



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

JOSÉ HAMILTON DE OLIVEIRA BRAGA

**CRESCIMENTO E FOTOSSÍNTESE DE EUCALIPTO: EFEITOS DA
CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO, DEFICIÊNCIA HÍDRICA E
MICROCLIMA**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
JULHO – 2016

JOSÉ HAMILTON DE OLIVEIRA BRAGA

**CRESCIMENTO E FOTOSSÍNTESE DE EUCALIPTO: EFEITOS DA
CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO, DEFICIÊNCIA HÍDRICA E
MICROCLIMA**

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.
Orientador (a): Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
Coorientadores: Dr. Sandro Dan Tatagiba, Dra. Talita Miranda Teixeira Xavier

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

JULHO – 2016

B813c Braga, José Hamilton de Oliveira, 1987-
Crescimento e fotossíntese de eucalipto: efeitos da concentração de CO₂ atmosférico, deficiência hídrica e microclima/ José Hamilton de Oliveira Braga. – 2016.
82 f. : il.

Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane.

Coorientador: Sandro Dan Tatagiba ; Talita Miranda Teixeira Xavier.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Eucalipto. 2. Regime hídrico. 3. Concentração de CO₂. 4. Microclima. 5. Respostas ecofisiológicas. I. Pezzopane, José Eduardo Macedo. II. Tatagiba, Sandro Dan. III. Xavier, Talita Miranda Teixeira. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

**CRESCIMENTO E FOTOSSÍNTESE DE EUCALIPTO: EFEITOS DA
CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO, DEFICIÊNCIA HÍDRICA E
MICROCLIMA**

José Hamilton de Oliveira Braga

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 14 de julho de 2016.



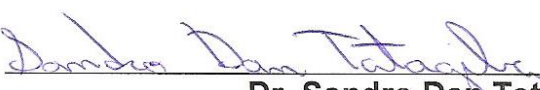
Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

Embrapa
Examinador Externo



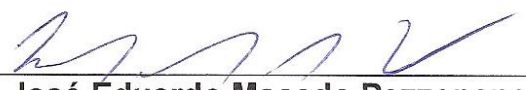
Drª. Talita Miranda Teixeira Xavier

UFES
Examinadora Externa



Dr. Sandro Dan Tatagiba

UFES
Coorientador



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane

UFES
Orientador

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos e minha esposa, que sempre foram os meus pilares de sustentação e nunca me deixaram entristecer ou desanimar

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar disposição e saúde todos os dias para seguir na caminhada.

Aos meus pais Amilca e Salete pela educação e valores.

Aos meus irmãos Mike, Bárbara, Débora, Júnior e Eloá pelo apoio constante.

À minha esposa Síngela pelo amor, carinho, amizade e apoio incondicional.

Aos meus sobrinhos David, Arthur e Ísis (in memorian) pelo amor e carinho.

Aos meus amigos de infância e graduação que sempre me incentivaram.

Ao Professor José Eduardo Macedo Pezzopane pela orientação, amizade e exemplo profissional e moral.

Aos professores Sandro Dan Tatagiba e Talita Miranda Teixeira Xavier pela orientação.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela realização do curso.

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

Às empresas Anglo American e Vale pela infraestrutura e a empresa Suzano Papel e Celulose pela doação das mudas.

Aos meus amigos de laboratório: Elias, Erilva, Jessily, Mariana, Siléia, Sandy, Jonas, André, Rogério, Salim, pelo apoio e força em todos os momentos do curso.

“É graça divina começar bem. Graça maior persistir na caminhada certa. Mas graça das graças é não desistir nunca.”

Dom Hélder Câmara

RESUMO

BRAGA, José Hamilton de Oliveira. **Crescimento e fotossíntese de eucalipto: efeitos da concentração de CO₂ atmosférico, deficiência hídrica e microclima.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane. Coorientadores: Dr. Sandro Dan Tatagiba; Dra. Talita Miranda Teixeira Xavier.

