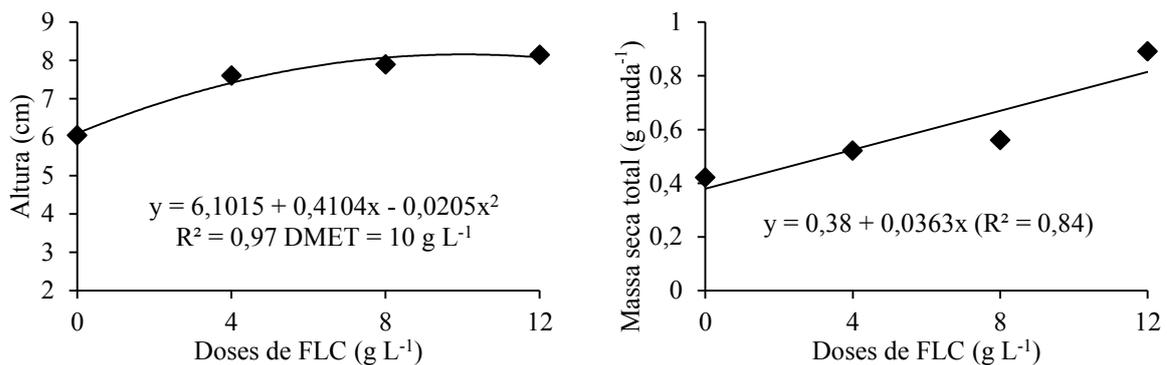
A descrição desse componente consta no item 3 Material e métodos, o qual foi elaborado de forma conjunta, para ambas as espécies dessa dissertação.

5.4 RESULTADOS

5.4.1 Produção de mudas em viveiro

Para as variáveis altura e massa seca total, verificou-se efeito significativo para os fatores doses de FLC e volume de recipiente de forma isolada. A dose de máxima eficiência técnica (DMET) estimada para a variável altura foi de 10 g L⁻¹ de FLC (8,16 cm). A massa seca total apresentou tendência de crescimento linear e crescente com o aumento das doses de FLC, com a maior média observada para a dose de 12 g L⁻¹ (0,89 g), representando um acréscimo de 111,9% em relação à testemunha (0 g L⁻¹).

Figura 9 - Comportamento da altura (H) e massa seca total (MST) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.



Quando analisado o efeito do volume de recipiente, evidenciou-se que mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, apresentaram as maiores médias em altura e massa seca total, quando produzidas em saco de 500 cm³ (8,18 cm) (TABELA 2).

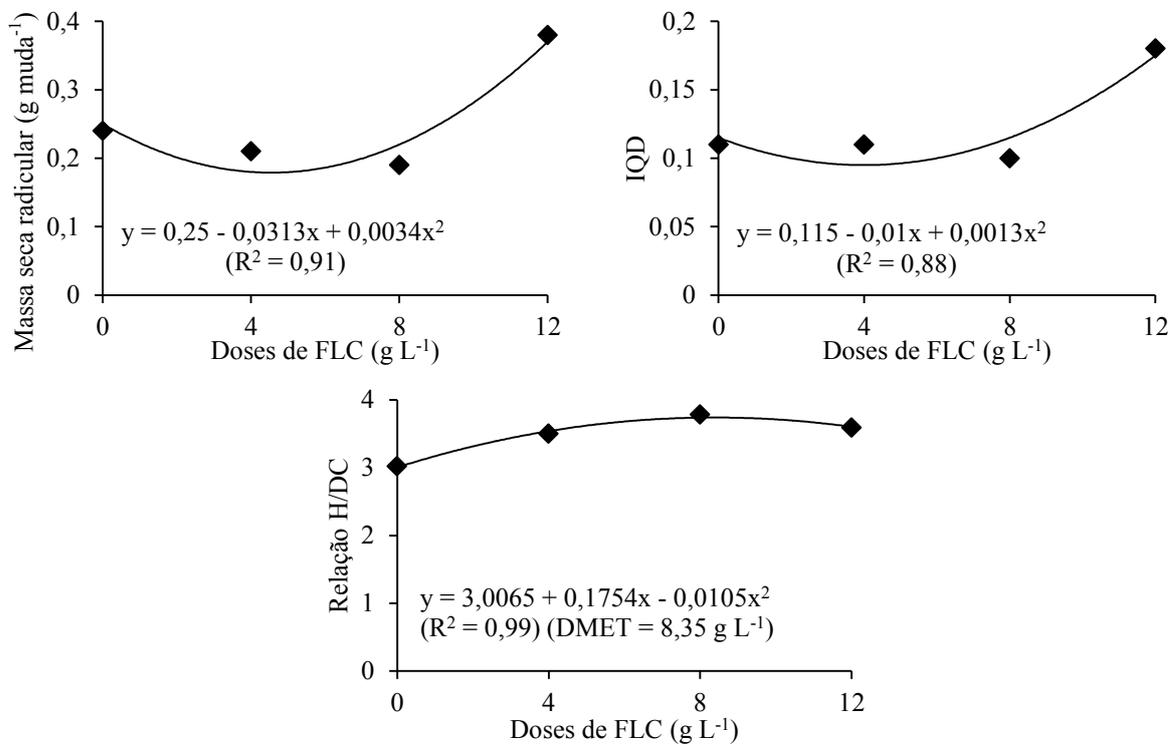
Tabela 2 - Médias das variáveis altura (H) e massa seca total (MST) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função do volume de recipiente, na fase de viveiro.

	Altura (cm)	Massa seca total (g)
Tubete 180 cm ³	6,91 b*	0,48 b
Tubete 280 cm ³	7,16 b	0,54 ab
Saco 500 cm ³	8,17 a	0,78 a

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

A relação H/DC, massa seca radicular e índice de qualidade de Dickson, apresentaram efeito significativo apenas para as doses de FLC. As variáveis massa seca radicular e índice de qualidade de Dickson apresentaram as maiores médias (0,38 g e 0,18, respectivamente) para a dose de 12 g L⁻¹, enquanto para a relação H/DC a DMET foi encontrada na dose 8,4 g L⁻¹ de FLC (3,73) (FIGURA 10).

