UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ELAYNE KATIA DOS SANTOS GALVÃO

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
2018

ELAYNE KATIA DOS SANTOS GALVÃO

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane
Coorientadores: João Vitor Toledo e Talita Miranda Teixeira Xavier

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)
Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-000871/O

Galvão, Elayne Katia dos Santos, 1992-
G182c Condições climáticas e comportamento ecofisiológico de espécies florestais / Elayne Katia dos Santos Galvão. – 2018.
76 f. : il.

Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane.
Coorientadores: João Vitor Toledo ; Talita Miranda Teixeira Xavier.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Climatologia agrícola. 2. Eucalipto. 3. Pau-brasil. 4. Crescimento (Plantas). I. Pezzopane, José Eduardo Macedo. II. Toledo, João Vitor. III. Xavier, Talita Miranda Teixeira. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Elayne Kátia dos Santos Galvão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2018.

Valéria H. Klippel

Drª. Valéria Hollunder Klippel (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo

Oliveira Gonçalves

Profª. Drª. Elzimar de Oliveira Gonçalves (Examinadora interna)
Universidade Federal do Espírito Santo

João Vitor Toledo

Dr. João Vitor Toledo (Coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

À Mainha, Glayde Suely, pelo amor e apoio incondicional a todo tempo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois a minha fé foi a minha força e sustento.

À minha mãe por fazer dos meus sonhos os seus sonhos, por estar ao meu lado orientando e educando a todo tempo, a ela o meu incondicional amor e infinita gratidão.

Ao meu pai Antônio, pelo apoio e incentivo.

Aos meus irmãos, em nome de Kleydson, pela torcida e amizade.

Aos ausentes. De maneira especial, Tio Allyson, Tia Ester, Vovó Detinha, Vovó Bezinha e Vovô Toninho, a eles a minha imensa e eterna saudade.

À Jorge Boaventura, pelo apoio e companheirismo.

Aos meus parentes e amigos pelo apoio e incentivo.

Aos meus docentes pelos conhecimentos compartilhados ao longo do mestrado, em especial ao meu orientador José Eduardo Macedo Pezzopane por ter contribuído na minha formação intelectual, profissional e pessoal.

À Mariana Duarte, pela recepção, amizade e inúmeras contribuições à minha pesquisa. Você foi um anjo, muito obrigada!

À João Vitor Toledo, pela coorientação, amizade e parceria.

Aos professores Manoel Teixeira (UFRB), Paulo Cesar Cavatte (UFES), Geraldo Cruzzol (UFES) e a minha coorientadora Talita Miranda Teixeira Xavier. Sempre solícitos, contribuíram de forma grandiosa para o êxito desta pesquisa.

À banca examinadora, pela atenção e contribuição.

Aos companheiros do laboratório de meteorologia e ecofisiologia florestal da UFES, Mariana, João, Luciana, Talita, Sandy, Carol, Genilda, Roberto e Vanessa, pelos conhecimentos compartilhados e experiências vividas.

À Giselle Lemos e Francille Loyal pelos inúmeros momentos felizes compartilhados na república damas de copos, obrigada pela convivência diária.

As amigas Fabrina, Isa, Any, Fran, Luciana, Mariana Aragão, Elbya, Camila e Marcia pelas aventuras vividas, sou imensamente feliz por nossas vidas terem se cruzado, vocês tornaram a jornada mais leve.

Aos amigos, Sandro, Emanuel, Jerferson, Geovane, Evandro, Carlos, Jeangilis e aos demais colegas e funcionários do departamento de ciências florestais da UFES, pelo apoio e por todas as experiências compartilhas.

Às pessoas incríveis que tive o prazer de conhecer em Jerônimo Monteiro, especialmente a Ricardo, Kleyde e Renata obrigada por todo carinho e cuidado.

À empresa Vale pela doação das mudas de Pau-Brasil e ao Viveiro do Rubens pela doação das mudas de eucalipto.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, por fornecerem subsídios para a realização da pesquisa de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Á todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho os meus sinceros agradecimentos.

“Não tem certo nem errado
Todo mundo tem razão
E que o ponto de vista
É que é o ponto da questão”

Raul Seixas

RESUMO

GALVÃO, Elayne Kátia dos Santos 2017. **Condições climáticas e comportamento ecofisiológico de espécies florestais** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. D.Sc José Eduardo Macedo Pezzopane. Coorientadores: João Vitor Toledo e Talita Miranda Teixeira Xavier.

Condições climáticas são fatores preponderantes no comportamento fisiológico e no crescimento de espécies florestais, em especial, variações de temperatura e demanda atmosférica. Neste sentido, o presente estudo objetivou investigar a influência dos efeitos conjugados da variação do déficit de pressão de vapor (DPV) e da temperatura nos aspectos ecofisiológicos de espécies de eucalipto e morfotipos de pau brasil (*Paubrasilia echinata*) buscando compreender os mecanismos de aclimatação fisiológica e de crescimento. O estudo foi desenvolvido mediante a montagem e condução de dois experimentos, segmentados na dissertação em dois capítulos. O primeiro investigou três espécies de eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis* e *E. cloeziana*) e o segundo dois morfotipos de pau-brasil (pequeno e médio). Ambos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação climatizadas com controle de temperatura e umidade relativa do ar, em delineamento inteiramente casualisado. Sumariamente foram aplicados quatro tratamentos, categorizados como: Ambiente 1 (baixa demanda atmosférica e baixa temperatura; (DPV↓ + T↓), Ambiente 2 (DPV↓ + T↑), Ambiente 3 (DPV↑ + T↑) e Ambiente 4 (DPV↑ + T↓). O primeiro experimento teve duração de 62 dias e o segundo de 125 dias. Ao final de cada experimento foram avaliados paramentos de crescimento (altura, diâmetro, área foliar e massa seca) e de trocas gasosas das plantas. As plantas de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloeziana* apresentaram alta eficiência no uso da água e controle estomático quando submetidas ao ambiente de alta demanda atmosférica associada a alta temperatura. Assim, neste ambiente as plantas das espécies apresentaram maiores produção de biomassa e crescimento. As plantas dos morfotipos pequeno e médio de *P. echinata,* divergiram em crescimento nas condições ambientais avaliadas. O morfotipo pequeno apresentou melhor aclimatação e maior crescimento no ambiente de alta demanda atmosférica com alta temperatura, já o morfotipo médio, apresentou melhor aclimatação e maior crescimento nos ambientes de temperatura mais baixas. Notou-se que a variação climática em demanda atmosférica e temperatura desencadeou

diferentes mecanismos de aclimatação fisiológica e crescimento nas espécies eucalipto e pau brasil.

Palavras-chave: Climatologia agrícola. Eucalipto. *Paubrasilia echinata.* Trocas gasosas. Crescimento (Plantas).

ABSTRACT

GALVÃO, Elayne Kátia dos Santos 2017. **Climatic conditions and ecophysiological behavior of forest essences** Dissertation (Master in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Advisor: Prof. D.Sc José Eduardo Macedo Pezzopane. Co- Advisors: João Vitor Toledo and Talita Miranda Teixeira Xavier.

Climatic conditions are preponderant factors in the physiological behavior and growth of forest species, especially variations in temperature and atmospheric demand. In this sense, the present study investigated the influence of the conjugated effects of the vapor pressure deficit (VPD) and temperature variation on the eucalyptus and *Paubrasilia echinata* species aspects, seeking to understand the mechanisms of physiological acclimatization and growth. The study was conducted by mounting and driving two experiments presented in two chapters, the first one investigated three species of eucalyptus (Corymbia citriodora, Eucalyptus, camaldulensis and *E. cloeziana*) and the second two variants of *P. echinata*. Both experiments were conducted in greenhouse climatized with temperature and relative humidity of the air control, in a completely randomized design. Briefly were applied four treatments categorized as: Setting 1 (low atmospheric + low temperature demand, DPV ↓ + T ↓), Environment 2 (VPD ↓ + T ↑) Setting 3 (VPD ↑ + T ↑) and Setting 4 (VPD ↑ + T ↓). The first experiment lasted 62 days and the second 125 days. At the end of each experiment, growth parameters (height, diameter, leaf area and dry mass) and plant gas exchange were evaluated. The plants of *C. citriodora*, *E. camaldulensis* and *E. cloeziana* showed high efficiency in the use of water and stomatal control when submitted to the environment of high atmospheric demand associated with high temperature, so in this environment the species presented higher production of plant biomass and growth. The plants of the small and medium variants of *P. echinata* were divergent in growth in the environmental conditions evaluated. The small variant presented better acclimatization and higher growth in the environment of high atmospheric demand with high temperature, whereas the medium variant showed better acclimatization and higher growth in the lower temperature environments. It was noticed that the climatic variation in atmospheric demand and temperature triggered different mechanisms of physiological acclimatization occurring, sometimes,

differentiations in growth between species (Eucalyptus) and within the same species (*P. echinata*).

Keywords: Agricultural climatology. *Eucalyptus*. *Paubrasilia echinata.* Gas exchange. Growth.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 18

2 REVISÃO DE LITERATURA 20

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO 20
2.1.1 *Corymbia citriodora* Hook 20
2.1.2 *E. camaldulensis* Dehn 21
2.1.3 *E. cloeziana* F. Muell 22
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE *Paubrasilia echinata* 24
2.3 INFLUÊNCIA DA DEMANDA ATMOSFÉRICA E DA TEMPERATURA DO AR NO CRESCIMENTO DE PLANTAS 26
REFERÊNCIAS 28

CAPÍTULO I 32

1 INTRODUÇÃO 33

2 MATERIAL E MÉTODOS 35

2.1 Local de estudo 35
2.2 Material vegetativo 35
2.3 Caracterização climática 35
2.4 Análises de crescimento 37
2.5 Análises fisiológicas 38
2.6 Delineamento experimental e análise estatística 39
3 RESULTADOS 40

4 DISCUSSÃO 49

5 CONCLUSÕES 53

REFERÊNCIAS 54

CAPÍTULO II 56

1 INTRODUÇÃO 57

2 MATERIAL E MÉTODOS 59

2.1 Local de estudo 59
2.2 Material vegetativo 59
2.3 Caracterização climática 59
2.4 Análises de crescimento 61
2.5 Análises fisiológicas 62
2.6 Delineamento experimental e análise estatística 63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 64

4 CONCLUSÕES 73

5 REFERÊNCIAS 74

Lista de figuras

Figura 1 - Curso médio diário da temperatura média do ar (A) e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), em quatro casas de vegetação climatizadas, no município de Jerônimo Monteiro - ES, no período junho a agosto de 2017. Ambiente/Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. 37

Figura 2- Aspecto visual de crescimento das plantas jovens de *C*. *citriodora*, após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Ambientes/Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. Barra vertical = 100 cm. 40

Figura 3 - Aspecto visual de crescimento das plantas jovens de *E*. *camaldulensis* após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. Barra vertical = 100 cm. 41

Figura 4 Aspecto visual de crescimento das plantas jovens de *E. cloeziana* após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. Barra vertical = 100 cm. 42

Figura 5- Massa seca total, da raiz e da parte aérea de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. cloeziana após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; 2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade entre os ambientes. 43

Figura 6 - Área foliar, razão de área foliar e área foliar especifica de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. cloeziana aos 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições microclimáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade, entre os ambientes. 44

Figura 7 - Altura e diâmetro de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloeziana* aos 62 dias de experimentação, conduzidas em quatro sob quatro condições microclimáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade entre os ambientes.....45

Figura 8 - Fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de carbono (Ci) e eficiência intrínseca no uso da água CO2 (A/gs) de plantas de C. citriodora, E. camaldulensis e E. cloeziana, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro – ES, no período de junho a agosto de 2017. Ambientes: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 –DPV↑ + T↓.....47

Figura 10 – Curso médio diário da temperatura média do ar (A) e déficit de pressão de vapor (B), em quatro casas de vegetação climatizadas, no município de Jerônimo Monteiro - ES, no período de maio a setembro de 2017. Ambiente/Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓.....61

Figura 11 - Massa seca total, da raiz e da parte aérea de duas variantes de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de maio a setembro de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade.....65

Figura 12 - Área foliar, razão de área foliar e área foliar especifica de duas variantes de Paubrasilia echinata após 125 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade.....67

Figura 13 - Altura e diâmetro de dois morfotipos de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas em quatro sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de maio a setembro de 2017. Tratamentos: A1 –

DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% *de* probabilidade. 68

Figura 14 - Fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca no uso da água CO2 (A/gs) de duas variantes de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro – ES, no período de maio a setembro de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. 69

Lista de tabelas

Tabela 1– Caracterização microclimática dos tratamentos aplicados ao longo de 62 dias de experimentação, em casa de vegetação climatizada no município de Jerônimo Monteiro, ES. T_{Med}, T_{Min}, T_{Max} – Temperatura média, mínima e máxima, respectivamente; DPV_{Med}, DPV_{Max} – Déficit de Pressão de Vapor do ar médio e máximo, respectivamente.....36

Tabela 2 – Caracterização microclimática dos tratamentos aplicados ao longo de 125 dias de experimentação, em casa de vegetação climatizada no município de Jerônimo Monteiro, ES. T_{Med}, T_{Min}, T_{Max} – Temperatura média, mínima e máxima, respectivamente; DPV_{Med}, DPV_{Max} – Déficit de Pressão de Vapor do ar médio e máximo, respectivamente.....60

1 INTRODUÇÃO GERAL

Para atender a demanda mundial de matéria prima de base florestal, estima-se que será necessário estabelecer 250 milhões de hectares adicionais de florestas plantadas no mundo (IBÁ, 2017). A busca para suprir essa crescente demanda, resulta no aumento da pressão ambiental sobre as florestas nativas. Neste sentido, o reflorestamento é uma alternativa viável, considerando aspectos ecológicos e econômicos, pois possibilitam atender o mercado, atenuar os desmatamentos e subsidiar estratégias de conservação de espécies nativas ameaçadas de extinção.

Para garantir crescimento e produtividade, as plantas necessitam aclimatar sua fisiologia as condições climáticas as quais estão submetidas (WANG; VINOCUR; ALTMAN, 2003, WALTHER et al, 2002). Assim, o sucesso de formações florestais é dependente da capacidade das espécies florestais em desenvolver mecanismos de aclimatação para otimizar o uso dos recursos ambientais disponíveis a fim de obter maior produtividade (STAPE et al., 2004). Segundo Marenco e Lopes (2005), a capacidade de aclimatação e a respostas de crescimento das plantas as variações ambientais, ocorrem entre as espécies e dentro de uma mesma espécie.

Nesta perspectiva, o eucalipto representa uma gama de espécies florestais de rápido crescimento e adaptação à variadas condições climáticas (STAPE et al., 2004), por tais atributos, são as espécies mais plantadas do mundo (ZHANG, 2015). Para além, as espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis e Eucalyptus cloeziana* apresentam tolerância à altas temperaturas do ar e ao déficit hídrico moderado, produzem madeira densa, durável, com toras eretas comumente destinadas à serraria, a produção de postes, escoras e estruturas para construção civil. Apesar de apresentarem importância econômica, ao segmento industrial de madeira serrada, os estudos acerca do crescimento e fisiologia de tais espécies sob variadas condições climáticas são escassos.

Em outra vertente, a espécie *Paubrasilia echinata*, popularmente conhecida como pau-brasil é uma árvore nativa da mata atlântica brasileira de relevância histórica, econômica e ecológica (ZANI, 2014). Possui, atualmente, três variantes morfológicos descritos na literatura (JUCHUM et al. 2008) e se encontra sobre ameaça de extinção (GAMA, 2017). De acordo com Lima (2003), são essenciais os estudos com espécies ameaçadas de extinção que visem subsidiar estratégias de conservação.

Diante do exposto, existe a necessidade da compreensão dos aspectos fisiológicos e de crescimento inicial das referidas espécies florestais, sob condições contrastantes de demanda atmosférica e temperatura do ar. Busca-se assim, entender os mecanismos de tolerância e aclimatação a tais condições, visando auxiliar na tomada de decisão da implantação da cultura, gerar ganhos em produtividade, possibilitar um melhor manejo e conservação das espécies florestais de eucalipto e pau-brasil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO

Os gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* pertencem à família botânica das *Myrtaceae,* sendo oriundos da Austrália e ao todo compreendem mais de 600 espécies (BELLEVILLE; OZARSKA; PIZZI, 2016). Por muito tempo o gênero *Corymbia* foi considerado um subgênero do gênero *Eucalyptus*, mas em 1995, a partir de uma revisão das chaves sistemáticas de identificação botânica, houve uma reformulação na classificação, assim as espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* foram separadas. O trabalho teve como autores Hill e Johnson (1995) e apresentavam 113 espécies de *Corymbia* (REIS et al., 2014).