O eucalipto mostra sua importância ao ser a espécie florestal com maior área plantada em todo o território brasileiro, sendo essencial componente econômico para o setor florestal. Além dos benefícios financeiros, sua importância ecológica também é notória, seu plantio faz com que diminua a pressão por produtos madeireiros de florestas nativas. Este estudo buscou avaliar as trocas gasosas e o crescimento de mudas de eucalipto submetidas a combinação de diferentes concentrações de CO₂, disponibilidade hídrica no solo e demandas evaporativas da atmosfera. O estudo foi realizado em casas de vegetação climatizadas, localizadas na área experimental do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, situado no município de Jerônimo Monteiro – ES, nas coordenadas geográficas 20° 47' 22" S e 41° 23' 42" O. Foram dispostas, em cada ambiente, seis OTC's (*open top chambers*), apresentando cada uma, quatro plantas. Os tratamentos foram submetidos a duas demandas evaporativas da atmosfera (baixa e alta demanda atmosférica), duas concentrações de CO₂ (± 450 e ± 850 ppm) e dois manejos hídricos (50% e 100% de água disponível no solo), com seis repetições, em um período experimental de 96 dias. Ao final do experimento, realizou-se análise de crescimento das plantas através da obtenção da massa seca total, área foliar, área foliar específica, particionamento da biomassa, razão de área foliar e eficiência do uso da água de produtividade. O *status* hídrico das plantas, realizado ao final do período experimental, foi obtido a partir da verificação do conteúdo relativo de água nas folhas. A avaliação das trocas gasosas foi realizada a partir dos 88 dias de experimento, com medições às 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 hs para obtenção dos cursos diurno da fotossíntese, condutância estomática e transpiração. Também foram realizadas medições de trocas gasosas para ajuste de curvas $A/FFFA$ e A/C_i , no período de 9:00 às 12:00 hs, para obtenção de parâmetros fotossintéticos e, por fim, a quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos. O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado, utilizando arranjo fatorial 2x2x2. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As mudas de eucalipto apresentaram maior quantidade de massa seca total, eficiência do uso da água de produtividade com o aumento da concentração de CO₂, no microclima sob alta demanda atmosférica e com 100% de água disponível no solo. A fração de massa de raiz obteve maiores valores em altas demandas e com menor disponibilidade hídrica no solo. A fração de massa de parte aérea apresentou maiores valores sob alta demanda e maiores quantidade de água disponível no solo. Os valores de razão de área foliar foram menores sob condições de maior disponibilidade hídrica, alta concentração de CO₂ e microclima de alta demanda atmosférica, denotando que estas condições são as que mais favorecem a produção de massa seca total. O conteúdo relativo de água nas folhas, foi maior em plantas nos tratamentos com 100% de água disponível no solo. O curso diurno de assimilação

líquida de CO₂, obteve maiores valores sob alta demanda, maior nível de água disponível e alta concentração de CO₂. Pode-se observar que o tratamento sob baixa disponibilidade de água no solo em alta demanda, teve maior desempenho no crescimento e nas trocas gasosas, quando sob condições de alta concentração de CO₂, em comparação ao tratamento sob baixa concentração. Os resultados de crescimento e trocas gasosas das mudas submetidas a baixa demanda mostraram-se indiferentes a altas concentrações de CO₂, apresentando diferenças apenas para os diferentes níveis de água no solo.

Palavras chave: Eucalipto, Regime hídrico, concentração de CO₂, microclima, respostas ecofisiológicas

ABSTRACT

BRAGA, José Hamilton de Oliveira. **Growth and photosynthesis of eucalyptus: effects of atmospheric CO₂ concentration, water stress, and microclimates.** 2016. Dissertation (Masters in Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Advisor: Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-advisors: Dr. Sandro Dan Tatagiba; Dra. Talita Miranda Teixeira Xavier.