Figura 10 – Comportamento da massa seca radicular (MSR), índice de qualidade de Dickson (IQD) e relação H/DC de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

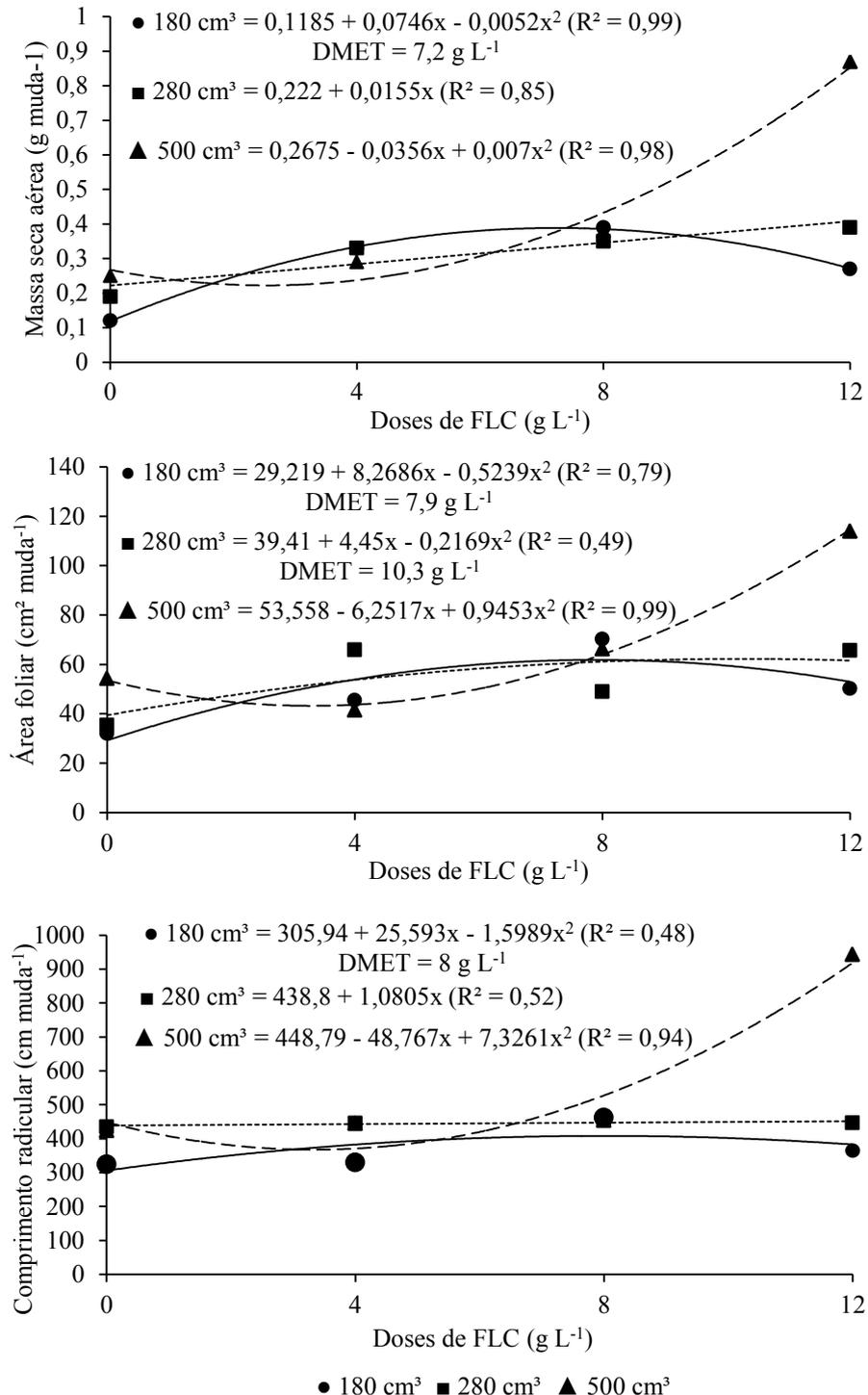


A massa seca aérea (MSA), área foliar (AF) e comprimento radicular (CR), apresentaram interação significativa entre os fatores de estudo. A MSA apresentou comportamento quadrático para o tubete de 180 cm³ e o saco de 500 cm³, e comportamento linear para o tubete de 280 cm³ em relação às doses de FLC (FIGURA 11). A DMET estimada para o tubete de 180 cm³ foi de 7,2 g L⁻¹ (0,39 g), para o tubete de 280 cm³ e para o saco de 500 cm³ os maiores valores (0,39 e 0,87 g, respectivamente) foram obtidos na dose máxima de FLC (12 g L⁻¹).

A área foliar (AF) apresentou tendência quadrática em função dos recipientes e das doses de FLC (FIGURA 11). A DMET para a AF encontrada no tubete de 180 cm³ foi de 7,9

g L⁻¹ e no tubete de 280 cm³ de 10,3 g L⁻¹, enquanto para o saco de 500 cm³ a dose de 12 g L⁻¹ proporcionou a maior média (113,94 cm²).

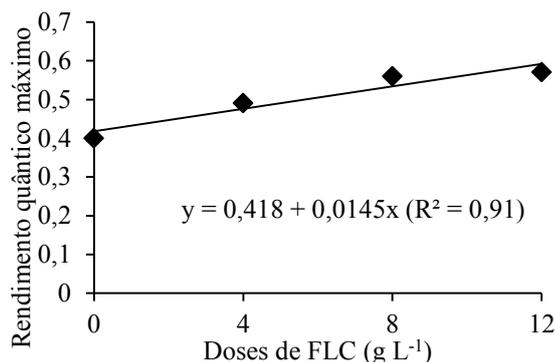
Figura 11 – Comportamento da massa seca aérea (MSA), da área foliar (AF) e do comprimento radicular (CR) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.



O comprimento radicular (CR) apresentou tendência semelhante à encontrada para a MSA, com comportamento quadrático para o tubete de 180 cm³ e para o saco de 500 cm³, e linear para o tubete de 280 cm³ em relação as doses de FLC (FIGURA 11). No tubete de 180 cm³ a DMET foi observada na dose de 8 g L⁻¹, para o tubete de 280 cm³ houve equilíbrio entre as médias, sendo o maior valor encontrado para a dose de 8 g L⁻¹ (453,86 cm), já para o saco de 500 cm³ a dose de 12 g L⁻¹ proporcionou o maior comprimento radicular (943,09 cm), representando um acréscimo de 122,3% em relação à dose testemunha.

O rendimento quântico máximo diferiu em relação às doses de FLC, o qual expressou tendência linear crescente conforme o aumento das doses de FLC, obtendo a maior média (0,57) na dose de 12 g L⁻¹ de FLC (FIGURA 12).