2.1.1 *Corymbia citriodora* Hook

Esta espécie é originária da zona oeste de Queensland, Austrália. Possui melhor adaptação a locais com latitude entre 17° a 26° S, de clima tropical a subtropical, com precipitações anuais variando de 600 a 1000 milímetros, em altitudes compreendidas entre 80 a 800 m, onde ocorrem temperatura média das máximas entre 29 a 35 º C e temperatura média das mínimas entre 5 a 10 º C. Na época mais quente do ano ocorre período de seca que varia de 5 a 7 meses (FERREIRA, 1979).

Os principais atrativos para o cultivo de *Corymbia citriodora* são a sua adaptação fisiológica a diferentes regiões, o rápido incremento volumétrico e a forma do fuste. No Brasil, o plantio de *Corymbia citriodora* tem como finalidade a exploração da madeira para construções, estruturas, caixotaria, postes, dormentes, mourões, lenha e carvão (BOLAND et al., 2006; FONSECA et al., 2010). Além da exploração da madeira, há o aproveitamento das folhas para extração de óleo essencial, que também é muito comercializado no Brasil (REIS et al., 2013).

Popularmente conhecida como Eucalipto citriodora, a espécie possui uma árvore vistosa, com copa em formato de guarda-chuva, casca fina, lisa e brilhante. Suas folhas na fase jovens são alternas, pecioladas, ovais e com ponta fina, com tamanho aproximado de 7 a 15 centímetros de comprimento por 3 a 6 centímetros de largura. Quando adultas, suas folhas são bastante pecioladas, duras, de ponta fina, com tamanho de 10 a 25 centímetros de comprimento por 1 a 4 centímetros de

largura. Suas folhas, quando esmagadas, exalam um forte cheiro característico da substância eucaliptol, similar ao aroma de essência de limão (FERREIRA, 1979).

A espécie possui adaptação a solos pobres com pedregulhos ou a solos vermelhos, profundos, argilosos e derivados de arenitos. A sua madeira, de cor castanho parda a cinza castanho escura, é considerada dura a muito dura e o seu peso específico encontra-se entre 0,9 a 1,1 g cm^3 (FERREIRA, 1979).

Pesquisas recentes acerca da espécie, investigam sua fisiologia sob condição de estresse hídrico (SILVA et al., 2016), propriedades físicas e químicas da madeira (LEMOS et al., 2012) propriedades e características do óleo essencial extraído de suas folhas (RAJESWARA RAO et al., 2003; JAENSON; GARBOIU; PAISSON, 2006), atividade fungicida do óleo (DIAS-ARIEIRA, 2010) e potencial para produção de celulose (SEGURA; SILVA JR, 2016).

2.1.2 *E. camaldulensis* Dehn

Oriunda da Austrália, a espécie *E*. *camaldulensis*, tem como áreas principais de ocorrência entre as latitudes de 15,5º S a 38º S, nas altitudes variando desde 30 a 600 m. Caracteriza-se por ser uma espécie que ocorre predominantemente nas margens de rios e em regiões de precipitação pluviométrica média anual entre 250 a 625 mm, com as chuvas concentradas no inverno ou no verão. A temperatura média das máximas do mês mais quente situa-se entre 29 a 35 ºC, e a média das mínimas do mês mais frio situa-se de 11 a 20 ºC. O período seco nessas regiões varia de 4 a 8 meses ou mais (FERREIRA, 1979).

Possui folhas estreitamente lanceoladas, com 9-20 cm de comprimento e 7-15 mm de largura, nervuras pouco visíveis, e que exalam um cheiro característico quando esmagadas. Possui sementes com capacidade germinativa de aproximadamente 10 anos se guardadas em ambiente frio e seco, com germinação ocorrendo entre 4-15 dias. Sua madeira é densa e muito durável, fácil de trabalhar e preservar. Usada para construções pesadas, dormentes e marcenaria. A madeira em rolo é usada para postes de transmissão, de construção e de cerca. Na Austrália a madeira é muito utilizada para serraria, dormentes e carvão. (LORENZI et al., 2003)

Considera-se o *E. camaldulensis* uma das espécies mais adequadas para reflorestamento de regiões onde ocorrem problemas ligados ao solo e de deficiências hídricas. Nos países em que a espécie foi introduzida com sucesso, as

conclusões básicas foram: tolerância a inundações periódicas, moderada resistência a geadas, produz madeira mais densa com cerne bem diferenciado e regenera-se muito bem através das brotações de cepas (FERREIRA, 1979).

As pesquisas mais frequentes acerca da espécie investigaram as propriedades mecânicas e físicas da madeira (TORRES et al., 2016), qualidade da madeira (TORRES et al., 2011), produção de mudas em solo contaminado (ACCIOLY et al., 2004), extração de DNA (SILVA; COSTA; CAMPOS, 2015) e crescimento de mudas em substratos à base de casca de arroz carbonizada (KRATZ; WENDLING, 2016).

2.1.3 *E. cloeziana* F. Muell

A espécie caracteriza-se por ocorrer naturalmente em populações espaçadas. A área de distribuição natural está compreendida entre as latitudes de 16 a 26,5 º S e altitudes de 60 a 900 m, onde a precipitação pluviométrica se concentre no verão, com média anual de 1.000 a 1.600 mm, o período de seca não ultrapasse 3 a 4 meses e as geadas sejam raras e pouco severas. A temperatura média das máximas no mês mais quente se situa em torno de 29 º C e a média das mínimas do mês mais frio está entre 8 e 12 º C. Por se tratar de uma espécie oriunda de zonas predominantemente de clima tropical, ela é susceptível à geada e não se adapta bem em regiões com deficiência hídrica severa. A madeira produzida pela espécie é de alta densidade, durável e com inúmeras destinações de uso (FERREIRA, 1979).

E. cloeziana é uma árvore perenifólia, variando seu tamanho de 30 a 40 m de altura e 50 a 70 cm de diâmetro à altura do peito, com tronco ereto, casca persistente, na cor marrom-escura, possuindo flores brancas, pequenas, com estames brancos, formando botões globosos de opérculo indistinto (Boland et al., 2006). O fruto é do tipo cápsula, globoso, com cerca de 10 mm de diâmetro, com 3 a 4 valvas levemente salientes, contendo sementes escuras (LORENZI et al., 2003).

A espécie é considerada rústica e de rápido crescimento, adequada para reflorestamentos destinados à produção de madeira para diversas finalidades. (LORENZI et al, 2003). Plantações estabelecidas, fora do seu local de ocorrência natural, têm como finalidades a produção para serraria, postes, escoras, estruturas, dormentes e outros (FERREIRA, 1979). No Brasil, tem-se observado melhor desenvolvimento desta espécie em regiões subtropicais como o sudeste e o sul (LORENZI et al, 2003).

Estudos envolvendo a espécie investigam a sua reposta fisiológica à poda (ALCORN, 2008), à propagação vegetativa (ALMEIDA et al., 2007), sua potencialidade para a produção de celulose solúvel (MEZZOMO, 1996), a característica tecnológica da madeira (GONÇALEZ et al., 2007), a biomassa e atividade microbiana (BRAGA et al., 2016) e outros.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE *Paubrasilia echinata*

O pau-brasil (*Paubrasilia echinata* Lam.), é uma árvore endêmica da mata atlântica brasileira. O bioma Mata Atlântica é um dos hotspots de biodiversidade do mundo e estar entre os biomas mais degradados do planeta (MYERS et al. 2000). Há cinco séculos, desde a chegada dos colonizadores europeus, o bioma Mata Atlântica sofre processos de antropização e devastação, resultando em uma grande na fragmentação de suas florestas. Inicialmente o bioma cobria praticamente toda a costa leste do Brasil, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Na atualidade possui grandes variações em sua biota, muitas fisionomias e diferentes regimes climáticos (DASILVA; PINTO-DA-ROCHA; DESOUZA, 2011).

As árvores de pau-brasil são de médio porte, com altura entre 10 e 15 m, possuem o tronco recoberto por acúleos medindo de 25 a 40 cm de diâmetro, as são folhas bipinadas, as inflorescências possuem flores em cacho de cor amarelo-ouro com uma mancha vermelho-púrpura em uma das pétalas (LORRENZI, 2002). Anteriormente, o pau-brasil foi classificado como pertencente ao gênero *Caesapinea*, porém, recentemente passou por uma importante alteração taxonômica, passando a integrar o gênero *Paubrasilia*. A alteração foi necessária devido a evidências morfológicas e filogenéticas disponíveis (GAGNON et al., 2016).

Segundo Juchum e colaboradores (2008), existem hoje, três morfotipos de pau-brasil: um de ocorrência rara, sendo encontrado naturalmente na localidade específica do Vale do Rio Pardo, na Bahia, o qual possui foliólulos grandes e tronco de cor vermelho escuro; um morfotipo cujo exemplares são encontrados no Rio de Janeiro, Espírito Santo e interior-sul da Bahia, possuindo foliólulos médios e cerne de cor laranja-avermelhada; e o morfotipo mais comum, sendo encontrado ao longo da costa brasileira, que apresenta comparativamente os menores foliólulos e tronco de coloração alaranjada.

Diante o processo de antropização e fragmentação, ocorrido no bioma, tornou-se inviável caracterizar de forma precisa e unificada o clima da mata atlântica como todo (DASILVA; PINTO-DA-ROCHA; DESOUZA, 2011). O morfotipo médio ocorre no interior dos estados Bahia, Espirito Santo e Rio de Janeiro e o pequeno na região litorânea da costa Brasileira (Juchum, 2008).

O bioma a mata atlântica no estado da Bahia é caracterizado principalmente por duas áreas, em uma estreita faixa litorânea formada pelas Florestas dos Tabuleiros e a segunda mais ao sul do estado dominada pela Floresta Ombrófila Densa. Na região norte a pluviosidade média é superior a 1.500 mm anuais (concentrada no outono), enquanto que na porção Sul, próxima o vale do Rio Doce, a precipitação é de cerca de 1.200 mm anuais (concentrada na primavera). Ambas as áreas apresentam alta umidade do ar e pouca variação na temperatura, com média em torno de 25°C (DASILVA; PINTO-DA-ROCHA; DESOUZA, 2011).

No estado do Espírito Santo os fragmentos de mata atlântica abrangem principalmente as serras, onde a pluviosidade varia de 1.400 a 1.800 mm anuais, a estação mais seca ocorre inverno e a temperatura média anual é de 20 ºC no planalto e 22°C litoral. A vegetação dominante compreende a Floresta Ombrófila Densa, a Terras Baixas, a Submontana e Montana e a Floresta Ombrófila Aberta na costa litorânea. Por sua vez, no estado do Rio de Janeiro os fragmentos do bioma ocorrem principalmente na faixa litorânea, onde têm-se precipitação superior a 2.000 mm mensais, sem período seco, com temperaturas médias anuais de 21 a 23°C. É coberta pela Floresta Ombrófila Densa e varia entre Terras Baixas, Submontana e Montana (DASILVA; PINTO-DA-ROCHA; DESOUZA, 2011).

As pesquisas realizadas com a espécie estudam a efeito da adubação na fisiologia e na anatomia do pau-brasil (CANAL, 2010), Germinação de sementes e produção de mudas de pau-brasil sob: efeito de sombreamento. (AGUIAR et al., 2005) e efeitos da luminosidade e sombreamento no crescimento e fisiologia de plantas de pau brasil (GARCIA et al., 2006; RONDON et al., 2006; MELLO; BARBEDO, 2007; MENGARDA et al., 2009, GAMA, 2012, GAMA, 2017).

2.3 INFLUÊNCIA DA DEMANDA ATMOSFÉRICA E DA TEMPERATURA DO AR NO CRESCIMENTO DE PLANTAS

As plantas respondem a fatores, bióticos e abióticos, existentes no ambiente (LARCHER, 2000), sendo seu desenvolvimento e crescimento consequência da interação de vários processos fisiológicos com as condições ambientais e as características genéticas inerentes a cada espécie (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Temperatura e déficit de pressão de vapor (DPV) do ar são alguns dos principais fatores climáticos que afetam os processos fisiológicos, consequentemente o crescimento das plantas (MARRICHI, 2009). A temperatura e o déficit de pressão de vapor desempenham papel regulatório nas interações do sistema solo-planta-atmosfera. A temperatura controla a flutuação do DPV entre a cavidade estomática e a atmosfera (CARNEIRO et al, 2008), sendo o fator fundamental aos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. (CAMPOS, 1970; ALBUQUERQUE, 2013). O DPV, por sua vez, afeta a transpiração e a condutância estomática de forma que regula processos de difusão do vapor de água e CO_2 entre a cavidade estomática e a atmosfera (PEREIRA et al., 2002).

De forma geral, a condutância estomática decaí exponencialmente em ocasiões de aumento de DPV (MACCAUGHEY e IACOBELLI, 1994; MONTEITH, 1995). O fechamento estomático em Alto DPV é o princípio de que a resposta estomática ocorre para evitar excessiva desidratação e danos fisiológicos, como exemplo, alteração no funcionamento normal do fotossíntese, transpiração e respiração de plantas (OREN, et al., 1999). A maior parte das plantas apresentam uma diminuição em gs com DPV alto, mas há uma variação nos níveis de sensibilidade da resposta a flutuações do DPV (Otto et. al., 2016)

Em ambientes de alta demanda atmosférica, ocorre um aumento no gradiente de perda d'água. Em ambientes de baixa demanda, o gradiente de difusão que governa a perda de água é cerca de 50 vezes maior do que o gradiente que promove a absorção de CO_2 (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, é de extrema importância a existência de um controle estomático visando evitar altas taxas de perda de água através da transpiração (FRANCO; LÜTTGE, 2002) e equilibrar a relação de assimilação de CO_2 e transpiração via estômatos. Em suma, o DPV é uma variável climática que pode impulsionar a transpiração, causar a abertura ou

fechamento estomático, e consequentemente reduzir as taxas de crescimento de plantas (ALMEIDA, 2003).

Mudanças na temperatura do ar influenciam significativamente nas taxas de crescimento das plantas (MOLLO, 2009). Alterações térmicas causam modificação na fluidez da membrana e afetam a fotossíntese líquida por não permitir a conformação mais adequada das proteínas e ainda devido a alterações que também ocorrem permeabilidade das membranas dos tilacóides do cloroplasto. Na fase fotoquímica, as temperaturas supra ótimas causam o retorno de prótons do lúmen para o estroma, diminuindo então a síntese de ATPs (requerido na fase bioquímica), por consequência diminui a fotossíntese líquida e a fixação de carbono limitando o crescimento e desenvolvimento do vegetal. (TAIZ; ZEIGER, 2013).

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A. et al. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 775-783, 2004.

AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; PINTO, M. M.; STANCATO, G. C.; AGUIAR, J. DE; NASCIMENTO, T. D. R. Germinação de sementes e produção de mudas de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil): efeito de sombreamento. **Árvore,** v. 29, n. 6, p. 871-875. 2005.

ALCORN, P. J. et al. Photosynthetic response to green crown pruning in young plantation-grown *Eucalyptus pilularis* and *E. cloeziana.* **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 255, n. 11, p. 3827-3838, 2008.

ALMEIDA, A. **Application of a process-based model for predicting and explaining growth in *Eucalyptus* plantations**. 2003. 232 f. Thesis (Doctor of Philosophy) – The Australian National University, Canberra, 2003.

ALMEIDA, F. D. et al. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.3, p.455-463, 2007.

BELLEVILLE, B.; OZARSKA, B.; PIZZI, A. Assessing the potential of wood welding for Australian eucalypts and tropical species. **European Journal of Wood and Wood Products**, [S.l.], v. 74, n. 5, p. 753-757, 2016.

BOLAND D. J. et al. **Forest trees of Australia**. Melbourne: CSIRO Publishing. 2006. 768 p.

BRAGA, R. M. et al. Biomass and microbial activity under different forest covers. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 137-144, 2016.

CANAL, E. C. **Efeito da adubação inorgânica na fisiologia e na anatomia do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.).** 2010. 56 f. Dissertação (Mestrado em biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 2, n. 3, p.45-52, 1970

CARNEIRO, R. L. C. et al. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 1 determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. **Revista Árvore**, viçosa, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

DASILVA, M. B.; PINTO-DA-ROCHA, R.; DESOUZA, A. M. História biogeográfica da Mata Atlântica: opiliões (Arachnida) como modelo para sua inferência. In: ALMEIDA, E. A. B. **Biogeografia da América do Sul: padrões & processos**. p. 221-238, 2011.

DIAS-ARIEIRA, C. R. et al. Atividade do óleo de *Eucalyptus citriodora* e *Azadirachta* indica no controle de *Colletotrichum acutatum* em morangueiro. **Summa phytopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 3, p. 228-232, 2010.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, n. 47, 1979. 10 p.