Eucalyptus shows its importance as being the forest species that covers the greatest areathroughout the Brazilian territory, thus being the essential economic component to the forestry sector. Beyond the financial benefits, its ecological importance is also evident; its cultivation decreases the pressure for timber products from native forests. This study sought to evaluate the gas exchange and growth of eucalyptus seedlings subjected to combinations of different concentrations of CO₂, soil water availability, and evaporative demand of the atmosphere. The study was conducted in air-conditioned greenhouses located in the experimental area of the Department of Forest Sciences and Wood in Agricultural Sciences Center of the Federal University of Espírito Santo, located in the town of Jerônimo Monteiro - ES, with the geographic coordinates 20° 47 ' 22 " S and 41° 23 '42' 'W. In each room, six OTC (open top chambers) were placed, each having four plants. The treatments were submitted to two evaporative demands of the atmosphere (low and high atmospheric demand), two concentrations of CO₂ ($\pm$ 450 and $\pm$ 850 ppm) and two water treatments (50% and 100% of available water in the soil) with six replications during a trial period of 96 days. At the end of the experiment, growth analysis of the plants was carried out by obtaining the total dry mass, leaf area, specific leaf area, biomass partition, leaf area ratio and efficiency of the use of water productivity. The water status of the plant, performed at the end of the experimental period, was obtained from the observation of the relative water content in the leaves. The measurement of gas exchange was performed throughout the 88-day experiment at the times of 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 and 16:00 in order to obtain the diurnal courses of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. Also measurements of gas exchange were made for curve fitting A/FPAP and A/C for the time period of 9:00 to 12:00 to obtain photosynthetic parameters and eventually the quantification of the levels of photosynthetic pigments. The experiment was conducted using a completely randomized design using a factorial arrangement of 2x2x2. The data was submitted to an analysis of variance, and, when significant, the means were compared by the Tukey test at 5% probability. The three treatments of higher concentrations of CO₂, high atmospheric demand, and 100% of available water all contributed to the eucalyptus seedlings having higher amounts of total dry mass and efficiency of water usage. The root mass fraction had higher values at high atmospheric demands and less soil water availability. The shoot mass fraction values were higher under high atmospheric demand and higher amount of water available in the soil. The leaf area ratio values were lower under conditions of greater water availability, high CO₂ concentration, and microclimates of high atmospheric demand, indicating that these conditions are the ones that most favor the production of total dry mass. The relative water content in leaves was higher in plants in treatments with 100% water availablility in the soil. The diurnal courses of net CO₂ assimilation had higher values in high atmospheric demands, greater water levels of water availabiity, and

higher concentrations of CO₂. It can be observed that treatments of low water availability in the soil in high atmospheric demands had greater growth performance and gas exchange while under conditions of high CO₂ concentration, compared to treatments of low atmospheric concentrations of CO₂. The outcomes of growth and gas exchange of the plants subjected to low atmospheric demand proved indifferent to higher concentrations of CO₂, showing differences only to the different water levels in the soil.

Keywords: Eucalyptus, water regime, CO₂ concentration, microclimate, ecophysiological responses

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa de vegetação do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	31
Figura 2 – Exaustores (A) e cortinas de umidificação da casa de vegetação (B), no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	32
Figura 3 – Sensores de temperatura e umidade relativa (A) e estação meteorológica (B) da casa de vegetação, no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	33
Figura 4 – Curso médio diário da temperatura do ar (A) e do déficit de pressão de vapor (B) das duas casas de vegetação climatizadas simulando um microclima com baixa e alta demanda atmosférica no período de 6 de maio a 10 de agosto de 2015 no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	34
Figura 5 – Esquema geral do sistema de câmaras de topo aberto (A) para exposição das mudas de eucalipto a diferentes concentrações de CO ₂ . 1- Cilindro de CO ₂ ; 2- Regulador de CO ₂ ; 3- mangueira pneumática; 4- exaustor funcionando como ventilador; 5- câmara de homogeneização; 6- peça inferior da câmara com duplo revestimento; 7- peça superior da câmara (móvel). Fonte: Adaptada de Ghini (2005); Detalhe do revestimento duplo na peça inferior da OTC (B), responsável pela injeção de CO ₂ no interior da OTC.....	35
Figura 6 – Disposição das OTC's no interior da casa de vegetação do DCFM da UFES no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	36
Figura 7 – Monitoramento da concentração de CO ₂ com o analisador portátil. (B) Detalhe do analisador portátil em uso (B).....	36
Figura 8 – Médias diárias das concentrações de CO ₂ no interior das câmaras de topo aberto utilizadas no experimento no período de maio a agosto de 2015, em duas demandas evaporativas da atmosfera no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	37
Figura 9 – Medidor de área foliar de bancada modelo LI -3100 (Li-COR, Reino Unido).....	39
Figura 10 – Coleta de dados com o analisador de gases por infravermelho (Li-Cor, modelo Li 6400).....	40

- Figura 11 – Massa seca total (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....45
- Figura 12 – Área foliar (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....46
- Figura 13 – Área foliar específica (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....46
- Figura 14 – Fração de massa foliar (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....47
- Figura 15 – Fração de massa radicular (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....48
- Figura 16 – Fração de massa de parte aérea (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa

demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....48

Figura 17 – Valores médios (n=4) de partição de biomassa de matéria seca de folha (MF), matéria seca de hastes e ramos (MHR) e matéria seca de raiz (MR) para o eucalipto submetido a diferentes microclimas, concentrações de CO₂ e regimes hídricos, com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....49

Figura 18 – Eficiência do uso da água de produtividade (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....50