Figura 12 – Rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

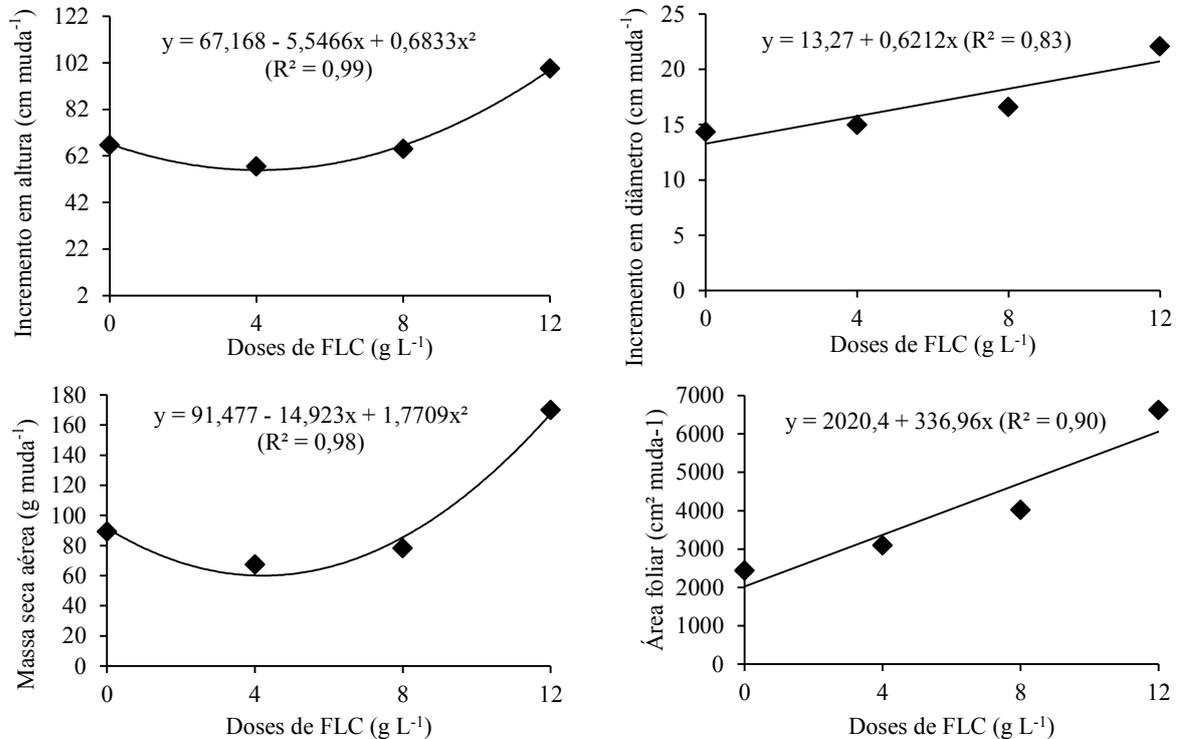


5.4.2 Desempenho das mudas no campo

A taxa de sobrevivência das mudas no campo foi de aproximadamente 60% aos 540 dias após plantio. De acordo com a análise de variância observou-se que não houve interação significativa entre as doses de FLC e os volumes de recipiente para todas as variáveis analisadas. Foi verificado efeito significativo somente para o fator doses de FLC, para as variáveis, incremento em altura, incremento em diâmetro, massa seca aérea, área foliar, rendimento quântico máximo e clorofila *a*.

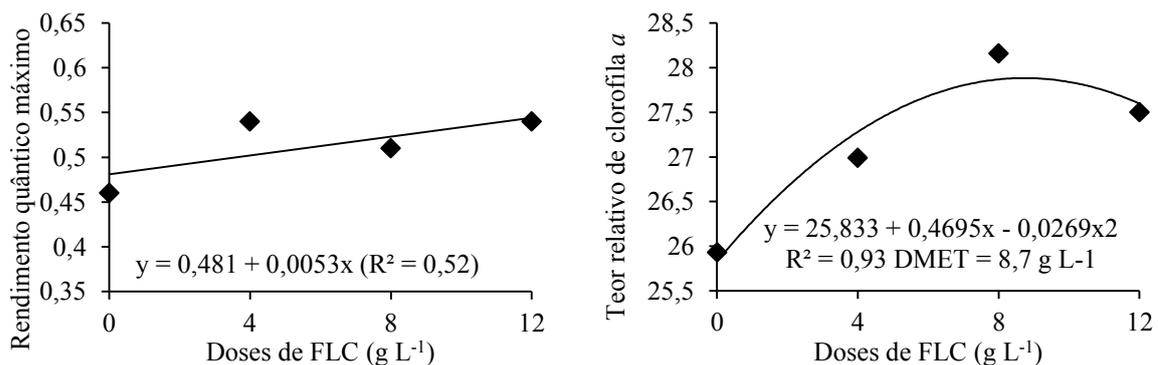
O incremento em altura e a massa seca aérea apresentaram comportamento quadrático com o aumento das doses de FLC, e o incremento em diâmetro e a área foliar expressaram tendência linear em resposta ao acréscimo das doses. Porém, para todas as variáveis as maiores médias (99,53 cm, 22,08 mm, 169,83 g e 6618,35 cm², respectivamente) foram observadas para a dose de 12 g L⁻¹ de FLC (FIGURA 13).

Figura 13 – Comportamento do incremento em altura, incremento em diâmetro do coleto, massa seca aérea e área foliar de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).



O rendimento quântico máximo apresentou tendência linear crescente, conforme o aumento da dose de FLC, sendo a maior média (0,54) verificada na dose de 12 g L⁻¹ de FLC (FIGURA 14). Para o teor relativo de clorofila *a*, verificou-se tendência quadrática em função da dose de fertilizante de liberação controlada (FIGURA 14), com o DMET estimada para a dose de 8,7 g L⁻¹ de FLC.

Figura 14 – Comportamento do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e da clorofila *a* de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).



5.5 DISCUSSÃO

5.5.1 Produção de mudas em viveiro

Doses de FLC superiores a dose máxima estimada não influenciaram o crescimento em altura e a relação HDC. Resultados semelhantes foram observados por Gasparin et al. (2015), para mudas de *Parapiptadenia rigida*, os quais verificaram redução de crescimento para as maiores doses utilizadas. Segundo White (2012), tal comportamento provavelmente se deve a toxicidade ou a deficiência induzida de nutrientes. Conforme Larcher (2000) após a necessidade da planta ser atendida, uma fertilização maior não resultará em resposta no crescimento, caracterizando-se como “consumo de luxo”, podendo também ocasionar toxicidade.

Para as variáveis MSR, MST e IQD, os melhores resultados foram encontrados na máxima dose utilizada. De acordo com Tonetto (2014), *Handroanthus heptaphyllus* apresenta alta exigência nutricional, respondendo positivamente a doses elevadas de fertilizante de liberação controlada.