FONSECA, S. M. et al. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto. Viçosa**. Viçosa: UFV, 2010. 200 p.

GAGNON, E. et al. A new generic system for the pantropical Caesalpinia group (Leguminosae). **PhytoKeys**, [S.l.], n. 71, p. 1-160, 2016.

GAMA, V. N. **Caracterização morfofisiológica e bioquímica de três morfotipos de *Paubrasilia echinata* Lam. em resposta à luz**. 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017

GONÇALEZ, J. C. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden E *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2007.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. Sistematic studies in the eucalyptus 7: a revision of the blood woods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, Sydney, v. 6, n. 2/3, p. 185-504, 1995.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Anuário estatístico do IBÁ 2017 - ano base 2016**. Brasília: IBÁ. 2017. 80 p.

JAENSON, T. G. T.; GARBOUI, S.; PALSSON, K. Repellency of oils of lemon eucalyptus, geranium, and lavender and the mosquito repellent MyggA natural to Ixodes ricinus (Acari: Ixodidae) in the laboratory and field. **Journal of medical entomology**, [S.l.], v. 43, n. 4, p. 731-736, 2006.

JUCHUM, F. S.; COSTA, M. A.; AMORIM, A. M.; CORRÊA, R. X. Phylogenetic relationships among morphotypes of Caesalpinia echinata Lam. (Caesalpinioideae: Leguminosae) evidenced by trnL intron sequences. **Naturwissenschaften**, [S.l.], v. 95, n. 11, p.1085-1091, 2008.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos a base de casca de arroz carbonizada. **Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 3, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LEMOS A. L. F. et al. Madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson sob aspectos físicos e anatômicos como fatores qualitativos. **Floresta e Ambiente**, Soropédica, v. 19, n. 1, p. 1-8, 2012.

LIMA, H. C. Taxonomia e distribuição geográfica atual de *Caesalpinia echinata* Lam. In: Simpósio "Pau-brasil: Ciência e Arte". São Paulo, 2003. FAPESP. CD ROM.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. 4 ed, v. 1. Nova Odessa: Plantarum, 2002. 368 p.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil**. Nova Odessa: Ed. Instituto Plantarum, 2003. 384 p.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de Eucalyptus e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MEZZOMO, L. X. **Potencialidade do Eucalyptus cloesiana Hook, Eucalyptus urophylla st Blake e *E. urophylla x E. grandis* cultivados na Bahia para produção de celulose solúvel.** 1996. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

MOLLO, L. **Efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* (Carrière) Harms (Bromeliaceae) cultivadas in vitro**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) -Instituto de Botânica, São Paulo. 2009.

MACCAUGHEY, J.H.; IACOBELLI, A. Modelling stomatal conductance in a northen deciduous forest, Chalk River, Ontario. Canadian **Journal of Forestry Research**, v.24, p.904-910, 1994.

MYERS, N.et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000.

MONTEITH, J.L. A reinterpretation of stomatal response to humidity. **Plant, Cell and Environment**, v.18, p.357-364, 1995.

OREN, R. et al. Survey and synthesis of intra-and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.] v. 22, n. 12, p. 1515-1526, 1999.

OTTO, M. S. G. et al. Impact of water supply on stomatal conductance, light use efficiency and growth of tropical Eucalyptus plantation in Brazil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 3, p. 87-93, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia:** fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.

RAJESWARA RAO, B. R. et al. Comparative composition of decanted and recovered essential oils of *Eucalyptus citriodora* Hook. **Flavour and Fragrance Journal**, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 87-177, 2003.

REIS, C. A. F. et al. ***Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 57 p. (Documentos 255) Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/974349/corymbia-citriodora-estado-da-arte-de-pesquisas-no-brasil>. Acesso em: 7 de setembro 2016.

REIS, C. A. F. et al. ***Corymbia maculata*: estado da arte de pesquisas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 50 p. (Documentos 263) Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>. Acesso em: 7 de setembro 2016.

SEGURA, T. E. S.; SILVA JR, F. G. Potential of *C. citriodora* wood species for kraft pulp production. **Tappi Journal**, Peachtree Corners, v. 15, n. 3, p. 159-164, 2016.

SILVA, A. Z. C.; COSTA R. B.; CAMPOS, D. T. S. Comparação de três tampões para extração de DNA genômico de tecidos foliares de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. **Multitemas**, Campo Grande, MS,V. 20, n. 48, p. 179-193, 2015.

SILVA, P. H. M et al. Seedling growth and physiological responses of sixteen eucalypt taxa under controlled water regime. **Forests**, Basel, v. 7, n. 6, p. 110, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2013.

STAPE, J. L. et al. Water use, water limitation and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation. **Bosque**, v.25, n. 2, p.35-41, 2004.

TORRES, P. M. A. et al. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, Soropédica, v. 23, n. 1, p. 109-117, 2016.

TORRES, P. M. A. et al. Tratamento preservativo da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 275-282, 2011.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, n. 1, p. 1-14, 2003.

ZANI, L. B. Caracterização da ontogenética do pau-brasil. 2014. 75 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

ZHANG, S. R. et al. Lanthanum tolerance and accumulation characteristics of two eucalyptus species. **Ecological Engineering**, v. 77, p. 114-118, 2015.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO INICIAL E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE TRÊS ESPÉCIES DE EUCALIPTO SOB DEMANDAS ATMOSFÉRICAS CONTRASTANTES

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a área mundial cultivada com espécies de eucalipto tem aumentado consideravelmente (OTTO et al., 2013). O setor de florestas plantadas de eucalipto tem percorrido uma trajetória de sucesso no Brasil (BACHA; BARROS, 2004), com área plantada de aproximadamente 5,7 milhões de hectares, representando cerca de 73% do total da área reflorestada no país. Deste total, 34% pertence as empresas do segmento de celulose e papel e 29% aos produtores de programas de fomento florestal e os proprietários independentes, que cultivam florestas para comercialização da madeira *in natura* (IBÁ, 2017).

O segmento industrial de madeira serrada abrange basicamente produtos oriundos do processamento da madeira *in natura*, como tábuas, vigas, pranchas, caibros, sarrafos e ripas. A produção de serrados de árvores plantadas foi de 8,6 milhões de metros cúbicos em 2016, sendo que 82% desse total é destinado ao consumo doméstico e 18% para exportações (IBÁ, 2017).

Nota-se que o segmento de madeira serrada é um dos propulsores do desenvolvimento econômico do Brasil. Ainda assim, historicamente os cultivos e a expansão das pesquisas com eucalipto visam, em sua grande maioria, suprir as demandas da indústria de produtos energéticos e de papel e celulose, havendo uma lacuna no conhecimento acerca de espécies de eucalipto detentoras de atributos relevantes para o segmento industrial de madeira serrada, comprometendo a produção e qualidade de produtos sólidos no país (BACHA; BARROS, 2004; TORRES et al. 2016).

Visando a produção de madeira, milhões de hectares cultivados com Eucalipto são conduzidos de forma intensiva no mundo inteiro, porém a ecofisiologia e os processos fisiológicos que governam e condicionam o crescimento ainda permanecem pouco detalhadas (STAPE et al, 2004).

Espécies com características interessantes para produção de madeira serrada, como *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus cloeziana,* vêm ganhando mais destaque, devido aos aspectos de qualidade da madeira e adaptação à condições ambientais adversas, altas temperaturas e deficiência hídrica, apresentando potencial para gerar variedades com maiores crescimento, produtividade e qualidade de lenho.

O crescimento de espécies florestais é complexo, pois é resultado da interação entre processos fisiológicos influenciados pela natureza genética inerentes a cada espécie com a disponibilidade e o aproveitamento dos recursos ambientais do meio. Desse modo, vários fatores ambientais influenciam o acúmulo de biomassa na planta, entre os quais, destacam-se a temperatura, a incidência de radiação fotossinteticamente ativa, a disponibilidade de nutrientes, a umidade do solo e do ar (CAMPOS, 1970; MARRICHI, 2009) e o déficit de pressão de vapor (DPV) (PEREIRA et al., 2002).

A produtividade das florestas tropicais plantadas pode sofrer alto impacto dos fatores climáticos. O relatório anual de 2017 da Indústria brasileira de árvores (IBÁ, 2017), assinala redução da produtividade das florestas de eucalipto nos últimos cinco anos, apontando como causa o impacto das mudanças climáticas, a alteração no regime de chuva, bem como avanço de cultivos para novas fronteiras florestais, do território nacional. O melhor conhecimento dos aspectos ecofisiológicos das espécies de eucalipto possibilita identificar espécie com maior potencial de aclimatação às mudanças climáticas e as novas fronteiras, podendo então alcançar novos ganhos em produtividade.

Diante do exposto é notória a necessidade da realização de estudos a cerca aspectos ecofisiológico de espécies de eucalipto quando submetidas a distintas condições climáticas, visando compreender os mecanismos de tolerância e aclimatação das espécies como indicador do comportamento das espécies. Nesta perspectiva, objetivou-se investigar as características de crescimento inicial e fisiológicas das espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camadulensis* e *Eucalyptus cloeziana,* sob diferentes condições climáticas, notoriamente, de temperatura e déficit de pressão vapor.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em casas de vegetação climatizadas, na área experimental do Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal (LMEF) pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro-ES. O período experimental teve duração de 62 dias entre os meses de junho a agosto de 2017.

2.2 MATERIAL VEGETATIVO

As mudas de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis e Eucalyptus cloeziana* foram produzidas via seminal em tubetes com capacidade para 55 cm^3, as sementes foram obtidas da empresa Acesita Energética S/A e a produção das mudas ocorreu em viveiro na localidade de Conceição do Muqui no município Mimoso do Sul, Espirito Santo. Durante o período de desenvolvimento a umidade do substrato foi mantida sempre próxima a capacidade de campo. Trinta dias após a germinação, as mudas passaram por seleção quanto à uniformidade de tamanho e número de folhas, sendo transplantadas para vasos plásticos com capacidade de aproximadamente 12 L, preenchidos com substrato comercial. Durante a execução do experimento, o substrato foi acrescido de 2,5 g/L de adubo de liberação controlada (6 meses), com formulação NPK 15–9–12. Para garantir a aclimatação após o transplantio as mudas foram mantidas por 15 dias sobre as mesmas condições climáticas, quando então iniciada a imposição dos tratamentos.

2.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Ao longo de todo período experimental os dados microclimáticos foram medidos por meio de estações meteorológicas automáticas instaladas nas casas de vegetação, coletados a partir de um *datalogger* (Campbell Scientific Inc, CR-10x) com leituras de dados a cada cinco segundos e armazenamento de valores médios a cada cinco minutos. As casas de vegetação possuem sistema automatizado de climatização, sendo possível controlar a temperatura do ar (T) e a umidade relativa

do ar (UR). A partir dos dados de T e UR, mensurados através de sensores da marca Vaissala do modelo CS500, foi calculado o déficit de pressão de vapor do ar (DPV) através diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água (e_s), determinada pela equação de Tetens, e a pressão parcial de vapor (e_a) por Pereira et al. (2002).

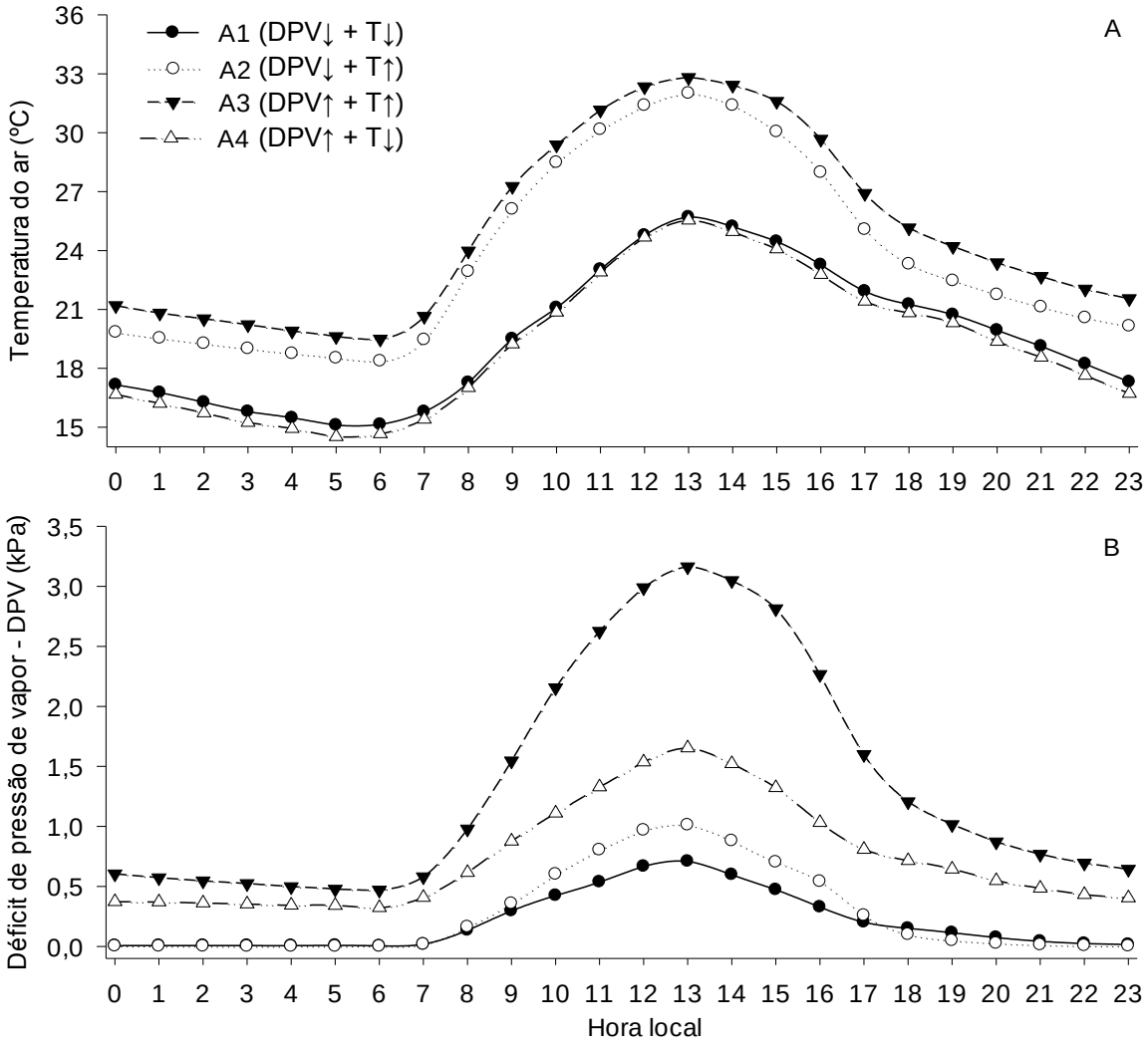
Para alcançar as temperaturas mais baixas, o sistema de refrigeração das casas de vegetação fora acionado, a partir das 18 horas e desligado às sete horas da manhã. Assim, os ambientes alcançaram as temperaturas mais altas durante o dia e mais baixas durante a noite, na tentativa de reproduzir o curso diário da temperatura de ambientes naturais. Foram impostos os tratamentos descritos na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1– Caracterização microclimática dos tratamentos aplicados ao longo de 62 dias de experimentação, em casa de vegetação climatizada no município de Jerônimo Monteiro, ES. T_{Med}, T_{Min}, T_{Max} – Temperatura média, mínima e máxima, respectivamente; DPV_{Med}, DPV_{Max} – Déficit de Pressão de Vapor do ar médio e máximo, respectivamente.

Ambiente	Tratamentos	T_{Med} (ºC)	T_{Min} (ºC)	T_{Max} (ºC)	DPV_{Med} (kPa)	DPV_{Max} (kPa)
A1	Baixa demanda atmosférica com baixa temperatura (DPV↓ + T↓)	19,6	15,1	25,7	0,3	0,7
A2	Baixa demanda atmosférica com alta temperatura (DPV↓ + T↑)	23,7	18,4	32,0	0,5	1,0
A3	Alta demanda atmosférica com alta temperatura (DPV↑ + T↑)	25,0	19,5	32,8	2,0	3,2
A4	Alta demanda atmosférica com baixa temperatura (DPV↑ + T↓)	19,2	14,5	25,5	1,0	1,7

Fonte: a autora.

Figura 1 - Curso médio diário da temperatura média do ar (A) e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), em quatro casas de vegetação climatizadas, no município de Jerônimo Monteiro - ES, no período junho a agosto de 2017. Ambiente/Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓.



Fonte: a autora.