Figura 19 – Razão de área foliar (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....51

Figura 20 – Conteúdo relativo de água (CRA) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....53

Figura 21 – Valores médio (n=4) do curso diurno de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) para o eucalipto submetido a diferentes microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e regimes hídricos (50% e 100% de AD), com 94 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....54

- Figura 22 – Curvas de assimilação líquida de CO₂ em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos para clone de eucalipto submetido a diferentes microclimas, concentrações de CO₂ e regimes hídricos: A- Com alta demanda atmosférica. B- Com baixa demanda atmosférica, com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....55
- Figura 23 – Taxa fotossintética líquida máxima saturante (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....56
- Figura 24 – Ponto de compensação de luz (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....57
- Figura 25 – Ponto de saturação de luz (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....58
- Figura 26 – Eficiência quântica (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....59
- Figura 27 – Convexidade da curva de luz (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450

ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....60

Figura 28 – Taxa máxima de assimilação do carbono (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....61

Figura 29 – Velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....62

Figura 30 – Taxa máxima de transporte de elétrons para a regeneração da Rubisco (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....62

Figura 31 – Ponto de compensação por CO₂ (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....63

Figura 32 – Ponto de saturação por CO₂ (n=3) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450

ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....64

Figura 33 – Curvas de assimilação líquida de CO₂ em função da concentração interna de CO₂ para o eucalipto submetido a diferentes microclimas, concentrações de CO₂ e regimes hídricos: A- Com alta demanda atmosférica. B- Com baixa demanda atmosférica, com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....64

Figura 34 – Clorofilas totais (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 90 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....65

Figura 35 – Carotenóides (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 90 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....66

Figura 36 – Razão clorofila a/b (n=4) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 90 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química e física do substrato utilizado no experimento.....	32
Tabela 2 – Temperatura máxima, média e mínima e déficit de pressão de vapor nos microclimas simulados com baixa e alta demanda atmosférica, durante o período de maio a agosto de 2015 na casa de vegetação no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	34
Tabela 3 – Efeito dos fatores Microclima (n=2), concentração de CO ₂ (n=2) e regime hídrico (n=2) e as interações entre esses fatores, explicado pela proporção de variância nas variáveis morfológicas: massa seca total (MST), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), fração de massa foliar (FMF), fração de massa radicular (FMR), fração de massa da parte aérea (FMPA), eficiência do uso da água de produtividade (EUAp) e razão de área foliar (RAF), de clones de eucalipto, de acordo com análise variância (ANOVA), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.....	44
Tabela 4 – Efeito dos fatores: microclima (n=2), concentração de CO ₂ (n=2) e regime hídrico (n=2) e as interações entre esses fatores, explicado pela proporção de variância nas variáveis fisiológicas do conteúdo relativo de água (CRA), Taxa fotossintética líquida máxima saturante (Amaxsat), ponto de compensação de luz (PCL), ponto de saturação de luz (PSL), eficiência quântica (ϕ); convexidade da curva (Θ), taxa máxima de assimilação de carbono (Amax), velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (Vmax), taxa máxima de transporte de elétrons para a regeneração da rubisco (Jmax), ponto de compensação por CO ₂ (PC), ponto de saturação por CO ₂ (Psat), clorofila a+b (Cl a+b), carotenóides (Car) e clorofila a/b (Cl a/b) de clones de eucalipto, de acordo com análise variância (ANOVA), no período de maio a agosto de 2015 no município de Jerônimo Monteiro, ES.....	52

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[CO ₂]	Concentração de CO ₂
A	Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² .s ⁻¹)
A/Ci	Curvas de assimilação líquida de CO ₂ em função da concentração interna de CO ₂ .
A/FFFA	Curvas de assimilação de CO ₂ em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.
AD	Água disponível
AF	Área foliar (cm ²)
AFE	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
Amax	Taxa máxima de assimilação de carbono (μmol CO ₂ m ⁻² .s ⁻¹)
Amax _{sat}	Taxa fotossintética líquida máxima saturante (μmol CO ₂ m ⁻² .s ⁻¹)
ANOVA	Análise variância
Cart	Carotenóides (g Kg ⁻¹ MF)
CC	Capacidade de campo
Ci	Fração molar de CO ₂ intercelular (μmol.mol ⁻¹)
Chl a/b	Clorofila a/b
Chl a+b	Conteúdo total de clorofilas (g Kg ⁻¹ MF)
CRA	Conteúdo relativo de água (%)
DPV	Déficit de pressão de vapor (Kpa)
E	Taxa transpiratória (μmol H ₂ O m ⁻² .s ⁻¹)
EUAp	Eficiência do uso da água de produtividade (g.l ⁻¹)
F	Folha
FFFA	Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (μmol.m ⁻² .s ⁻¹)
FMF	Fração de massa foliar
FMPA	Fração de Massa da Parte Aérea
FMR	Fração de Massa Radicular
GS	Condutância estomática (μmol H ₂ O m ⁻² .s ⁻¹)
HR	Hastes e ramos
IPCC	Intergovernmental panel on climate change