A massa seca radicular é uma das mais importantes características para estimar a sobrevivência e o crescimento no campo (GOMES; PAIVA, 2011). Maiores valores desse parâmetro indicam maior capacidade de crescimento e de formação de raízes novas, possibilitando maior resistência em condições extremas (CARNEIRO, 1995). Conforme Jacobs e Timmer (2005), ambientes culturais bem equilibrados nutricionalmente promovem o desenvolvimento do sistema radicular, já condições desfavoráveis causam inibições.

A MST é reflexo direto da fotossíntese líquida (ENGEL; POGGIANI, 1990), sendo um importante fator para o crescimento inicial das plantas no campo, pois essas dependem dos fotossintatos armazenados pela muda (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991). Batista et al. (2014) consideram que quanto maior for o valor dessa variável melhor será a qualidade da muda.

Mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, produzidas na dose de 12 g L⁻¹ de FLC, obtiveram IQD de 0,18, resultado próximo do recomendado por Birchler et al. (1998), que indicam valores maiores que 0,20, para que a muda apresente qualidade e elevada taxa de crescimento e sobrevivência após o plantio. O IQD é um importante indicador da qualidade das mudas (GOMES; PAIVA, 2011), pois considera a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa (FONSECA et al., 2002).

Os maiores resultados para os parâmetros massa seca aérea, área foliar e comprimento radicular foram encontradas em mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas em saco de 500 cm³ com a adição de 12 g L⁻¹ de FLC. Isso se deve principalmente ao maior volume de substrato, que segundo Serrano et al. (2006) e Freitas et al. (2013), permite melhor desenvolvimento do sistema radicular, possibilitando maior absorção de água e nutrientes e favorecendo diretamente o crescimento da parte aérea.

O volume do recipiente também influenciou no crescimento em altura e massa seca total, havendo restrição no desenvolvimento dessas variáveis nos tubetes de 180 e 280 cm³. Ferraz e Engel (2011), em estudo com mudas de *Hymenaea courbaril*, *Tabebuia chrysotricha* e *Parapiptadenia rigida*, verificaram que mudas produzidas em recipientes de 300 cm³, proporcionaram maior altura e diâmetro do colo, além de maior desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas, quando comparado com recipientes de 50 e 110 cm³. Resultados semelhantes também foram encontrados por Brachtvogel e Malavasi (2010), para a espécie *Peltophorum dubium*, onde o maior volume do recipiente proporcionou maior ganho em massa seca.

Abreu et al. (2015), destaca que mudas tendem a ter crescimento equilibrado entre a parte aérea e radicular, desta forma a restrição radicular também afeta o crescimento da parte aérea, Danner et al. (2007), afirma que em recipientes com menor volume, os nutrientes são esgotados mais rapidamente, reduzindo o desenvolvimento das mudas.

Em termos fisiológicos mudas de *Handroanthus heptaphyllus* apresentaram maiores valores para a variável F_v/F_m quando produzidas na dose de 12 g L⁻¹ de FLC. Vários estudos têm demonstrado correlação positiva de F_v/F_m com concentrações de nutrientes nas folhas (LOUSTOU et al., 1999; MORALES et al., 2000; LAING et al., 2000). Jacobs; Salifu; Seifert. (2005) observaram que mudas de várias espécies florestais exibiram aumento significativo em F_v/F_m com o uso do FLC. Mudas conduzidas sob índices nutricionais adequados, tendem a apresentar aumento na eficiência operacional do PSII (MAXWELL; JOHNSON, 2000), resultando no aumento da taxa fotossintética líquida (JACOBS; SALIFU; SEIFERT, 2005).

A dose de 12 g L⁻¹ representa o dobro da dose recomendada pelo fabricante do FLC utilizado, assim como é superior ao indicado para outras espécies nativas como *Anadenanthera colubrina* (BRONDANI et al. 2008); *Parapiptadenia rigida* (GASPARIN et al. 2015) e *Cabralea canjerana* (AIMI et al. 2016).

5.5.2 Desempenho das mudas no campo

Apesar de elevada, a dose de 12 g L⁻¹, foi confirmada no campo, ao contrário do volume de recipiente que não influenciou o crescimento das mudas após o plantio no campo. Dessa forma fica evidente, que mudas produzidas com as maiores doses de FLC apresentaram melhores características morfológicas e fisiológicas, o que foi refletido na qualidade e resposta da muda no pós-plantio. Por outro lado, conforme Freitas et al. (2005), restrições no viveiro, podem reduzir ou atrasar o crescimento após plantio no campo, elevando os custos de manutenção e controle.

O incremento positivo no campo, das mudas produzidas em viveiro na dose 12 g L⁻¹, pode estar associado ao maior sistema radicular observado, resultando em maior absorção de nutrientes para o crescimento das plantas.

Ao final do experimento no campo não houve diferença entre os volumes de recipiente, o que difere dos resultados observados no viveiro, onde o saco de 500 cm³ proporcionou o maior crescimento. Close et al. (2010) avaliando mudas de *Eucalyptus globulus* quatro anos após plantio, verificaram que o recipiente não afeta o crescimento a longo prazo. Conforme José et al. (2005), diferenças causadas pelo recipiente durante a fase de produção, tendem a desaparecer com o tempo após o plantio no campo.

As respostas positivas do uso de FLC na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* podem ser evidenciadas na análise do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e do teor relativo de clorofila *a*, que também apresentaram os melhores resultados para mudas produzidas nas maiores doses de FLC. As respostas obtidas demonstram que *H. heptaphyllus* é uma espécie responsiva à fertilização. Esses resultados foram semelhantes aos observados em espécies de Bignoniaceae considerando que a concentração de clorofila mostrou correlação positiva com o teor de nitrogênio foliar (KITAJIMA; HOGAN, 2003).

Observou-se que mudas produzidas com 12 g L⁻¹ de FLC obtiveram o melhor desempenho tanto na fase de viveiro como após o plantio no campo, enquanto o volume do recipiente influenciou apenas o desempenho em viveiro. Assim, indica-se o tubete de 180 cm³ como o mais adequado, devido à economia de substrato proporcionado. Isso salienta a necessidade do plantio no campo, a fim de confirmar os resultados obtidos em viveiro e indicar técnicas que realmente influenciarão o crescimento das mudas.

5.6 CONCLUSÕES

Mudas de *Handroanthus heptaphyllus* respondem positivamente a adubação de base com uso de fertilizante de liberação controlada (FLC).