2.4 ANÁLISES DE CRESCIMENTO

Ao final do período experimental foi determinado o crescimento das mudas por meio de medidas de altura, diâmetro do coleto, área foliar e quantificação de massa seca, com cinco repetições por tratamento. Os valores de altura foram obtidos com auxílio de régua graduada em mm da base para o ápice das plantas e o diâmetro do coleto mensurado com auxílio de paquímetro digital. A área foliar foi determinada com o auxílio de um integrador de área foliar (marca Li-Cor Inc e do modelo LI-3100). Para quantificação da massa seca produzida pelas plantas, houve

coleta e separação das frações da parte aérea e raiz. Em seguida as amostras passaram por secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas, até atingir peso constante, quando então pesados em balança analítica para obtenção da massa seca total e das frações.

A partir dos dados de área foliar e da massa seca total da planta, foi obtida a razão de área foliar (RAF, $cm^{-2}g^{-1}$), a qual expressa à área foliar útil da planta para a realização da fotossíntese:

$$RAF = \frac{AF}{MST}$$

Em que:

AF = área foliar verde (cm^2);

MST = massa seca total da planta em gramas (g).

A área foliar específica (AFE), que representa a espessura do mesofilo foliar, fora calculada considerando-se a área foliar e a massa foliar, por meio da seguinte equação:

$$AFE = \frac{AF}{MSF}$$

Em que:

AFE = área foliar específica (cm^2g^{-1});

MF = massa de folha (g); e

AF = área foliar (cm^2).

2.5 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

As análises fisiológicas de trocas gasosas foram realizadas com auxílio de um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA), modelo Li-6400 da LICOR. Visando determinar a intensidade da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que seria aplicada com auxílio de fonte artificial do equipamento, houve previamente um monitoramento da RFA média horária, ao longo de dias de céu limpo no interior das casas de vegetação, por meio de sensor de radiação da Marca Apogee, do modelo SQ311.

As leituras de trocas gasosas foram realizadas em dias de céu limpo, sendo avaliada uma espécie por dia. As leituras ocorreram em nove horários predeterminados, com fonte luminosa artificial em intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) de 0, 100, 700,1200, 1500, 1200, 700, 100 0 μmol

$m^{-2}s^{-1}$ para os horários de 4:00, 6:00, 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00 e 20:00, respectivamente. Para todas as leituras a concentração de CO_2 ambiente foi de 400 partes por milhão (ppm). Foram mensuradas quatro plantas por ambiente em cada horário. As leituras ocorreram em folhas totalmente expandidas do terço apical superior da planta, assim obteve-se a taxa de assimilação líquida de CO_2 (*A*), a concentração interna de CO_2, transpiração (*E*), condutância estomática (g_s) e através do quociente entre A/g_s obteve-se a eficiência intrínseca no uso da água.

2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos (Tabela 1) e quatro (4) unidades amostrais por tratamento para as variáveis fisiológicas e cinco (5) unidades amostrais por tratamento para as variáveis de crescimento. Cada unidade amostral foi constituída de uma planta por vaso. Para todas as variáveis, realizou-se análise de variância (ANOVA) utilizado o teste F adotando-se um nível de significância de até 5% de probabilidade. Quando detectados efeitos significativos para os tratamentos aplicados houve comparação de médias, entres os ambientes para cada espécies, pelo teste de Student-Newman-Keuls (S-N-K) em nível de 5% de probabilidade. Para as análises estatísticas utilizou-se o software R 3.8.2.

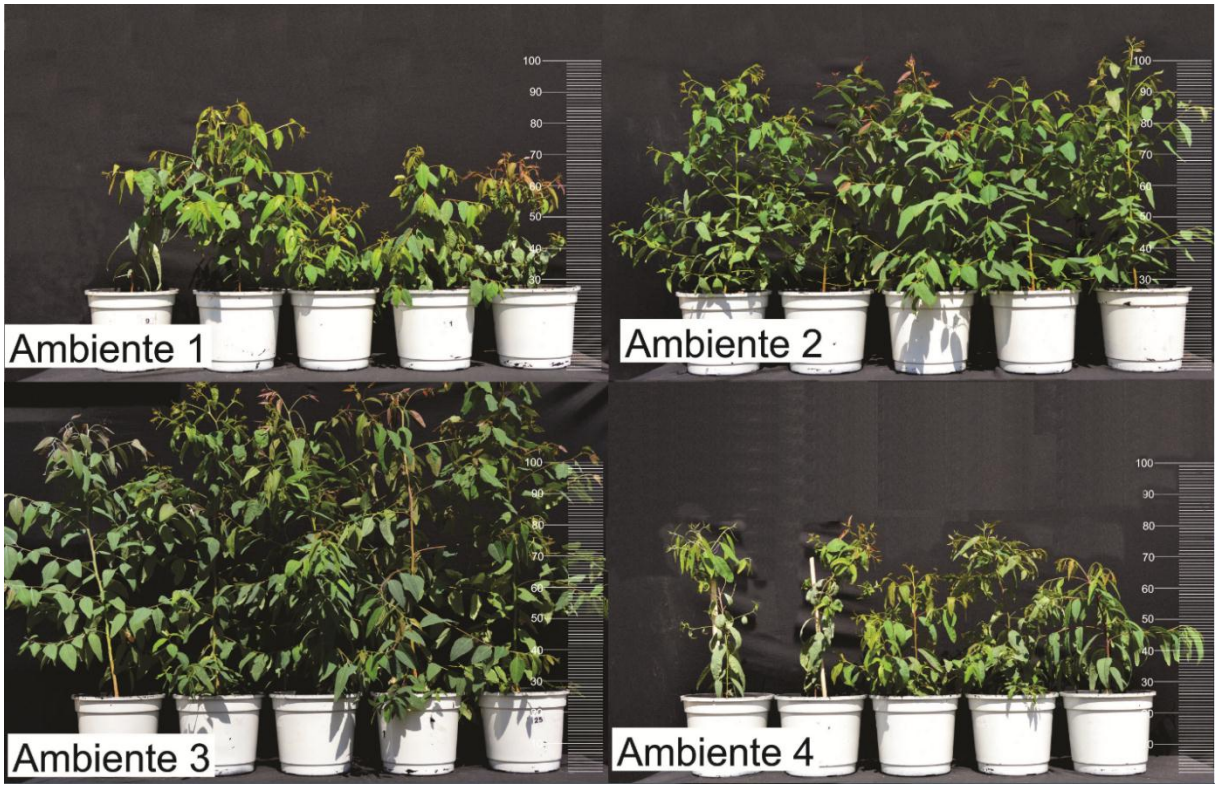
3 RESULTADOS

Aos 62 dias de experimentação verificou-se variação no crescimento das plantas jovens de *C*. *citriodora* (Figura 2), *E*. *camaldulensis* (Figura 3) e *E. cloeziana* (Figura 4) nos quatro ambientes estudados.

Figura 2- Aspecto visual de crescimento das plantas jovens de *C*. *citriodora*, após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Ambientes/Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. Barra vertical = 100 cm.

Fonte: a autora

Figura 3 - Aspecto visual de crescimento das plantas jovens de *E. camaldulensis* após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. Barra vertical = 100 cm.



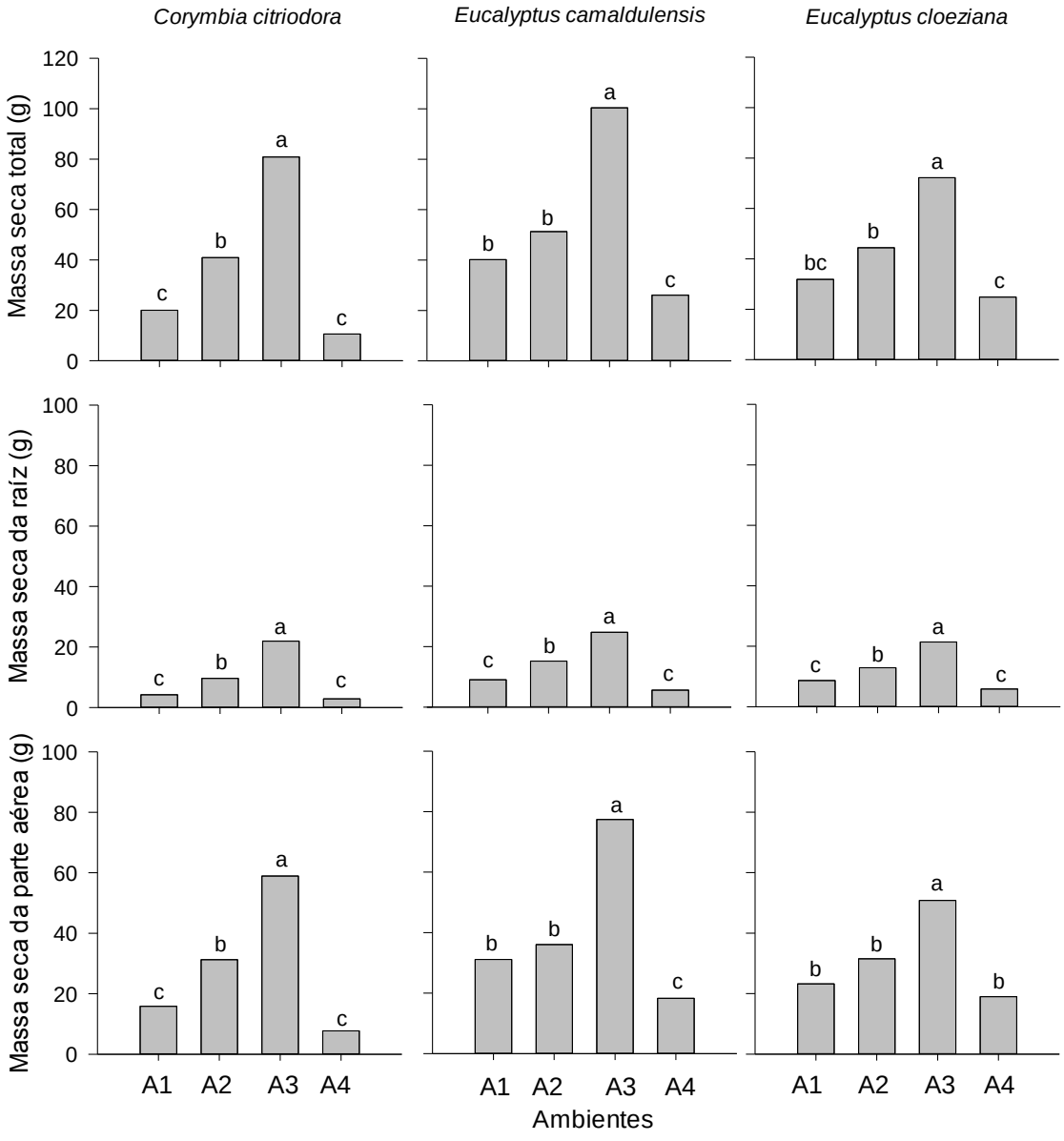
Fonte: a autora.

Figura 4 Aspecto visual de crescimento das plantas jovens de *E. cloeziana* após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. Barra vertical = 100 cm.

Fonte: a autora.

Verifica-se que o tratamento de alta demanda atmosférica e alta temperatura (A3) propiciou a maior produção de massa seca total nas plantas das espécies *Corymbia citriodora, Eucalyptus camaldulensis e Eucalyptus cloeziana* (Figura 5). O ambiente de alta demanda com baixa temperatura (A4) condicionou nas mudas destas espécies a menor produção de massa seca total, no ambiente A1 o acúmulo de massa seca total das plantas de *C*. *citriodora* e *E*. cloeziana não se diferiu estaticamente do encontrado em A4.

Figura 5- Massa seca total, da raiz e da parte aérea de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. cloeziana após 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; 2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade entre os ambientes.

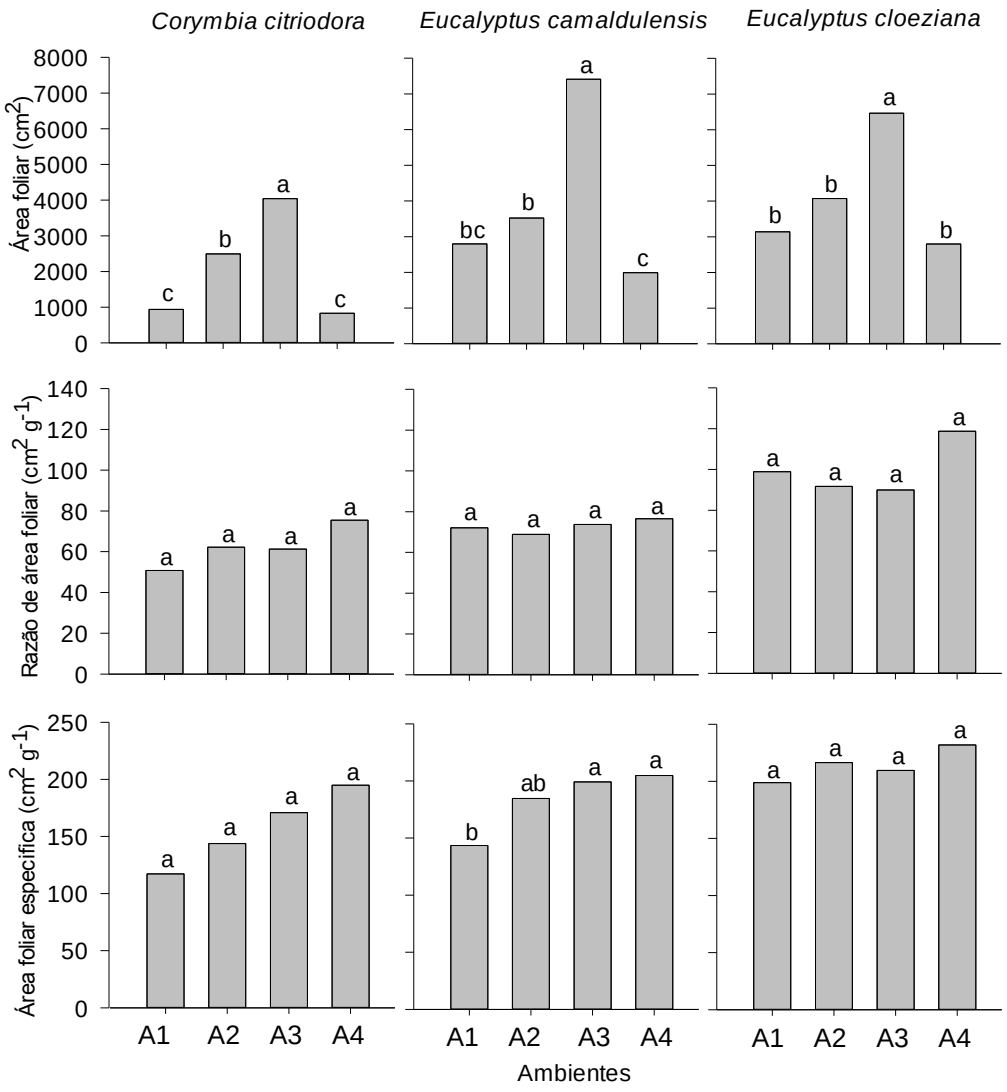


Fonte: a autora

As plantas de *E. camaldulensis*, *C*. *citriodora e E*. *cloeziana* obtiveram menor acúmulo de massa seca de raiz nos ambientes de temperaturas mais baixas (A1 e A4) e os maiores no ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3). O acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas destas espécies foi também superior no ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3).

Ainda analisando o crescimento inicial sob diferentes condições climáticas, as mudas das espécies *C. citriodora, E. camaldulensis* e *E. cloeziana* (Figura 6)*,* produziram uma área foliar maior no ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3).

Figura 6 - Área foliar, razão de área foliar e área foliar especifica de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. cloeziana aos 62 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições microclimáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade, entre os ambientes.