IRGA	Infrared gas analyzer
Jmax	Taxa Máxima de Transporte de Elétrons para a Regeneração da rubisco ($\mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
MF	Massa de folha (g)
MFr	Massa fresca (g)
MHR	Massa de hastes e ramos (g)
MO	Massa do órgão (g)
MR	Massa de raiz (g)
MS	Massa seca (g)
MST	Massa seca total (g)
MT	Massa túrgida (g)
θ	Convexidade da curva
OTC	Open top chamber.
ϕ	Eficiência quântica ($\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$)
PC	Ponto de compensação por CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
PCL	Ponto de compensação de luz ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
PMP	Ponto de murcha permanente
Psat	Ponto de saturação por CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
PSL	Ponto de saturação de luz ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
R	Ramos
RAF	Razão de área foliar ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)
Rubisco	Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenase
Vmax	Velocidade máxima de carboxilação da rubisco ($\mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
2. REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 ESPÉCIE DE ESTUDO	24
2.2 MUDANÇAS NO CLIMA	25
2.3 RESPOSTAS DAS PLANTAS AO DÉFICIT HÍDRICO	27
2.4 PLANTAS SOB ELEVADAS CONCENTRAÇÕES DE CO ₂	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 LOCAL DE ESTUDO, MATERIAL VEGETAL E SUBSTRATO	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA	33
3.3 CÂMARAS DE TOPO ABERTO (<i>Open top chambers</i>)	35
3.4 NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO	37
3.5 ANÁLISE DE CRESCIMENTO	38
3.6 AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA	39
3.7 AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS	40
3.8 DETERMINAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	42
3.9 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	43
4. RESULTADOS	44
4.1 CRESCIMENTO	44
4.2 ANÁLISES FISIOLÓGICAS	51
4.2.1 AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA NA FOLHA	53
4.2.2 CURSOS DIURNOS DAS TROCAS GASOSAS	53
4.2.3 CURVAS DE RESPOSTA À LUZ	55
4.2.4 CURVAS DE RESPOSTA AO CO ₂	60
4.2.5 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	65
5. DISCUSSÃO	67
6. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	76

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é nativo da Austrália e das ilhas circunvizinhas (MORAES, 2009). Possui como característica, uma relevante variedade de formas e grande diversidade de espécies que se adaptam a vários ambientes. O gênero chegou no país por volta de 1904 em plantios realizados pelo engenheiro Navarro de Andrade em São Paulo, visando a produção de dormentes, postes e lenha para locomotivas das estradas de ferro paulistas (WILCKEN et al., 2008).

Os plantios de eucalipto têm grande relevância comercial, correspondendo ao total de 5,56 milhões de hectares, com 1,7% de crescimento econômico no setor em 2014. A importância ambiental destes plantios também é equivalente, pois estima-se que em 2014, aproximadamente 1,21 bilhões de toneladas de CO₂ tenham sido mantidos nestes plantios. Portanto, cada produto originário de árvores plantadas pode reduzir emissões associadas ao uso de produtos oriundo de matérias-primas fósseis ou não renováveis (IBÁ, 2015).

A produção dos cultivos de eucalipto frente às mudanças climáticas, ainda é incerta. Estudos do clima referentes às previsões futuras, conduzidos em diferentes concentrações de gases de efeito estufa, apresentam substanciais variações sobre a temperatura do ar, ciclo hidrológico e circulação atmosférica (CARDOSO; JUSTINO, 2014). Recentes estudos confirmam a situação de aquecimento global provavelmente relacionada ao aumento dos gases do efeito estufa, que pode causar, dentre outros fatores, o aumento de períodos de estiagem (IPCC, 2014), afetando consideravelmente a sobrevivência de plantas e comprometendo sua produção. Além de afetar significativamente a produtividade, as mudanças climáticas poderão causar alterações expressivas na ocorrência e na severidade de doenças que afetam plantas (GHINI, 2011).