Indica-se a produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* com tubetes de 180 cm³ e 12 g L⁻¹ de FLC.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum* e *Handroanthus heptaphyllus* o uso de tubete de 180 cm³ associado à dose de 12 g L⁻¹ de FLC proporcionou as melhores respostas para os parâmetros morfofisiológicos e de crescimento na fase inicial.

Resultados obtidos em viveiro para a produção de mudas de *Balfourodendron riedelianum* são confirmados quando as mesmas são conduzidas no campo. No entanto, mudas de *Handroanthus heptaphyllus* quando conduzidas a campo mostram-se responsivas apenas para a adubação de base.

Mais estudos devem ser realizados com a utilização de doses de FLC superiores a de 12 g L⁻¹, no intuito de verificar as respostas de crescimento sobre aportes maiores de nutrientes e identificar a dose de máxima eficiência técnica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M. de. et al. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n.1, p. 141–150, jan./mar. 2015.
- AIMI, S. C. et al. Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas en vivero. **Bosque**, v.37, n.2, p. 401-407. 2016
- ALBAUGH, T. J.; ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Individual tree crown and stand development in *Pinus taeda* under different fertilization and irrigation regimes. **Forest Ecology Management**, v. 234, n.1, p. 10–23, out. 2006.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, CT de T. Fósforo. **Nutrição mineral de plantas. Viçosa: SBCS**, p. 253-280, 2006.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul: Guia de identificação & interesse Ecológico**. As principais espécies nativas sul-brasileiras. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2002.
- BARBIZAN, E.L et al. Produção de mudas de cafeeiro em tubetes associada a diferentes formas de aplicação de fertilizantes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Edição Especial, p. 1471-1480, dez. 2002.
- BATISTA, R. O. et al. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 127-135, jan./mar. 2014.
- BELLOTE, A. F. J; FERREIRA, C. A. SILVA, H. D. da. Nutrição, adubação e calagem para *Eucalyptus*. In: FERREIRA, C. A. SILVA, H. D. da. **Formação de povoamentos florestais**. Colombo: Embrapa, 2008.
- BERNSTEIN, N.; KAFKAFI, U. Root growth under salinity stress. In: WAISEL Y., ESHEL A. and KAFKAFI U. (eds). **Plant Roots: The Hidden Half**. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, p. 787–805, 2002.
- BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v.7, n. 1/2, p. 109-121, 1998.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, New York, v.170, n. 4, p.489–504, 1987.
- BLEVINS, D. P. et al. The effects of nutrition and density on growth, foliage biomass, and growth efficiency of high-density fire-origin lodgepole pine in central British Columbia. **Canadian Journal of Forest Researc**. v. 35, n. 12, p. 2851–2859, 2005.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, 3, p. 497-514. 1989.

BRACHTVOGEL, E.L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 223-232, mar./abr. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009.

BRONDANI, G. E. et al. Fertilização de liberação controlada no crescimento inicial de angico-branco. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 167-176, abr./jun. 2008.

BUSATO, L. C. et al. Aspectos ecológicos na produção de mudas de sementes e mudas para a restauração. In: MARTINS, S. V. (editor). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: UFV, 2012.

CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de árvores com valor econômico**. São Paulo: Agroicone, 2015.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. v.1, Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003.

CARVALHO FILHO, J. L. S. et al. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n.1, p. 109-118, jan./mar. 2003.

CECONI D. E. et al. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 25-32, jan./mar. 2007.

CLOSE, D. C. et al. Influences of seedling size, container type and mammal browsing on the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. **New forests**, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 105-115, 2010.

CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: MMA, 2011.

CRUZ, F. R. C.; ANDRADE, L. A. de; FEITOSA, R. C. Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 69-80, jan./mar. 2016.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GUERREIRO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n.4, p. 537-546, jul./ago. 2006.

- DANNER, M. A. et al. Formação de mudas de jaboticabeira (*Plinia sp.*) em diferentes substratos e tamanhos de recipientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 179-182, abril. 2007.
- 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. p. 83-124.
- DELARMELINA, W.M. et al. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 184-192, maio/ago. 2013.
- DICKSON, A., LEAF, A.L., HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Mattawa, v. 36, n. 1, p 10-13. 1960.
- DUTRA, A. F. et al. Substrate and irrigation scheme on the growth of *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho) seedlings. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 6, p. 1007-1013, jun. 2016.
- ELLI, E. F. et al. Osmocote® no desenvolvimento e comportamento fisiológico de mudas de pitangueira. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 4, n. 4, p. 377-384, out./dez. 2013.
- ENGEL, V. L.; POGGIANI, FÁBIO. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. **IPEF**, v. 43, n. 44, p. 1-10, jan./dez. 1990.
- FALCO, W. F. et al. In vivo observation of chlorophyll fluorescence quenching induced by gold nanoparticles. **Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry**, Oxford, v.225, n.1, p.65–71, 2011.
- FAO. **State of the World's Forests**. Rome, Food and Agriculture of United Nations, 2011. 164 p.
- FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. VAR. *stilbocarpa* (Hayne) Lee Et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 413-423, maio/jun. 2011.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 26, n. 4, p. 515-523, jul./ago. 2002.
- FREITAS, T. A. S. de et al. Crescimento e ciclo de produção de mudas de *Eucalyptus* em recipientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 419-428, out./dez. 2013.

- FREITAS, T. A. S. de et al. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 853-861, nov./dez. 2005.
- GASPARIN, E. **Armazenamento de sementes e produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan**. 2012. 146 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- GASPARIN, E. et al. Controlled release fertilizer and container volumes in the production of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan seedlings. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.37 n.4, p. 473-481, Oct./Dec. 2015.
- GASPARIN, E. et al. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 553-563, jul./set. 2014.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. Produção de mudas de eucalipto por sementes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p. 14-22, 2008.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 1. ed Viçosa: UFV, 2011. (Série didática).
- GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular de *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas: I distribuição de raízes nas camadas de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 21., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995. p. 876-878.
- 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.
- 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.
- HELDWEIN, A.B., BURIOL, G.A., STRECK, N.A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 44-58, jan. 2009.
- HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de Eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas Documentos, 2000.
- JACOBS, D. F.; TIMMER, V. R. Fertilizer-induced changes in rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. **New Forest**, Dordrecht, v. 30, n. 2, p.147-166, set. 2005.
- JACOBS, D. F., SALIFU, K. F., DAVIS A. S. Drought susceptibility and recovery of transplanted *Quercus rubra* seedlings in relation to root system morphology. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 66, n. 5, p. 1-12, 2009

JACOBS, D. F.; SALIFU, K. F.; SEIFERT, J. R. Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled release fertilization at outplanting. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 214, n. 1, p. 28–39, 2005.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, jan./mar. 2009.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, abr./jun. 2005.