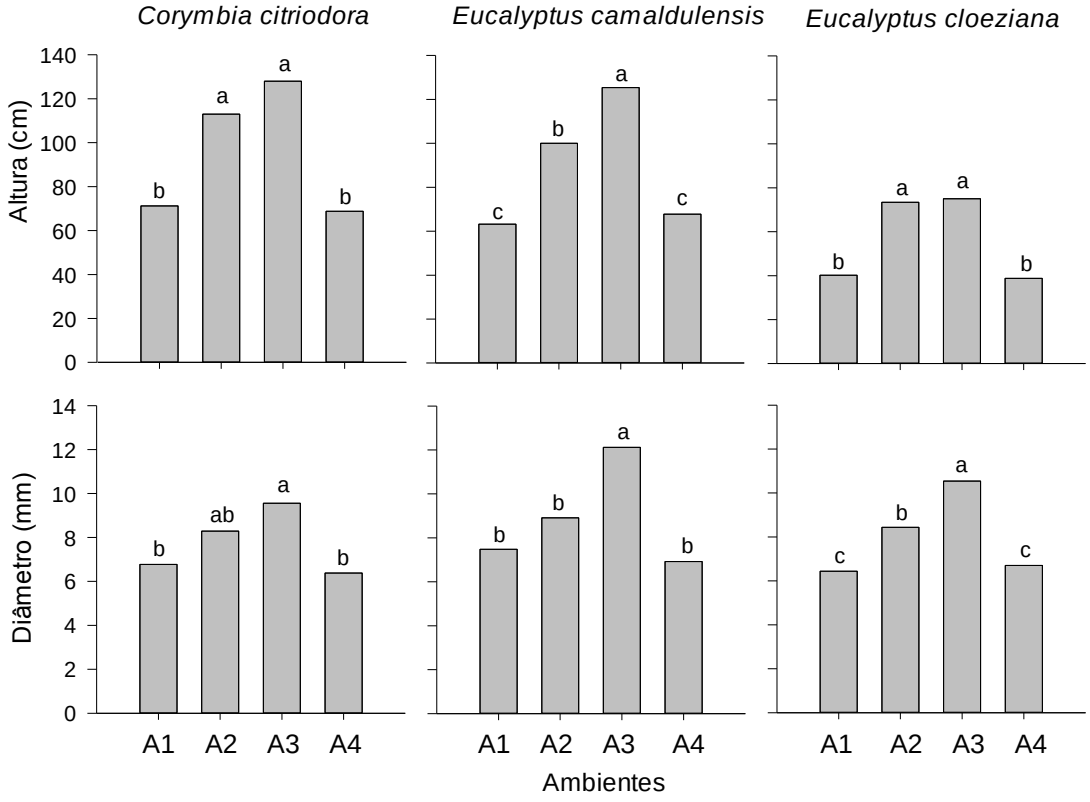


Fonte: a autora.

As mudas das três espécies de eucalipto apresentaram razão de área foliar estatisticamente igual em todos os ambientes. As plantas da espécie *E*. *camaldulensis* apresentaram área foliar específica maior nos ambientes de alta demanda atmosférica (A3 e A4) e menor nos ambientes de baixa demanda (A1 e A2) sendo que o ambiente de baixa demanda e alta temperatura (A2), também não se diferiu dos ambientes de maior razão (A3 e A4). Já plantas das espécies *C. citriodora e E. cloeziana* obtiveram médias iguais para área foliar específica em todas as condições testadas.

O crescimento em altura das plantas de *C. citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E. cloeziana* foi consideravelmente foi prejudicado nos ambientes de temperatura mais baixas (A1 e A4) (Figura 7), as maiores alturas foram encontradas no tratamento de alta demanda com alta temperatura (A3). As três espécies apresentaram maior crescimento em diâmetro no ambiente alta demanda com alta temperatura (A3).

Figura 7 - Altura e diâmetro de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloeziana* aos 62 dias de experimentação, conduzidas em quatro sob quatro condições microclimáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade entre os ambientes.

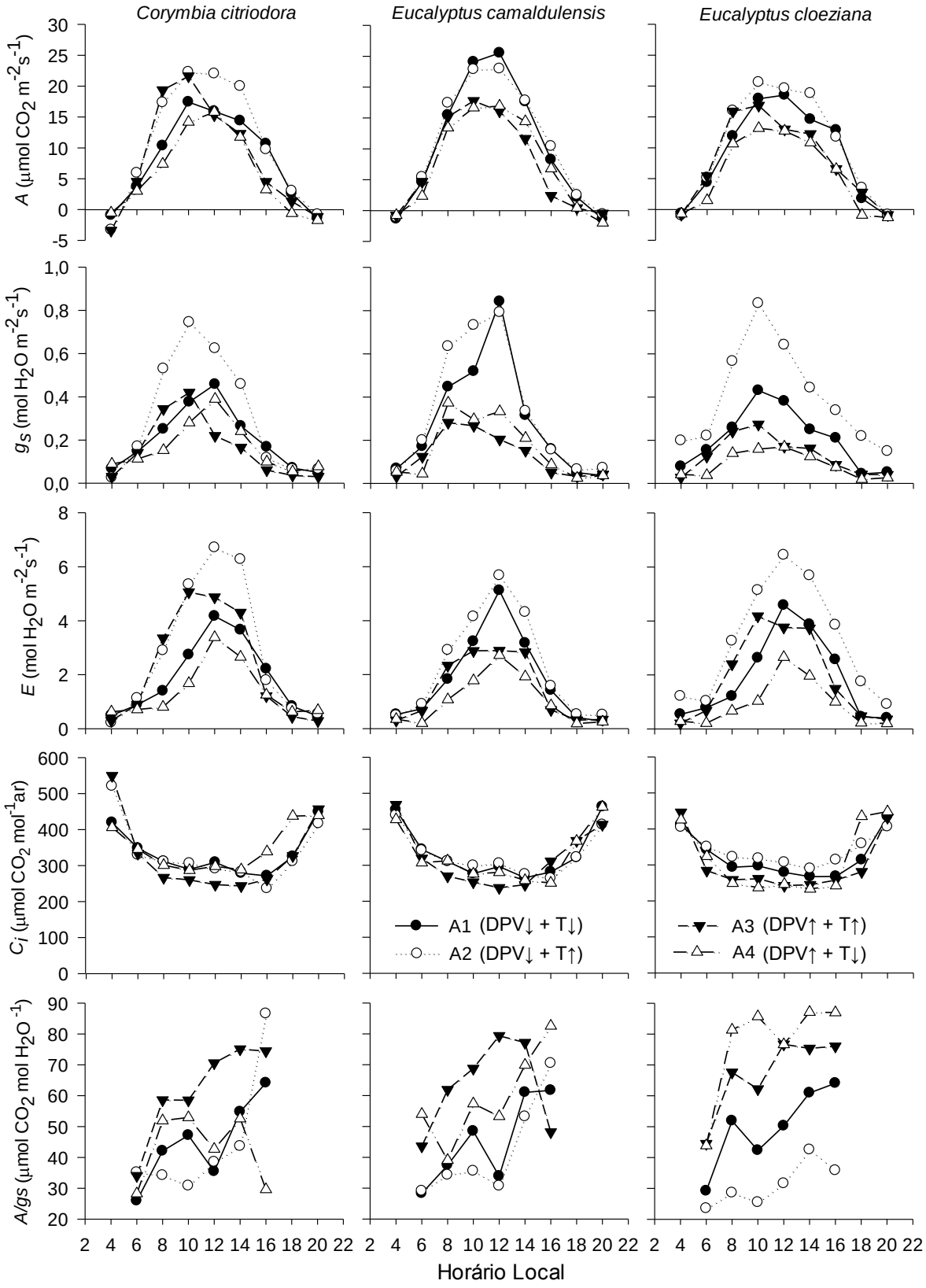


Fonte: a autora.

Na Figura 8, estão apresentadas as variáveis das trocas gasosas estudadas nas três espécies de eucalipto, ao longo do dia. É oportuno observar que as variáveis fisiológicas estudadas acompanharam o curso diário da demanda evaporativa da atmosfera e da temperatura do ar (Figura 1) existentes em cada tratamento.

Com o aumento do DPV houve de maneira geral acréscimos nas taxas de (*A*) e na transpiração (*E)*, exceto no ambiente de alta demanda e com alta temperatura, onde as espécies apresentaram leve queda nas taxas de *A* no horário onde o DPV encontrava-se com valores máximos (12 horas), esta queda fora acompanhada de uma diminuição na condutância estomática. Nota-se, a partir da observação do curso diário das curvas de concentração interna de CO_2 que as plantas das três espécies tiveram comportamentos similares, indicando que havia quantidades próximas de substrato no mesofilo em todos os tratamentos.

Figura 8 - Fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de carbono (Ci) e eficiência intrínseca no uso da água CO2 (A/gs) de plantas de *C. citriodora, E. camaldulensis* e *E. cloeziana*, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro – ES, no período de junho a agosto de 2017. Ambientes: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 –*DPV*↑ + *T*↓.



Fonte: a autora.

Deste modo, analisando a curva de *A* ao longo do dia das mudas de *C. citriodora,* verifica-se no período da manhã maiores valores para *A, E* e *gs* nos ambientes de temperaturas mais altas (A2 e A3), sendo que às 12 horas no ambiente alta demanda e alta temperatura ocorreu queda de 30% na *gs* o que ocasionou uma baixa de 4% em *E* e de 29% em *A*. No período da tarde as plantas da espécie tenderam a manter a diminuição concomitante em *A*, *E* e *gs* em todos os ambientes e a semelhança nos valores encontrados para estas variáveis, à tarde, ficou entre os ambientes de demandas semelhantes, com maiores taxas nos ambientes de baixa demanda e menores nos ambientes de alta demanda.

As plantas de *C*. *citriodora* apresentaram um comportamento diferenciado na eficiência intrínseca no uso da água *A*/*gs*. Quando submetidas ao ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3) a eficiência ao longo do dia foi crescente, enquanto que nos demais ambientes as plantas obtiveram menores médias horárias e maiores oscilações no comportamento da eficiência ao longo dia.

Houve semelhança no comportamento fisiológico ao longo dia para as plantas de *E. camaldulensis*, nos quatro ambientes, para as variáveis *A*, *gs* e *E*, (Figura 8) ocorrendo poucas diferenças entre os ambiente nos horários de 4:00 as 8:00 e de 16:00 as 20:00 horas. Houve uma diferenciação maior nas curvas nos horários compreendidos entre 8:00 às 16:00 horas, onde encontra-se médias similares para a ambientes de menor demanda, com valores relativamente superiores aos encontrados nos ambientes de alta demanda. Nestes, as plantas foram mais eficientes em utilizar a água e mantiveram maiores valores ao longo do dia.

Observa-se no curso diário do comportamento fisiológico das plantas de *E. cloeziana*, médias mais altas nas curvas de *A*, *E* e *gs* em ambientes baixa demanda e mais baixas sob alta demanda. Ressalta-se que o comportamento da curva de condutância estomática no ambiente de baixa demanda com alta temperatura destacou-se das demais, onde também houve maiores taxas transpiratórias e fotossintéticas ao longo do dia, porém obtendo menor eficiência intrínseca no uso da água. Maiores eficiências foram encontradas nos tratamentos de alta demanda.

4 DISCUSSÃO

Como observado, as plantas das espécies *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloezina* obtiveram os maiores crescimentos na condição climática de alta demanda com alta temperatura (Figura 5). Neste ambiente, no horário de maior demanda, as três espécies de eucalipto realizaram ajustamento estomático (Figura 8), ocorrendo a diminuição da condutância estomática (*gs*) e queda na taxa de transpiração (*E*), elucidando assim, a existência de mecanismos de aclimatação no sentido de atenuar os efeitos da alta pressão de perda de água das folhas das plantas dessas espécies de eucalipto.

O ajustamento estomático é um mecanismo comumente utilizado pelas plantas para minimizar a perda de água por transpiração (SINCLAIR; HOLBROOK; ZWIENIECKI, 2005; FLETCHER; SINCLAIR; ALLEN JR, 2007; KHOLOVA et al., 2010; ALBUQUERQUE et al., 2013). Esse ajuste é expresso pelo fechamento estomático parcial sob alto DPV, que ocorre comumente em torno do meio dia, resultando em benefícios as plantas. Entre os benefícios estão a diminuição da demanda efetiva para a transpiração, o aumento da eficiência no uso da água disponível (YANG, 2012), a manutenção da turgescência das células para a realização das reações enzimáticas e metabólicas (ALBUQUERQUE et al., 2013) e, por fim, a água é conservada no solo e poderá ser aproveitada na fase de crescimento da planta (YANG, 2012).

Soares e Almeida (2001) estudando híbridos de *E. grandis* também verificaram que estes são capazes de exercer controle estomático quando estão sob pressão para perda de água por transpiração, neste estudo em condições de campo, ao final da estação seca, a transpiração encontrada era cerca de 5 vezes menor do que durante os dias úmidos.

Neste mesmo contexto, Abreu e colaboradores (2015) investigando *C*. *citriodora*, em condições climáticas de alto DPV e deficiência hídrica, notaram que além do controle estomático, para poupar água do solo em condições estresse hídrico, a espécie reduz a transpiração e o crescimento, assim concluíram que a espécie é tolerante à deficiência hídrica no solo, especialmente em condições de alto DPV.

É necessário ponderar que a limitação de água no solo pode restringir a resposta positiva de crescimento, mesmo em plantas submetidas a condições de

DPV ótimo e temperatura ótima para o seu crescimento (PRIOR; BOWMAN, 2014; FERREIRA, 2015). No presente estudo, as plantas de eucalipto não passavam por restrição de água no solo e, deste modo, elas responderam de forma positiva em crescimento quando submetidas a alta demanda atmosférica com alta temperatura.

Otto et al, 2016 estudando o abastecimento de água em plantio clonal de *Eucalyptus*, em Eunápolis na Bahia, concluiu que o eucalipto é responsivo ao abastecimento de água, e a menor sensibilidade da condutância estomática, em relação à variação do DPV, explica o maior acúmulo de biomassa no tratamento irrigado. Colaborando com os resultados encontrados no presente estudo, uma vez que, o maior acúmulo de biomassa nas plantas das três espécies de eucalipto ocorreu quando submetidas ao ambiente de maior DPV (A3), onde na ocorrência de maior DPV houve redução na gs.

A disparidade de crescimento entre os dois ambientes de alta temperatura pode ser justificada pelo fato de que havia, ao longo do dia, uma condutância estomática e uma transpiração significativamente superior no ambiente de baixa demanda, o que pode ter acarretado prejuízos ao crescimento. Segundo Larcher (2000), na ocorrência de estômatos totalmente abertos, a absorção de CO_2 é limitada pela resistência de transferência, sendo que a melhor relação para absorção de CO_2 existe quando os estômatos estão parcialmente fechados. Assim como ocorreu na maior parte do dia no tratamento de alta demanda com alta temperatura (A3), havendo favorecimento da relação de absorção de CO_2 e perda de H_2O, resultando em uma maior fixação de CO_2.

De acordo com Marenco e Lopes (2005) e Marrichi (2009), existe complexidade na interação dos fatores climáticos que influenciam o acúmulo de biomassa em plantas. Analisando os resultados encontrados no presente estudo é notória essa complexidade. Isso porque um maior acúmulo de biomassa esteve vinculado a existência de uma temperatura ótima associada a uma demanda ótima, independendo das taxas fotossínteses apresentadas. Assim, é difícil vincular o DPV ótimo para *E* a uma temperatura ótima para *A* (DUURSMA, 2014).

A inexistência conjunta de um dos fatores climáticos em sua potencialidade foi substancialmente prejudicial ao acúmulo da biomassa. Pode-se constatar tal afirmação quando comparados a massa seca total acumulada pelas plantas dos dois ambientes de alta temperaturas, uma vez que a baixa demanda atmosférica existente em um deles prejudicou o acúmulo. Assim como, quando comparados os

dois ambientes de alta demanda, verifica-se que em baixa temperatura o acúmulo de biomassa foi ainda mais prejudicado e que de forma geral, este foi o ambiente de menor crescimento para todas espécies.

Por vezes, as plantas dos ambientes de baixa temperatura a apresentaram taxas fotossintéticas iguais as das plantas do ambiente de crescimento potencial (alta demanda com alta temperatura), porém este desempenho não resultou em iguais produções de massa seca total. Torna-se necessário, aqui, considerar que o crescimento de uma espécie não é tão somente determinado pela taxa de assimilação liquida de carbono, e sim pela ação conjugada de *A* com outros fatores como a taxa de respiração, a eficiência na translocação de assimilados e a velocidade da carboxilação, ainda que estes processos possuam interação complexa até resultarem em acúmulo de biomassa (MARENCO; LOPES, 2005; MARRICHI, 2009).

Os resultados encontrados no curso diário da eficiência intrínseca no uso da água para *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloezina,* corroboram com os estudos que apontam espécies de eucalipto são eficientes em utilizar a água quando submetidas às altas pressões de perda d'água por transpiração (MARTINS et al., 2007; ABREU et al., 2015).

Contudo, no presente estudo, nem sempre a alta eficiência intrínseca no uso da água apresentada pelas plantas das espécies resultou em alta produção de biomassa. Assim, as plantas submetidas aos ambientes de maiores demandas apresentaram as maiores eficiências, porém estes foram contratantes em produção de biomassa. Neste contexto, White e colaboradores (2014) alertam que promover melhorias apenas na eficiência da água por si só não garante a maior produtividade das culturas, principalmente em casos em que água não for fator limitante. Nestes casos a maioria das vezes a produtividade decaí ao passo que a eficiência aumenta.

Apenas a espécie *C*. *citriodora* apresentou as maiores taxas fotossintéticas nos ambientes de altas temperaturas, mas em alta demanda atmosférica obteve comparativamente o maior crescimento. Assim, é necessário ponderar que apesar destes ambos ambientes realizarem taxas fotossintéticas iguais, no ambiente com alta demanda as plantas possuíam uma área foliar maior em 36%, ou seja, mais unidade foliares realizando o mesmo de fotossíntese. Desta forma a maior produção pode estar conexa à maior área foliar existente (OTTO, 2013) do que ao próprio potencial fotossintético.

No local de origem, a espécie *C*. *citriodora* está sujeita à temperatura média das máximas entre 29 e 35 º C (FERREIRA, 1979), valores estes similares aos tratamentos em que a espécie obteve maiores êxitos no presente estudo. Isto indica uma possível explicação para o baixo desempenho fotossintético e consequente crescimento, os quais ocorreram quando as mudas foram submetidas à ambientes de temperaturas médias máximas inferiores as encontradas no seu habitat natural, como nos ambientes de baixa temperatura.

As plantas das espécies *E*. *camaldulensis* e *E*. c*loeziana* apresentaram, no curso diário, maior transpiração nos ambientes de baixa demanda, assim como Tatagiba et al. (2007), que ao estudar clones de eucalipto encontrou maiores *E* durante a época úmida em relação a época seca.

5 CONCLUSÕES

A alta demanda atmosférica associada a alta temperatura potencializou o crescimento e produção de biomassa das plantas de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloeziana*.

O crescimento das plantas de *C*. *citriodora*, *E*. *camaldulensis* e *E*. *cloeziana* foi afetado negativamente pela baixa temperatura, sendo este um fator limitante.

A ocorrência de menor crescimento no ambiente de alta demanda com baixa temperatura, reafirma a interdependência da temperatura ótima com a demanda ótima, para o crescimento das espécies, bem como aponta para o fato de que o acúmulo de biomassa não é tão somente fruto de altas taxas fotossintéticas.

A alta eficiência intrínseca no uso da água, nem sempre é uma variável adequada para explicar a produção de biomassa em espécies de eucalipto.

As conclusões anteriores evidenciam uma alta complexidade na inter-relação dos fatores climáticos com as variáveis fisiológicas, que culminam no crescimento das plantas de eucalipto.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C. el et al. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 841-852, 2015.

ALBUQUERQUE, M. P. F. et al. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

BACHA, C. J. C.; BARROS A. L. M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.66, p.191-203, 2004.

CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 2, n. 3, p.45-52, 1970.

CARNEIRO, R. L. C. et al. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 1 determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

DUURSMA, R. A. et al. The peaked response of transpiration rate to vapour pressure deficit in field conditions can be explained by the temperature optimum of photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S.l.], v. 189, p. 2-10, 2014.

FERREIRA, E. S. A. **Ecofisiologia de *Millettia stuhlmannii* Taub em diferentes demandas atmosféricas e disponibilidade hídricas no solo**. 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, n. 47, 1979. 10 p.

FLETCHER, A. L.; SINCLAIR, T. R.; ALLEN JR, L. H. Transpiration responses to vapor pressure deficit in well watered ‘slow-wilting’and commercial soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 2, p. 145-151, 2007.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Anuário estatístico do IBÁ 2017 - ano base 2016**. Brasília: IBÁ. 2017. 80 p.

KHOLOVA, Jana et al. Terminal drought-tolerant pearl millet [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] have high leaf ABA and limit transpiration at high vapour pressure deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 5, p. 1431-1440, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal**: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV. 2005. 451p.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de Eucalyptus e seus**

padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MARTINS, F. B.; SILVA, J. C.; STRECK, N. A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 373-381, 2007.

OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, 2013.

OTTO, M. S. G. et al. Impact of water supply on stomatal conductance, light use efficiency and growth of tropical Eucalyptus plantation in Brazil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 3, p. 87-93, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia:** fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of hydrology**, [S.l.], v. 253, n. 1-4, p. 130-147, 2001.

PRIOR L. D.; BOWMAN D. M. J. S. Big eucalypts grow more slowly in a warm climate: evidence of an interaction between tree size and temperature**. Global change biology**, v. 20, n. 9, p. 2793-2799, 2014.

SINCLAIR, T. R.; HOLBROOK, N. M.; ZWIENIECKI, M. A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree physiology**, v. 25, n. 11, p. 1469-1472, 2005.

STAPE, J. L. et al. Water use, water limitation and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation, **Bosque**, Valdivia, v. 25, n. 2, p. 35-41, 2004.

TATAGIBA, S. D. et al. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

TORRES, P. M. A. et al. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, Soropédica, v. 23, n. 1, p. 109-117, 2016.

WHITE, D A. et al. Managing for water-use efficient wood production in Eucalyptus globulus plantations. **Forest ecology and management**, [S.l.], v. 331, p. 272-280, 2014.

YANG, Z. et al. Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 78, p. 157-162, 2012.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO E ACLIMATAÇÃO FISIOLÓGICA DE DOIS MORFOTIPOS DE PAU-BRASIL SOB CONTRASTANTES DEMANDAS ATMOSFÉRICAS

1 INTRODUÇÃO

Pau-brasilia echinata Lam. é uma essência florestal de importância ecológica, comercial e histórica (ZANI, 2014). Devido à sua beleza e raridade é amplamente utilizada na arborização urbana (SOUZA, 1982). Sua madeira apresenta características únicas de ressonância, durabilidade, beleza e densidade, que a tornam ideal para ser empregada na confecção de arcos para instrumentos de corda (ANGYALOSSY; AMANO; ALVES, 2005). A espécie foi amplamente explorada na época da colonização do Brasil, sendo a base da economia do país (JUCHUM et al., 2008). A espécie, nativa da mata atlântica brasileira, encontrava-se distribuído por praticamente toda costa do país, contudo, atualmente está sob ameaçada de extinção (ZANI, 2014).

Indivíduos de uma mesma espécie podem apresentar diferenciação na sua fisiologia, anatomia, morfologia e crescimento, como consequência da interação das condições ambientais com características genéticas intrínsecas a cada espécie e ou indivíduos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Os indivíduos de *Pau-brasilia echinata* Lam. apresentam, entre outras diferenciações, variações no tamanho e na forma dos foliólulos, sendo atualmente apontada, em virtude disso, a existência de três diferentes morfotipos da espécie (LEWIS, 1998; JUCHUM et al., 2008; GAMA, 2017).

O morfotipo mais comum ocorre na costa brasileira, com indivíduos distribuídos do Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro e apresenta, comparativamente, folíolos pequenos; o segundo morfotipo tem folíolos médios e ocorre nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e interior do sul da Bahia; o terceiro morfotipo, por sua vez, tem ocorrência restrita, até o momento, a uma localidade no sul da Bahia e possui folíolos grandes (JUCHUM et al., 2008). Gagnon e colaboradores (2016) apontam a necessidade de análises filogeográficas mais detalhadas, com a finalidade de avaliar se tais morfotipos são realmente apenas variantes morfológicas de uma espécie ou se são espécies distintas que ainda carecem de reconhecimento taxonômico.

O fato das características morfotipicas do pau-brasil variarem conforme a região de ocorrência da espécie pode ser um indício de que tais variações sejam resultado da plasticidade fenotípica da espécie, expressão da interação dos caracteres genotípicos com as condições climáticas características de cada uma

dessas regiões (GAMA, 2013). Assim, infere-se que, os morfotipos da espécie podem apresentar distinção na aclimatação quando submetida a variações das condições ambientais do meio no qual se inserem.

Diante o exposto, a presente pesquisa foi desenvolvida sob a hipótese de que condições climáticas diferentes, notoriamente Déficit de Pressão de Vapor (DPV) e temperatura, propiciam diferenciações fisiológicas e consequente variação no crescimento de plantas jovens dos morfotipos pequeno e médio de *Pau-brasilia echinata* Lam. Nesse sentido, objetivou-se avaliar os efeitos conjugados do DPV e da temperatura no comportamento dos parâmetros de crescimento e fisiológicos em dois morfotipos de pau brasil, visando identificar semelhanças e divergências nos mecanismo de aclimatação fisiologica e no crescimento dos morfotipos, bem como identificar condições climaticas potencias para crecimento de tais. Desta forma, pretende-se gerar informações a cerca da ecofisiologia de *Pau-brasilia echinata* Lam e subsidiar estratégias de manejo e conservação da espécie.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi realizado em casas de vegetação climatizadas, na área experimental do Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal (LMEF) pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro-ES nas coordenadas geográficas 20° 47' 8'' S e 41° 23' 52'' O.

2.2 MATERIAL VEGETATIVO

As mudas de *Paubrasilia echinata* foram doadas pela empresa Vale Brasil. Quando apresentavam cerca de um ano e oito meses de idade foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade de aproximadamente 30 L, preenchidos com substrato comercial. Os vasos apresentavam furos circulares para a drenagem de água. O substrato foi acrescido de 2,5 g/L de adubo de liberação controlada (6 meses), com formulação NPK 15–9–12.

Para garantir a aclimatação e certificar a ocorrência de sucesso do transplantio, as mudas foram mantidas por trinta dias sobre as mesmas condições climáticas, sendo distribuídas nas casas de vegetação e iniciada a imposição dos tratamentos, após este período.

2.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Os dados climáticos foram medidos, ao longo de todo período experimental, utilizando estações meteorológicas automáticas instaladas nas casas de vegetação. Os dados foram armazenados em um *datalogger* (Campbell Scientific Inc, CR-10x) com leituras de dados a cada cinco segundos e armazenamento a cada cinco minutos. As casas de vegetação possuem sistema de climatização automatizada, sendo possível controlar a temperatura do ar (T) e a umidade relativa do ar (UR).

Utilizando os dados de T e UR realizou-se o cálculo do déficit de pressão de vapor do ar (DPV) através diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água (e_s), determinada pela equação de Tetens, e a pressão parcial de vapor (e_a), determinada de acordo com a equação proposta por PEREIRA et al. (2002).

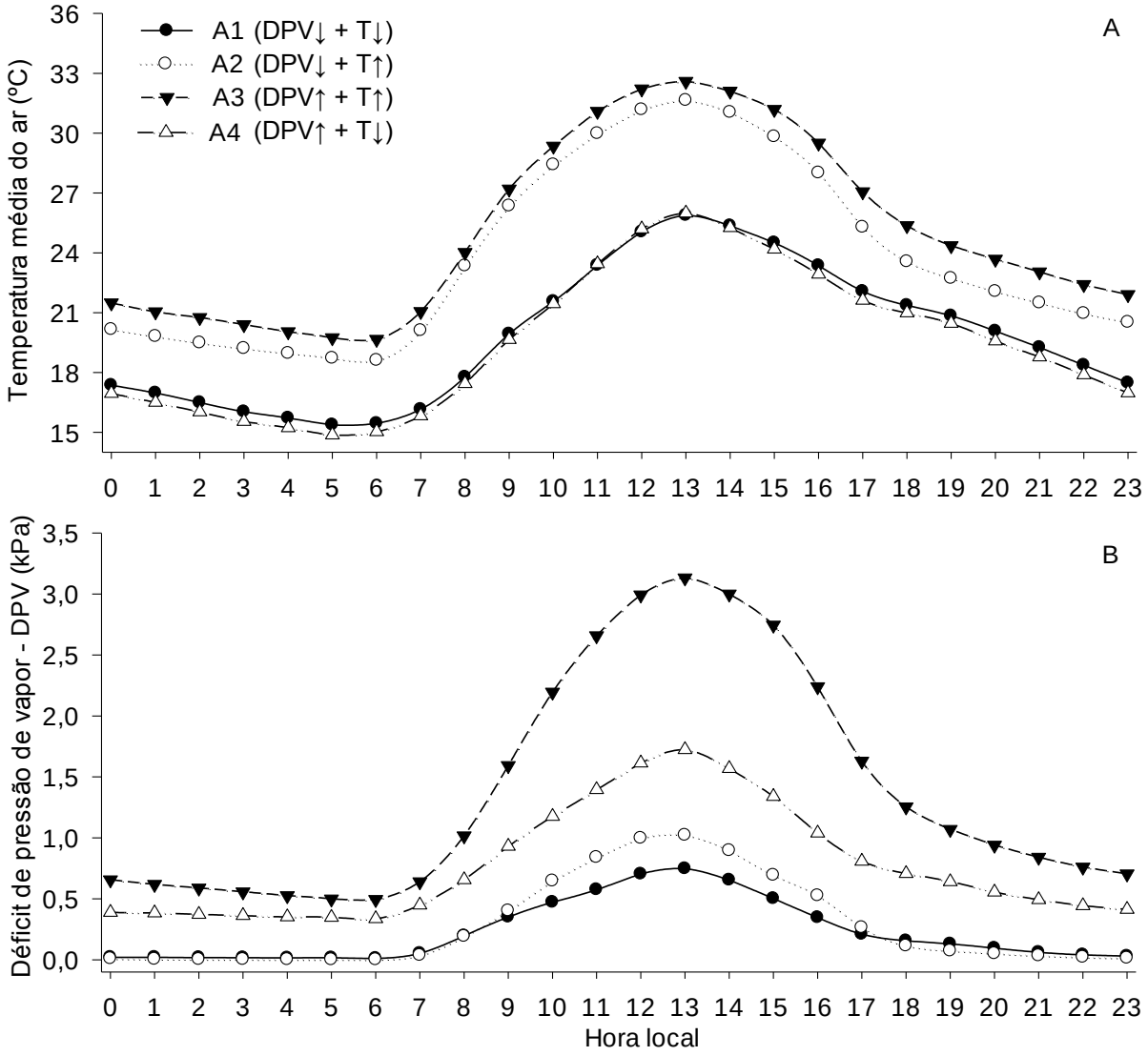
Visando alcançar as temperaturas mais baixas, o sistema de refrigeração das casas de vegetação acionava os aparelhos de ares-condicionados a partir das 18 h, sendo desativados às 7:00h. Com essa programação tinha-se o intuito de simular o curso diário da temperatura de ambientes naturais, onde os ambientes alcançam as temperaturas mais altas durante o dia, com acompanhamento do fotoperíodo local, e as temperaturas mais baixas durante a noite. Os tratamentos foram impostos conforme descritos na Tabela 2 e observados na Figura 10.

Tabela 2 – Caracterização microclimática dos tratamentos aplicados ao longo de 125 dias de experimentação, em casa de vegetação climatizada no município de Jerônimo Monteiro, ES. T_{Med}, T_{Min}, T_{Max} – Temperatura média, mínima e máxima, respectivamente; DPV_{Med}, DPV_{Max} – Déficit de Pressão de Vapor do ar médio e máximo, respectivamente.

Ambiente	Tratamentos	T_{Med} (ºC)	T_{Min} (ºC)	T_{Max} (ºC)	DPV_{Med} (kPa)	DPV_{Max} (kPa)
A1	Baixa demanda atmosférica com baixa temperatura (DPV↓ + T↓)	19,8	15,4	25,9	0,4	0,7
A2	Baixa demanda atmosférica com alta temperatura (DPV↓ + T↑)	23,8	18,6	31,6	0,5	1,0
A3	Alta demanda atmosférica com alta temperatura (DPV↑ + T↑)	25,1	19,7	32,6	2,0	3,1
A4	Alta demanda atmosférica com baixa temperatura (DPV↑ + T↓)	19,5	14,9	26,0	1,1	1,7

Fonte: a autora

Figura 9 – Curso médio diário da temperatura média do ar (A) e déficit de pressão de vapor (B), em quatro casas de vegetação climatizadas, no município de Jerônimo Monteiro - ES, no período de maio a setembro de 2017. Ambiente/Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓.



Fonte: a autora.

2.4 ANÁLISES DE CRESCIMENTO

O crescimento das mudas foi avaliado ao final do período experimental que teve duração de 125 dias, quando então foi realizada a mensuração das variáveis altura, diâmetro, área foliar e a quantificação de massa seca, com quatro repetições por tratamento. Os dados de altura das plantas foram obtidos com auxílio de régua graduada em mm, da base ao ápice das plantas, e o diâmetro do coleto mensurado com auxílio de paquímetro digital.

A área foliar fora determinada utilizando um integrador de área foliar (marca Li-Cor Inc e do modelo LI-3100). Para quantificação da massa seca produzida pelas

plantas, houve coleta da parte aérea e raiz. Em seguida as amostras passaram por secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas até atingir peso constante, quando então pesados em balança analítica para obtenção da massa seca total e das frações. A partir dos dados de área foliar e da massa seca total da planta, foi obtida a razão de área foliar (RAF, $cm^{-2}g^{-1}$), a qual expressa à área foliar útil da planta para a realização da fotossíntese:

$$RAF = \frac{AF}{MST}$$

Em que:

AF = área foliar verde (cm^2);

MST = massa seca total da planta em gramas (g).