KITAJIMA, K.; HOGAN, K. P. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 26, n. 6, p. 857-865, 2003.

KLOOSTER, W. S. et al. Growth and physiology of deciduous shade trees in response to controlled-release fertilizer. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 135, p. 71-79, fev. 2012. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.12.009

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. New York: Academic Press, 1991. 657p.

KRAUSE, G. H.; WEISS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.42, n. 1 p.313-349, 1991.

KUBOTA, T. Y. K. et al. Variabilidade genética para caracteres silviculturais em progênes de polinização aberta de *Balfourodendron riedelianum* (Engler) .**Scientia Forestalis**, Piracicaba , v. 43, n. 106, p. 407-415, jun. 2015.

LANDIS, T. D. Containers: types and functions. In: LANDIS, T. D. et al. **The container tree nursery manual**, v. 2. Agriculture Handbook. 674. Washington: Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 1-40.

LAING, W. et al. Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. **New Phytologist**, Lancaster, v. 146, n. 1, p. 47–57, 2000.

LANG, A. et al. Aplicação de fertilizante de liberação lenta no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 271-276, abr./jun. 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LIMA, P. R. et al. Avaliação morfofisiológica em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos durante a rustificação. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 316-326, jul./set. 2014.

LIMA, J. D. et al. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 1, p. 5-10, jan./mar. 2008.

LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2004.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** v.1, 4. ed, Nova Odesa: Instituto Plantarum, 2002.

LOUSTOU, D. et al. Photosynthetic responses to phosphorus nutrition in two-year-old seedlings of maritime pine seedlings. **Tree Physiology**, Oxford, v. 19, n. 11, p. 707–715, 1999.

LUNA, T.; LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K. Containers. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). **Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries.** Nursery management, v.1. Agriculture Handbook 730. Washington: Department of Agriculture, Forest Service, 2009. p. 95-111.

MAXWELL, K. JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 659–668, 2000.

MENDONÇA, V. et al. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro ‘amarelo’. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 344-348, mar./abr. 2007.

MESQUITA, C. A. B. et al. **Mosaicos florestais sustentáveis: monitoramento integrado da biodiversidade e diretrizes para restauração florestal.** Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2011.

MORAIS, W. W. C. et al. Influência da irrigação no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 23-28, jan./mar. 2012.

MORALES, F. et al. Energy dissipation in the leaves of Fe-deficient pear trees grown in the field. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 23, n. 11-12, p. 1709-1716, 2000.

NETTO, A. T. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, n. 2, p.199-209, 2005.

NOVAES, A. B. et al. Qualidade de mudas de nim indiano produzidas em diferentes recipientes e seu desempenho no campo. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 101-110, jan./mar. 2014.

OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B. **Comparação de custos de sistemas de adubação para mudas de citros: fontes liberação lenta x solúveis.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. (Comunicado Técnico, 74).

PANDOLFI, P. **Avaliação de Parâmetros de Rusticidade de Mudanças Clonais de Eucalipto e Suas Influências no Crescimento Inicial do Povoamento**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado. Em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. H. **922 Madeiras nativas do Brasil: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. 2. ed. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2010.

PENSAF. **Plano nacional de silvicultura com espécies nativas e sistemas agroflorestais**. Brasília: MMA/MAPA/MDA/MCT, 2006. 38 p.

RIO GRANDE DO SUL, **Decreto Estadual nº 47.137, de 30 de março de 2010**. Institui o Programa Estadual de Recuperação de Áreas de Preservação Permanente – APP's e Reserva Legal, denominado Ambiente Legal, e dá outras providências.

REITZ, R. et al. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e abastecimento, 1983.

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: Department of Agriculture Forest Service, 2010. p. 17-81.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**, v.1. 1. ed. São Paulo: LERF/ESALQ :Instituto BioAtlântica, 2009.

ROSSA, Ü. B. et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 85-96, jan./mar. 2015.

ROSSA, Ü. B. et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 93-104, jan./mar. 2013.

SAMPSON, D. A.; ALLEN, H. L. Light attenuation in a 14-year-old loblolly pine stand as influenced by fertilization and irrigation. **Trees**, Berlin, v. 13, n. 2, p. 80–87, 1998.

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**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 1-15, jul. 2000.

SARMENTO, M. B.; VILLELA, F. A. Sementes de espécies florestais nativas do Sul do Brasil. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 20, n. 1/2, p. 39-44, 2010.

SERRANO, L. A. L., et al. Utilização de substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira para produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 487-491, dez. 2006

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2001.

- SILVA, M. M. P. da et al. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 67-74, jan./fev. 2006.
- SILVA, L. L. da.; PAOLI, A. A. S. Morfologia e anatomia da semente de *Balfourodendron riedelianum* (Engler) Engler – Rutaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 1, p. 16-20, abr. 2006.
- SGARBI, F. et al. 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
- SLOAN, J. L.; JACOBS, D. F. Leaf physiology and sugar concentrations of transplanted *Quercus rubra* seedlings in relation to nutrient and water availability. **New Forest**, v. 43, n. 5-6, p. 779–790, set. 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- TONETTO, T. da S. et al. Storage and germination of seeds of *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 40-46, jan./mar. 2015.
- TONETTO, T. da S. **Tecnologia de sementes e desenvolvimento de mudas de *handroanthus heptaphyllus* (mart.) mattos sob diferentes formas de manejo no viveiro e no campo**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- TURCHETTO, F. et al. Can transplantation of forest seedlings be a strategy to enrich seedling production in plant nurseries? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 375, p 96-104. Set. 2016.
- VALLONE, H.S. et al. Recipientes e substratos na produção de mudas e no desenvolvimento inicial de cafeeiros após o plantio. **Ciência agrotecnica**, Lavras, v. 33, n. 5 p.1327–1335, set./out. 2009.
- VIANA, J. S. et al. Crescimento de mudas de *Bauhinia forficata* Link. em diferentes tamanhos de recipientes. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 663-671, out./dez. 2008.
- VEIGA, T. A. M. et al. Furoquinoline alkaloids isolated from *Balfourodendron riedelianum* as photosynthetic inhibitors in spinach chloroplasts. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Oxford, v. 120, p. 36-43, mar. 2013.
- WHITE, P. J. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. In: MARSCHNER, P. (Ed). **Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edn**. Academic, London, p. 7-47, 2012.