A área foliar específica (AFE), que representa a espessura do mesofilo foliar, fora calculada considerando-se a massa foliar e a área foliar, por meio da seguinte equação:

$$AFE = \frac{AF}{MSF}$$

Em que:

AFE = área foliar específica (cm^2g^{-1});

MF = massa de folha (g); e

AF = área foliar (cm^2).

2.5 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

As análises fisiológicas de trocas gasosas foram realizadas em dias de céu limpo, em nove horários pré-determinados ao logo do dia. Para tanto, utilizou-se um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA), modelo Li-6400 da LICOR. As leituras foram realizadas com uma fonte luminosa artificial em intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) de 0, 50, 500, 800, 1000, 800 e 500 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$, para os horários de 4:00, 6:00, 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 respectivamente.

Em todas as leituras a concentração externa de CO_2, foi fixada em 400 ppm e as análises foram realizadas no terceiro ao quarto nó de folhas completamente expandidas. Foram mensuradas cinco plantas por ambiente em cada horário. As leituras ocorreram em folíolos totalmente expandidos do terço apical superior da planta, obtendo-se a taxa de assimilação líquida de CO_2 (*A*), a concentração interna

de Co_2, transpiração (*E*), condutância estomática (g_s) e, através do quociente entre *A*/*gs*, a eficiência intrínseca no uso da água.

2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos (Tabela 2) e quatro unidades amostrais por tratamento. Cada unidade amostral foi constituída de uma planta por vaso. Realizou-se análise de variância (ANOVA), para todas as variáveis de crescimento, utilizando o teste F com nível de significância de até 5% de probabilidade. Quando detectados efeitos significativos para os tratamentos, houve comparação de médias das variáveis de crescimento pelo teste de Student-Newman-Keuls (S-N-K) em nível de 5% de probabilidade. Para as análises estatísticas utilizou-se o software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

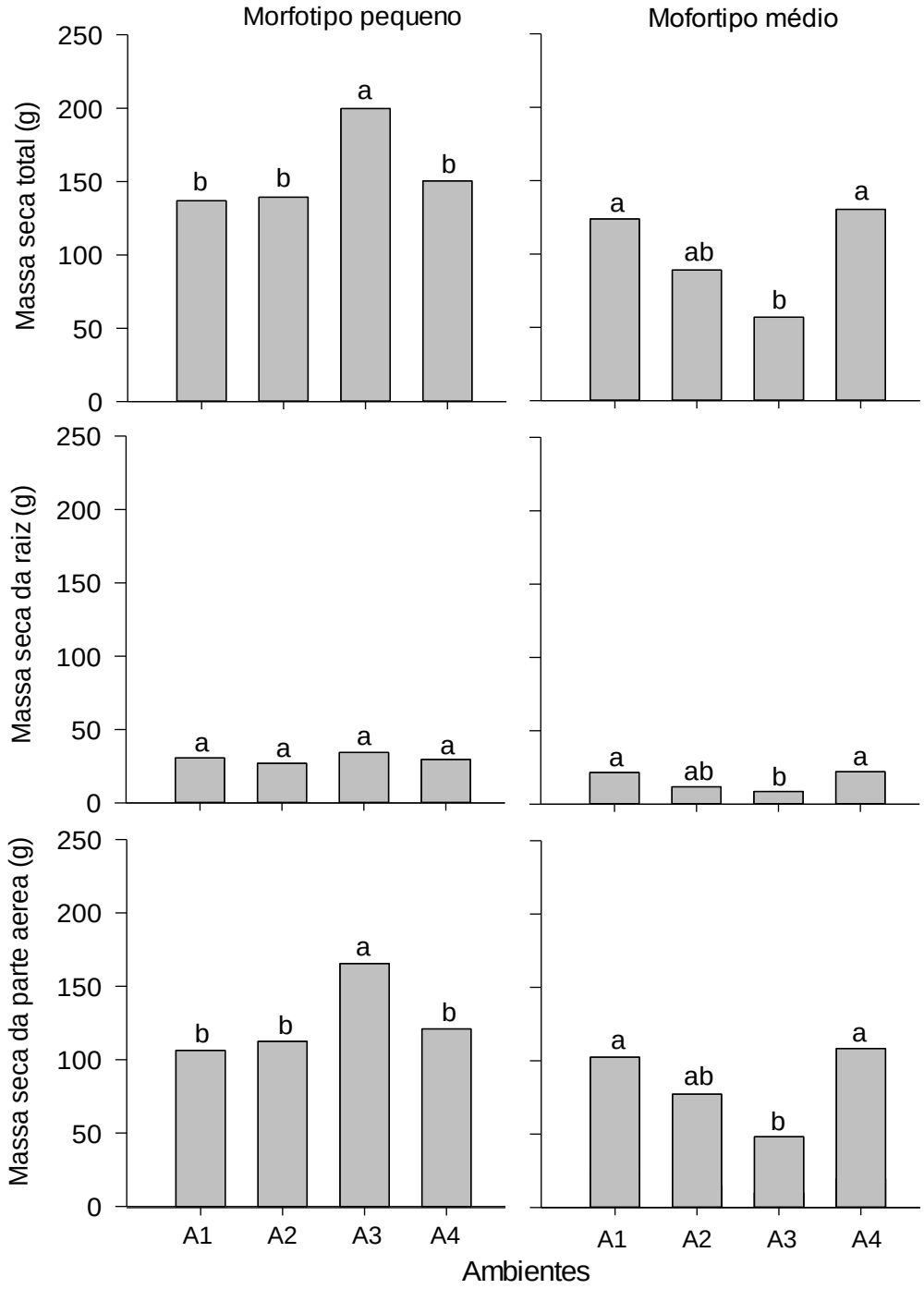
A biomassa é uma relação direta da fotossíntese liquida. Por tanto, a melhor forma de mesurar a quantidade de compostos orgânicos produzidos pela fotossíntese alocados em órgãos estruturais da planta é através da quantificação da biomassa seca (BENINCASA, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2013). Neste sentido, são essências estudos que investiguem e quantifiquem o acúmulo de biomassa em espécies florestais.

As plantas do morfotipo de folíolo pequeno apresentaram o maior acúmulo de massa seca total no ambiente de alta demanda e alta temperatura (A3) (Figura 11). A massa seca da parte aérea foi maior nos ambientes de alta demanda (A3 e A4), entretanto, entre eles, o ambiente de baixa temperatura (A4) também não se diferiu dos ambientes de baixa demanda (A1 e A2), os quais apresentaram os menores acúmulos. Não ocorreram diferenças significativas para o acúmulo de massa seca da raiz das plantas do morfotipo pequeno nos tratamentos aplicados. Espécies florestais arbóreas, como *Millerria stuhlmannii* (FERREIRA, 2015) *Schizolobium amazonicum* (GUIMARÃES, 2015), assim como o morfotipo pequeno de pau-brasil, também apresentaram maiores crescimento quando submetidos a alta demanda atmosférica.

Verifica-se que as plantas do morfotipo médio apresentaram maiores acúmulos de massa seca total (Figura 11), massa seca da raiz e massa da parte aérea nos ambientes de baixa temperatura (A1 e A4). As plantas do ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3) foram as que apresentaram o menor acúmulo de biomassa total. No ambiente de baixa demanda com alta temperatura (A2) as plantas obtiveram acúmulo intermediário e não diferiu dos demais tratamentos.

No presente estudo, foi possível verificar que a produção de biomassa dos morfotipos estudados foi afetada tanto pela demanda atmosférica como pela combinação desta com uma temperatura ótima, que não foi a mesma para ambos os morfotipos.

Figura 10 - Massa seca total, da raiz e da parte aérea de duas variantes de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de maio a setembro de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade.



Fonte: a autora.

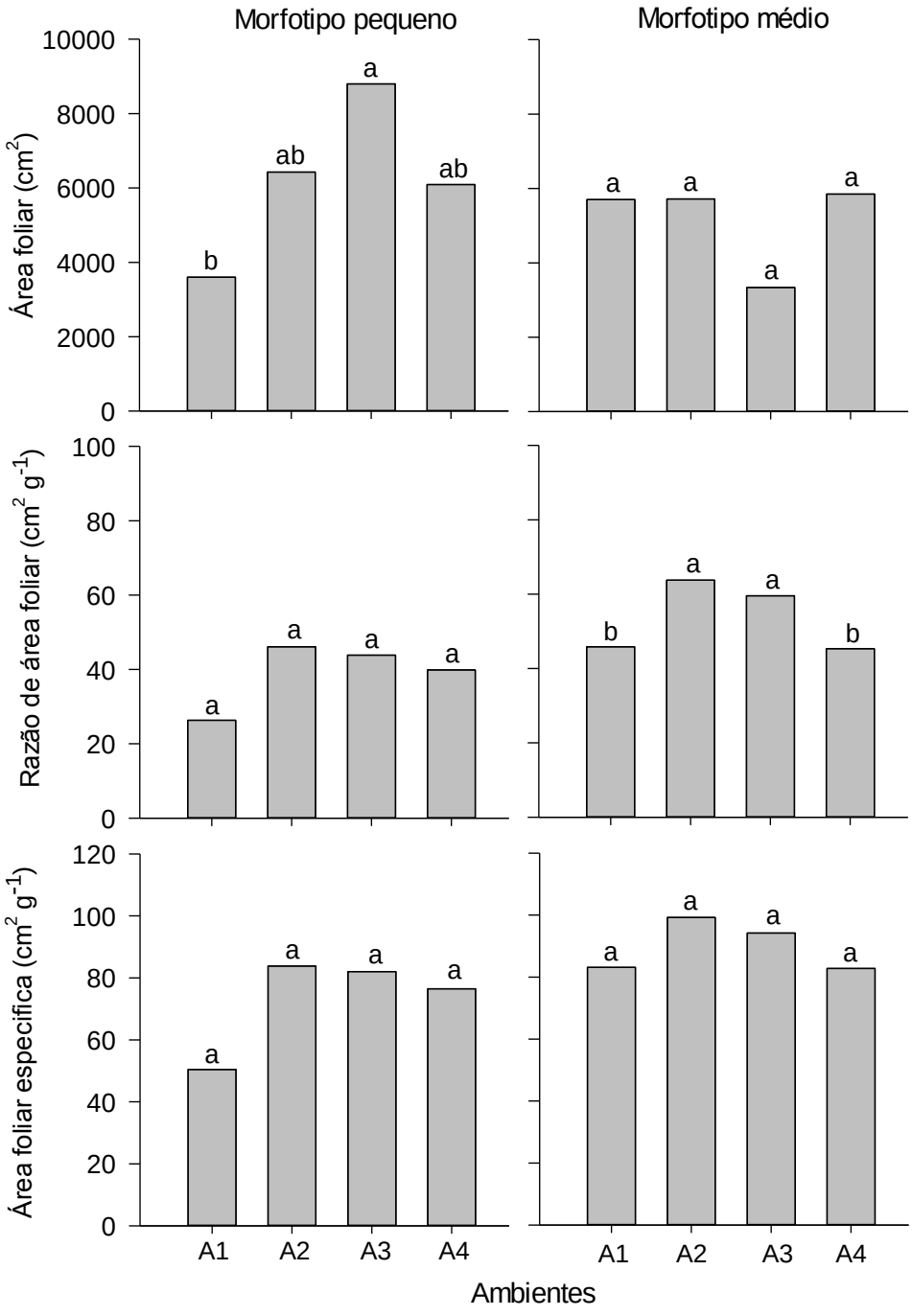
O crescimento em área foliar das plantas do morfotipo pequeno foi maior no ambiente de alta demanda com alta temperatura (Figura 12) e menor no ambiente de baixa demanda com baixa temperatura e os demais ambientes apresentaram área foliar de valor intermediário não diferindo estatisticamente dos ambientes já citados. A razão de área foliar e a área foliar especifica das plantas do morfotipo pequeno foram estatisticamente iguais para as condições climáticas avaliadas.

As plantas do morfotipo médio apresentaram maior razão de área foliar nos ambientes de alta temperatura e menor no ambiente de baixa temperatura (Figura 12). A razão de área foliar é divisão da área responsável pela absorção de luz e CO_2 (área foliar) pela massa seca total (principal resultado da fotossíntese líquida), ou seja, é a área foliar, em cm^2, que é usada para produzir 1g de massa seca.

No contexto anteriormente descrito, a razão de área foliar apresentada pelas plantas do morfotipo médio, quando submetidas aos ambientes de alta temperatura (A2 e A3), demonstra que foi necessária uma maior quantidade de aérea foliar para produzir a mesma quantidade massa seca que nos ambientes de baixa temperatura (A1 e A4). Sendo assim, a planta foi eficiente em utilizar e fixar o CO_2 em ambiente baixa temperatura independente da demanda. Não houve diferença estatística para as variáveis área foliar e área foliar especifica das plantas do morfotipo médio nos tratamentos aplicados (Figura 12).

O comportamento em crescimento das plantas de pau brasil, em ambos os morfotipos, parece refletir as condições preponderantes de seus locais de origem. O morfotipo médio em condições naturais é encontrado no interior do sul da Bahia, Espírito Santo e Rio de janeiro, em florestas mais fechadas onde possivelmente ocorrem menores demandas atmosféricas e temperaturas. Já o morfotipo pequeno ocorre naturalmente em florestas mais abertas ao longo da costa litorânea brasileira, locais de demandas atmosféricas e temperaturas mais altas. Assim, os resultados parecem esta conformidade com o maior crescimento das plantas do morfotipo médio nos dois ambientes de baixa temperatura (A1 e A4) e com o maior crescimento do morfotipo pequeno em alta demanda com alta temperatura (A3).

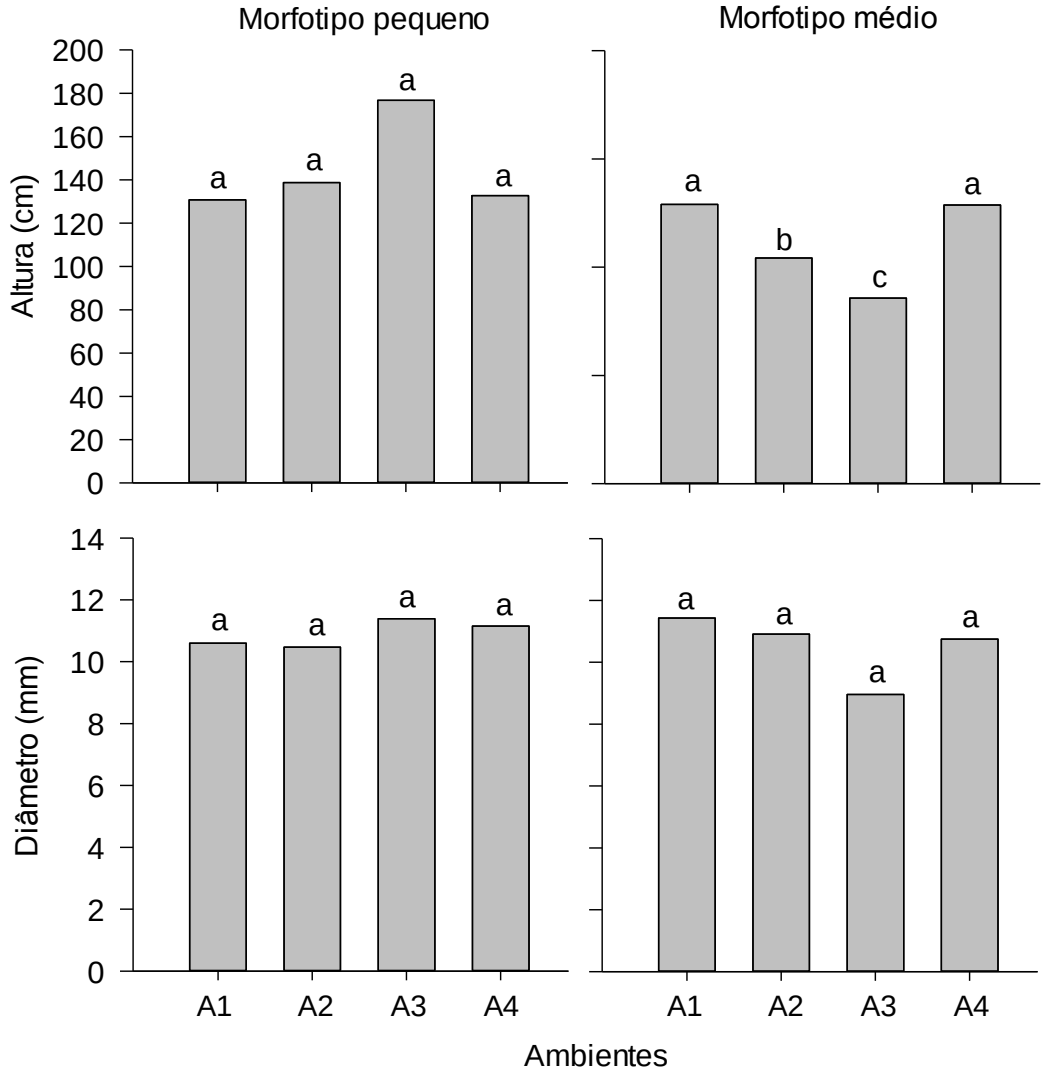
Figura 11 - Área foliar, razão de área foliar e área foliar especifica de duas variantes de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de junho a agosto de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade.