8 APÊNDICES

Apêndice 1 - Resultado da Análise de Variância para a altura, diâmetro, relação H/DC, massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

Variável resposta	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr > Fc
Altura	Recipiente	2	6,1451	3,0725	0,979	0,3903 ^{ns}
	Dose	3	170,7652	56,9217	18,129	0,0000*
	Recipiente x dose	6	9,4035	1,5773	0,499	0,8027 ^{ns}
	Erro	24	75,3555	3,1398		
	Total	35	261,6694			
Diâmetro	Recipiente	2	0,4314	0,2157	2,533	0,1005 ^{ns}
	Dose	3	2,9701	0,9900	11,624	0,0001*
	Recipiente x dose	6	1,2282	0,2047	2,403	0,0582 ^{ns}
	Erro	24	2,0441	0,0852		
	Total	35	6,6739			
Relação H/DC	Recipiente	2	1,4936	0,7468	1,770	0,1919 ^{ns}
	Dose	3	11,1899	3,7299	8,840	0,0004*
	Recipiente x dose	6	2,2199	0,3699	0,887	0,5264 ^{ns}
	Erro	24	10,1264	0,4219		
	Total	35	25,0298			
MSA	Recipiente	2	0,4229	0,2115	0,907	0,4170 ^{ns}
	Dose	3	16,7526	5,5842	23,957	0,0000*
	Recipiente x dose	6	1,7402	0,2900	1,244	0,3194 ^{ns}
	Erro	24	5,5942	0,2331		
	Total	35	24,5099			
MSR	Recipiente	2	0,0021	0,0010	0,674	0,5191 ^{ns}
	Dose	3	0,0280	0,0093	6,101	0,0031*
	Recipiente x dose	6	0,0131	0,0022	1,420	0,2478 ^{ns}
	Erro	24	0,0368	0,0015		
	Total	35	0,0800			
MST	Recipiente	2	0,3097	0,1548	0,918	0,4128 ^{ns}
	Dose	3	9,2126	3,0709	18,207	0,0000*
	Recipiente x dose	6	1,7665	0,2944	1,746	0,1535 ^{ns}
	Erro	24	4,0497	0,1687		
	Total	35	15,3368			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 2 - Resultado da Análise de Variância para o índice de qualidade de Dickson (IQD), área foliar (AF), comprimento radicular (CR), fluorescência máxima (F_m) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 240 dias após repicagem, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

Variável resposta	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr > Fc
IQD	Recipiente	2	0,4160	0,2080	1,584	0,2258 ^{ns}
	Dose	3	3,3612	1,1204	8,532	0,0005*
	Recipiente x dose	6	1,5393	0,2565	1,954	0,1128 ^{ns}
	Erro	24	3,1517	0,1313		
	Total	35	8,4684			
AF	Recipiente	2	3,9137	1,9568	4,138	0,0286*
	Dose	3	71,8477	23,9492	50,642	0,0000*
	Recipiente x dose	6	10,2859	1,7143	3,625	0,0106*
	Erro	24	11,3499	0,4729		
	Total	35	97,3971			
CR	Recipiente	2	4016,4167	2008,2083	0,206	0,8153 ^{ns}
	Dose	3	228559,61	76186,536	7,811	0,0008*
	Recipiente x dose	6	121819,17	20303,194	2,082	0,0933 ^{ns}
	Erro	24	234075,58	9753,1493		
	Total	35	588470,77			
F_m	Recipiente	2	0,0397	0,0198	0,094	0,9108 ^{ns}
	Dose	3	5,4095	1,8032	8,528	0,0005*
	Recipiente x dose	6	1,8699	0,3117	1,474	0,2292 ^{ns}
	Erro	24	5,0747	0,2114		
	Total	35	12,3939			
F_v/F_m	Recipiente	2	0,0972	0,0486	1,477	0,2483 ^{ns}
	Dose	3	0,5036	0,1678	5,101	0,0071*
	Recipiente x dose	6	0,1633	0,0272	0,827	0,5605 ^{ns}
	Erro	24	0,7898	0,0329		
	Total	35	1,5540			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 3 - Resultado da Análise de Variância para a sobrevivência, Incremento em altura, incremento em diâmetro e massa seca aérea (MSA) de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).

Variável resposta	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr > Fc
Sobrevivência	Bloco	2	2326,3889	1163,1944	1,599	0,2248 ^{ns}
	Recipiente	2	34,7222	17,3611	0,024	0,9764 ^{ns}
	Dose	3	15416,667	5138,8889	7,063	0,0017*
	Recipiente x dose	6	1770,8333	295,1389	0,406	0,8673 ^{ns}
	Erro	22	16006,944	727,5883		
	Total	35	35555,556			
Incremento em altura	Bloco	2	10,7036	5,3518	5,739	0,0132*
	Recipiente	2	0,7444	0,3722	0,399	0,6774 ^{ns}
	Dose	2	7,2766	3,6383	3,901	0,0417*
	Recipiente x dose	4	0,2626	0,0656	0,070	0,9901 ^{ns}
	Erro	16	14,9209	0,9325		
	Total	26	33,9083			
Incremento em diâmetro	Bloco	2	3,3189	1,6594	4,857	0,0225*
	Recipiente	2	0,4714	0,2357	0,690	0,5159 ^{ns}
	Dose	2	3,3687	1,6843	4,930	0,0215*
	Recipiente x dose	4	0,4903	0,1225	0,359	0,8342 ^{ns}
	Erro	16	5,4661	0,3416		
	Total	26	13,1156			
MSA	Bloco	2	5,6466	2,8233	7,396	0,0053*
	Recipiente	2	0,2796	0,1398	0,366	0,989 ^{ns}
	Dose	2	5,3974	2,6987	7,069	0,0063*
	Recipiente x dose	4	1,7721	0,4430	1,161	0,3647 ^{ns}
	Erro	16	6,1079	0,3817		
	Total	26	19,2039			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 4 - Resultado da Análise de Variância para a área foliar (AF) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m), de mudas de *Balfourodendron riedelianum*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).