Fonte: a autora.

Não houve diferença no crescimento em altura das plantas do morfotipo do pequeno, o que também ocorreu com crescimento em diâmetro de ambos os morfotipos (Figura 13). As plantas do morfotipo médio apresentaram o menor crescimento em altura no ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3).

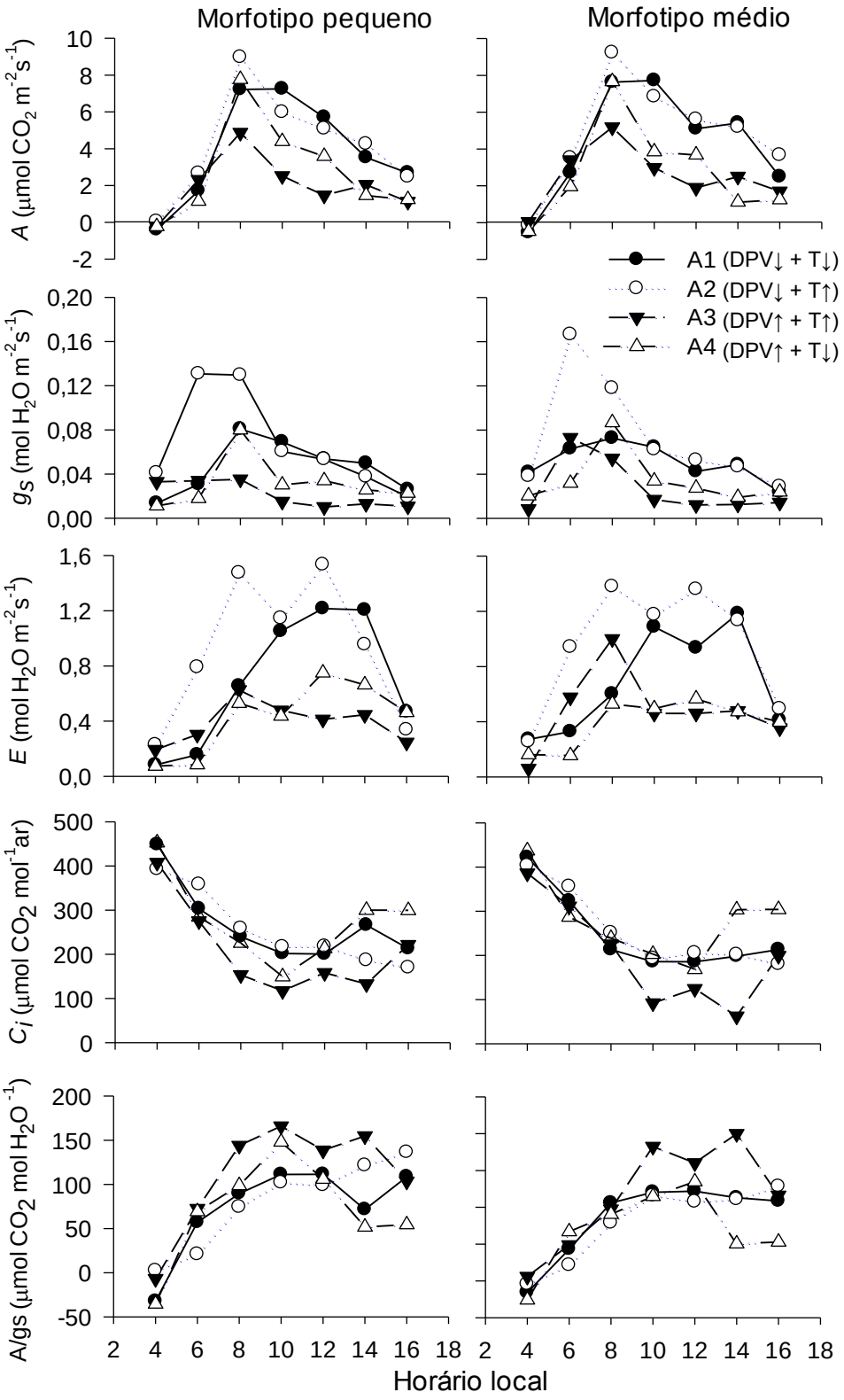
Figura 12 - Altura e diâmetro de dois morfotipos de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas em quatro sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro - ES, no período de maio a setembro de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓. *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK ao nível de 5% *de* probabilidade.



Fonte: a autora.

As maiores taxas fotossintéticas (*A*), em todos os tratamentos e em ambos os morfotipos, ocorreram às 8 horas da manhã, a partir deste horário houve declínio na condutância estomática (*gs*) e na fotossíntese (*A*) (Figura 14).

Figura 13 - Fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca no uso da água CO2 (A/gs) de duas variantes de *Paubrasilia echinata* após 125 dias de experimentação, conduzidas sob quatro condições climáticas, em Jerônimo Monteiro – ES, no período de maio a setembro de 2017. Tratamentos: A1 – DPV↓ + T↓; A2 – DPV↓ + T↑; A3 – DPV↑ + T↑; A4 – DPV↑ + T↓.



Fonte: a autora.

É oportuno observar que a partir das 10 horas da manhã, horário quando a curva do DPV e da temperatura é crescente (Figura 10) em todos os ambientes ocorreu uma queda na gs, sinalizando um fechamento parcial dos estômatos. Esse ajuste estomático ocasionou, de maneira geral, uma redução maior nas taxas fotossintéticas (*A*) do que a transpiração (*E*).

Aumentos na temperatura frequentemente desencadeiam abertura estomática nas plantas (KUDOYAROVA et al., 2011; SADRAS et al., 2012; WAY et al., 2012, MAENPAA et al., 2011), porém, esse efeito é afetado por aumentos no DPV, que tendem a ocasionar o fechamento estomático (MONTEITH, 1995; OREN et al., 1999), o qual é fortemente governado pela temperatura ou DPV. Na medida em que as plantas são submetidas por longos períodos a condições contratantes tanto de temperatura quanto de DPV, pode-se, também, haver influência de processos de aclimatação, que modificam as dinâmicas estomáticas, tornando complexa a compreensão das respostas fisiológicas das plantas às tais variações climáticas e ambientais (MARCHIN, 2016).

As plantas de ambos os morfotipos, quando submetidas aos ambientes de baixa demanda (A1 e A2), apresentaram as maiores gs e, consequentemente, as maiores *A* e *E,* principalmente entre 6 e 10 horas da manhã. O ambiente de baixa demanda com baixa temperatura (A1) propiciou, nas plantas dos dois morfotipos, picos concomitantes de *gs*, *E* e *A*, sendo que após as 10 horas houve uma queda considerável na condutância estomática (gs).

Plantas submetidas a ambientes de baixa demanda estão expostas a um gradiente de perda de água, pela transpiração (*E*), cerca de 50 vezes maior do que o gradiente que promove a absorção de CO_2 (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, nota-se que é de extrema importância a existência de um controle estomático que possua a finalidade de equilibrar a relação de assimilação de CO_2 e a transpiração. Neste sentido, as plantas do morfotipo pequeno submetidas ao ambiente de baixa demanda com alta temperatura, apresentaram, ao logo do dia, baixo ajustamento estomático nas primeiras horas do dia, com alta taxas transpiratórias e tenderam apresentar baixo acúmulo de biomassa.

Quando submetidas ao tratamento de alta demanda com alta temperatura (A3), ocorreram divergências entre os morfotipos quanto ao comportamento das variáveis fisiológicas. É possível observar (Figura 14) que o morfotipo pequeno mantém um alto controle estomático com gs inferior a 0,04 mol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ durante

todo o dia, enquanto o morfotipo médio apresenta valores que chegam a se aproximar de 0,08 mol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ nos horários de 6 às 10 da manhã, somente após estes horários ocorreram diminuição na gs. A maior abertura estomática nas primeiras horas da manhã possibilitou maiores *E* e possivelmente prejudicou a relação entre a transpiração e a absorção de carbono, desencadeando os menores acúmulos de biomassa do morfotipo médio, entre os ambientes.

Assim como foi verificado no presente estudo um mecanismo de ajuste estomático nas plantas do morfotipo pequeno de pau-brasil, sob condição de alta demanda atmosférica, mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*), cultivadas em casa de vegetação sob condições de alta e baixa demanda, também apresentaram ajustamento na gs, através do fechamento dinâmico de estômatos (CARINS MURPHY et al., 2014). O mecanismo foi necessário para manter a homeostase das relações de *A* e *E*, principalmente, quando submetidas à condição de alta demanda atmosférica. Os autores relatam ainda que esperavam, também, diferenciação na densidade estomática para favorecer a maior *E*, porém, concluíram que as plantas de cedro australiano foram incapazes de modificar a quantidade de estômatos para compensar as diferentes demandas atmosféricas.

Sabe-se que a melhor relação para absorção de CO_2 ocorre quando os estômatos estão parcialmente fechados (LARCHER, 2000), assim como ocorreu com o morfotipo pequeno no ambiente de alta demanda com alta temperatura. De forma teórica, a aclimatação estomática, possivelmente leva a uma maior absorção de carbono e a uma competitiva vantagem das espécies. Para as respostas estomáticas ao DPV, manter a homeostase das relações da água pode está em desacordo com a manutenção otimizada das relações de fixação de carbono (MARCHIN, 2016).

As plantas do morfotipo pequeno no ambiente de alta demanda com alta temperatura (A3) apresentaram melhor aclimatação, pois neste ambiente ocorreram as maiores eficiências intrínsecas no uso da água (*A*/*gs*), praticamente ao longo de todo dia. As plantas do morfotipo médio, neste ambiente (A3), foram mais eficientes apenas nos horários entre 10 e 14 horas e, assim, apresentaram o menor acúmulo de massa seca entres os ambientes. Analisando a curva da concentração interna de CO_2 (*Ci*) das plantas das plantas dos morfotipos pequeno e médio no ambiente (A3), nota-se menor quantidade de Ci que nos demais tratamentos, principalmente nos horários de maiores DPV.

Existem estudos que apontam a aclimatação estomática em função do DPV para favorecer as relações de carbono na planta (KUTSCH et al., 2001; HERBST et al., 2008). Outros estudos relatam a aclimatação estomática em função do DPV para priorizar a manutenção das taxas transpiratórias (SERMONS et al., 2012; CARINS MURPHY et al., 2014) e a resposta de aclimatação da fotossíntese e a assimilação de CO_2 é dependente de uma temperatura ótima (SERMONS et al., 2012; DUURSUMA, 2014).

Com a análise dos resultados fisiológicos e crescimento da presente pesquisa, nota-se que uma mesma espécie, a exemplo do ocorrido com os morfotipos pau-brasil, pode usar de ambos os mecanismos de aclimatação quando submetidas a variações ambientais. Tal comportamento possivelmente está correlacionado com o local de origem da procedência e, ou, o conjunto de variáveis climáticas, à exemplo de DPV e temperatura ótimos aos quais a espécie foi submetida.

4 CONCLUSÕES

No ambiente de alta demanda atmosférica com alta temperatura as plantas dos morfotipos pequeno de *Paubrasilia echinata* apresentaram o maior crescimento, neste o morfotipo médio obteve o menor crescimento entre os ambientes.

O morfotipo médio, de *Paubrasilia echinata*, apresentou melhor aclimatação e crescimento nos ambientes de temperatura mais baixas.

A aclimatação da maquinaria fotossintética através do controle estomático foi essencial para garantir o crescimento das plantas do morfotipo médio da espécie *Paubrasilia echinata.*

A aclimatação fisiológica e o crescimento das plantas dos morfotipos de *Paubrasilia echinata* parecem estar conexas com o local de ocorrência natural dos morfotipos, sendo assim deve-se considerar tais condições quando forem introduzidas em campo com a finalidade de conservação e ou produção a procedência do indivíduo que será cultivado.

5 REFERÊNCIAS

ANGYALOSSY, V.; AMANO, E.; ALVES, E. S. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 19, n. 4, p. 819-834, 2005.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

CARINS MURPHY, M. R. et. al. Acclimation to humidity modifies the link between leaf size and the density of veins and stomata. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.], v. 37, n. 1, p. 124-131, 2014.

DUURSMA, R. A. et al. The peaked response of transpiration rate to vapour pressure deficit in field conditions can be explained by the temperature optimum of photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S.l.], v. 189, p. 2-10, 2014.

FERREIRA, E. S. A. **Ecofisiologia de *Millettia stuhlmannii* Taub em diferentes demandas atmosféricas e disponibilidade hídricas no solo**. 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

GAGNON, E. et al. A new generic system for the pantropical Caesalpinia group (Leguminosae). **PhytoKeys**, [S.l.], n. 71, p. 1-160, 2016.

GAMA, V. N. **Análises morfofisiológicas de plantas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) cultivadas em ambientes lumínicos distintos**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

GAMA, V. N. **Caracterização morfofisiológica e bioquímica de três morfotipos de *Paubrasilia echinata* Lam. em resposta à luz**. 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

GUIMARÃES, S. O. **Crescimento de *Schizolobium amazonicum* (huber ex ducke) em diferentes condições de sombreamento e de demanda atmosférica**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

HERBST, Mathias et al. Comparative measurements of transpiration and canopy conductance in two mixed deciduous woodlands differing in structure and species composition. **Tree physiology**, v. 28, n. 6, p. 959-970, 2008.

JUCHUM, F. S.; COSTA, M. A.; AMORIM, A. M.; CORRÊA, R. X. Phylogenetic relationships among morphotypes of Caesalpinia echinata Lam. (Caesalpinioideae: Leguminosae) evidenced by trnL intron sequences. **Naturwissenschaften**, [S.l.], v. 95, n. 11, p.1085-1091, 2008.

KUDOYAROVA, G. et al. Involvement of root ABA and hydraulic conductivity in the control of water relations in wheat plants exposed to increased evaporative demand. **Planta**, [S.l] v. 233, n. 1, p. 87-94, 2011.

KUTSCH, W. L. et al. Stomatal acclimation influences water and carbon fluxes of a beech canopy in northern Germany. **Basic and Applied Ecology**, [S.l] v. 2, n. 3, p. 265-281, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LEWIS, G. P. ***Caesalpinia***, a revision of the *Poincianella-Erythrostemon* group. Richmond, Surrey: Royal Botanic Gardens, Kew, UK. 1998. 233 p.

MÄENPÄÄ, M. et al. Vertical profiles reveal impact of ozone and temperature on carbon assimilation of Betula pendula and Populus tremula. **Tree Physiology**, v. 31, n. 8, p. 808-818, 2011.

MARCHIN, Renée M. et al. Stomatal acclimation to vapour pressure deficit doubles transpiration of small tree seedlings with warming. **Plant, cell & environment**, [S.l.] v. 39, n. 10, p. 2221-2234, 2016.

MONTEITH, J. L. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 357-364, 1995.

OREN, R. et al. Survey and synthesis of intra-and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.] v. 22, n. 12, p. 1515-1526, 1999.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.

SADRAS, V. O. et al. Elevated temperature altered the reaction norms of stomatal conductance in field-grown grapevine. **Agricultural and forest meteorology**, v. 165, p. 35-42, 2012.

SERMONS, S. M. et al. Temperature influences the ability of tall fescue to control transpiration in response to atmospheric vapour pressure deficit. Functional **Plant Biology**, v. 39, n. 12, p. 979-986, 2012.

SOUZA, H. M. **O pau-brasil.** O Estado de São Paulo, n. 1386, p. 6, 12 de fev. 1982. (Suplemento Agrícola).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2013.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, [S.l.], v. 218, n. 1, p. 1-14, 2003.

WAY, D. A. et al. Elevated growth temperatures alter hydraulic characteristics in trembling aspen (Populus tremuloides) seedlings: implications for tree drought tolerance. **Plant, cell & environment**, v. 36, n. 1, p. 103-115, 2013.

ZANI, L. B. Caracterização da ontogenética do pau-brasil. 2014. 75 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.