AF	Bloco	2	28,9808	14,4904	6,300	0,0096*
	Recipiente	2	0,9386	0,4693	0,204	0,8175 ^{ns}
	Dose	2	21,3701	10,6850	4,646	0,0257*
	Recipiente x dose	4	3,8562	0,9640	0,419	0,7925 ^{ns}
	Erro	16	36,7994	2,2999		
	Total	26	91,9452			
F_v/F_m	Bloco	2	0,0027	0,0013	0,126	0,8827 ^{ns}
	Recipiente	2	0,0533	0,0266	2,487	0,1147 ^{ns}
	Dose	2	0,0804	0,0402	3,752	0,0461*
	Recipiente x dose	4	0,0663	0,0165	1,547	0,2363 ^{ns}
	Erro	16	0,1715	0,0107		
	Total	26	0,3744			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 5 - Resultado da Análise de Variância para a altura, relação H/DC, massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

Variável resposta	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr > Fc
Altura	Recipiente	2	10,8224	5,4112	6,199	0,0068*
	Dose	3	24,1623	8,0541	9,227	0,0003*
	Recipiente x dose	6	12,0815	2,0135	2,307	0,0670 ^{ns}
	Erro	24	20,9484	0,8728		
	Total	35	68,0148			
Relação H/DC	Recipiente	2	0,2100	0,1050	0,491	0,6180 ^{ns}
	Dose	3	2,8303	0,9434	4,412	0,0132*
	Recipiente x dose	6	0,4526	0,0754	0,353	0,9013 ^{ns}
	Erro	24	5,1323	0,2138		
	Total	35	8,6252			
MSA	Recipiente	2	1,1667	0,5833	6,522	0,0055*
	Dose	3	4,3282	1,4427	16,130	0,0000*
	Recipiente x dose	6	1,7280	0,2880	3,220	0,0183*
	Erro	24	2,1467	0,0894		
	Total	35	9,3697			
MSR	Recipiente	2	0,9608	0,4804	2,507	0,1027 ^{ns}
	Dose	3	1,8364	0,6121	3,194	0,0416*
	Recipiente x dose	6	2,6023	0,4337	2,263	0,0715 ^{ns}
	Erro	24	4,5997	0,1916		
	Total	35	9,9993			
MST	Recipiente	2	1,8517	0,9258	3,562	0,0442*
	Dose	3	3,4804	1,1601	4,464	0,0125*
	Recipiente x dose	6	3,0577	0,5096	1,961	0,1116 ^{ns}
	Erro	24	6,2377	0,2599		
	Total	35	14,6276			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 6 - Resultado da Análise de Variância para o índice de qualidade de Dickson (IQD), área foliar (AF), comprimento radicular (CR) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 180 dias após semeio, em função de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC), na fase de viveiro.

Variável resposta	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr > Fc
IQD	Recipiente	2	0,7629	0,3815	2,561	0,0981 ^{ns}
	Dose	3	1,3962	0,4654	3,125	0,0445*
	Recipiente x dose	6	2,2276	0,3713	2,493	0,0511 ^{ns}
	Erro	24	3,5742	0,1489		
	Total	35	7,9610			
AF	Recipiente	2	2501,9221	1250,9610	4,500	0,0219*
	Dose	3	6414,9694	2138,3231	7,692	0,0009*
	Recipiente x dose	6	6788,7524	1131,4587	4,070	0,0059*
	Erro	24	6671,8282	277,9928		
	Total	35	22377,472			
CR	Recipiente	2	235840,72	117920,36	9,111	0,0011*
	Dose	3	205163,82	68387,941	5,284	0,0061*
	Recipiente x dose	6	400915,55	66819,258	5,163	0,0016*
	Erro	24	310618,30	12942,429		
	Total	35	1152538,4			
F_v/F_m	Recipiente	2	0,0518	0,0259	1,701	0,2039 ^{ns}
	Dose	3	0,1743	0,0581	3,814	0,0229*
	Recipiente x dose	6	0,0812	0,0135	0,889	0,5181 ^{ns}
	Erro	24	0,3655	0,0152		
	Total	35	0,6729			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 7 - Resultado da Análise de Variância para Incremento em altura, incremento em diâmetro, massa seca aérea (MSA) e área foliar (AF), de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).

Variável resposta	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr > Fc
Incremento em altura	Bloco	2	335,1105	167,5552	0,193	0,8258 ^{ns}
	Recipiente	2	815,0282	407,5141	0,470	0,6314 ^{ns}
	Dose	3	9418,1428	3139,381	3,618	0,0291*
	Recipiente x dose	6	8920,1212	1486,687	1,713	0,1650 ^{ns}
	Erro	22	19090,327	867,7421		
	Total	35	38578,729			
Incremento em diâmetro	Bloco	2	29,2626	14,6313	0,424	0,6599 ^{ns}
	Recipiente	2	57,8639	28,9319	0,838	0,4460 ^{ns}
	Dose	3	333,7673	111,2558	3,222	0,0423*
	Recipiente x dose	6	93,3169	15,5528	0,450	0,8369 ^{ns}
	Erro	22	759,7296	34,5331		
	Total	35	1273,9405			
MSA	Bloco	2	1766,8653	883,4326	0,193	0,8259 ^{ns}
	Recipiente	2	7551,0168	3775,5084	0,825	0,4515 ^{ns}
	Dose	3	58784,586	19594,862	4,280	0,0159*
	Recipiente x dose	6	25001,158	4166,8597	0,910	0,5058 ^{ns}
	Erro	22	100714,88	4577,9493		
	Total	35	193818,51			
AF	Bloco	2	4306527,3	2153263,6	0,265	0,7693 ^{ns}
	Recipiente	2	4937735,8	2468867,9	0,304	0,7407 ^{ns}
	Dose	3	91079638	30359879	3,742	0,0259*
	Recipiente x dose	6	44230466	7371744,4	0,909	0,5068 ^{ns}
	Erro	22	178486922	8113041,9		
	Total	35				

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 8 - Resultado da Análise de Variância para o rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e teor relativo de clorofila *a*, de mudas de *Handroanthus heptaphyllus*, avaliadas aos 540 dias após plantio no campo, em função das doses de fertilizante de liberação controlada (FLC).

F_v/F_m	Bloco	2	0,0103	0,0052	1,159	0,3324 ^{ns}
	Recipiente	2	0,0243	0,0121	2,725	0,0876 ^{ns}
	Dose	3	0,0426	0,0142	3,189	0,0437*
	Recipiente x dose	6	0,0672	0,0112	2,515	0,0525 ^{ns}
	Erro	22	0,0979	0,0044		
	Total	35	0,2423			
Clorofila <i>a</i>	Bloco	2	26,3638	13,1819	5,418	0,0122*
	Recipiente	2	10,1954	5,0977	2,095	0,1469 ^{ns}
	Dose	3	23,9137	7,9712	3,276	0,0402*
	Recipiente x dose	6	15,5391	2,5898	1,064	0,4130 ^{ns}
	Erro	22	53,5287	2,4331		
	Total	35	129,5407			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística F; ns: não significativo em 5% de probabilidade de erro; *: significativo em 5% de probabilidade de erro.