Ambientes com altas demandas atmosféricas, condição climática proporcionada pela combinação de elevada temperatura e baixa umidade relativa do ar, quando associados a altos níveis de radiação favorecem a dessecação do solo afetando o comportamento de plantas pelo déficit hídrico (LARCHER, 2000). Estas condições têm sido observadas em maior intensidade em algumas regiões do Brasil, causando a morte de plantas e diminuindo a renda de empresas e produtores no setor silvicultural.

A falta de condições climáticas favoráveis, pode fazer com que os plantios de eucalipto não consigam se desenvolver e alcançar a produtividade necessária para alimentar a indústria. Estudos utilizando modelos de crescimento, considerando apenas temperatura e precipitação, detectaram possíveis prejuízos futuros, onde a redução na produção de eucalipto poderia chegar até 40% nos piores cenários (BAESSO; RIBEIRO; SILVA, 2010). No entanto, quando Baesso (2011), considerou o aumento da concentração de CO₂, além de temperatura e precipitação como componentes de mudanças climáticas, observou uma tendência de aumento no incremento médio anual de biomassa pelo aumento na eficiência quântica do dossel devido ao aumento de CO₂ atmosférico e quedas nos valores de condutância estomática e transpiração.

Aspectos relacionados as mudanças climáticas, como elevação do CO₂ e redução do nível de água no solo, já foram estudados de forma combinada e mostraram que variáveis importantes do eucalipto, como nas taxas fotossintéticas, massa seca total, área foliar e área foliar específica, passam por mudanças importantes e influenciam na produtividade do eucalipto (RODEN; BALL, 1996).

As mudanças climáticas globais podem interferir na sobrevivência e desenvolvimento de espécies vegetais (GRANDIS; GODOI; BUCKERIDGE, 2010), causando perdas econômicas e desabastecimento dos produtos florestais, podendo se intensificar ainda mais caso medidas mitigatórias não sejam tomadas. Em face deste fato, é relevante o conhecimento do comportamento das plantas em um novo cenário que se apresenta, em especial o cultivo de eucalipto, espécie que predominantemente detém a maior área de floresta plantada no Brasil.

Diante do exposto, este trabalho buscou estudar o impacto da combinação de diferentes concentrações de CO₂ e disponibilidade hídrica no solo em diferentes demandas evaporativas da atmosfera no crescimento e fotossíntese do eucalipto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESPÉCIE DE ESTUDO

O eucalipto pertence à divisão *Angiospermae*, classe *Dicotyledonea*, ordem *Myrtales*, família *Myrtaceae* e gênero *Eucalyptus*. Possui aproximadamente 700 espécies, quase todas nativas da Oceania, sendo que entre as espécies comerciais mais importantes, apenas quatro são de ocorrência natural fora da Austrália (BOOTH, 2013; FONSECA et al., 2010).

As espécies do gênero *Eucalyptus* se destacam dentre as inúmeras espécies arbóreas existentes, entre outros fatores, devido as características de rápido crescimento, alta produtividade, boa adaptabilidade as condições de solo e clima, o que propicia ciclos de corte relativamente curtos quando comparados com espécies florestais nativas, além de possuir uma ampla diversidade de espécies e por ter aplicação para diferentes finalidades. Por estas razões, as espécies desse gênero têm sido extensivamente utilizadas em plantios florestais (BARRETO et al., 2007; MORA; GARCIA, 2000).

Por possuir flexibilidade de usos, o eucalipto tornou-se uma interessante alternativa de fonte de madeira para produção de energia, postes e mourões, construção civil, chapas de fibras, papel e celulose, dentre vários outros produtos. Quanto ao uso não-madeireiro, o eucalipto pode ser utilizado para extração de óleos essenciais, produção de mel, quebra-ventos em lavouras e outros (WILCKEN et al., 2008).

As florestas brasileiras de eucalipto figuram entre as mais produtivas do mundo, principalmente devido às condições ambientais favoráveis do país, combinadas à evolução das práticas silviculturais, manejo e melhoramento genético (TONINI; SCHNEIDER; FINGER, 2004). Um exemplo desta alta produtividade das florestas plantadas brasileiras é que apesar do Brasil ter apenas 2,8% de toda área de floresta plantada do globo, ainda assim, é responsável por contribuir anualmente com 17% de toda a madeira colhida em florestas plantadas no mundo (IBÁ, 2015).

As condições climáticas favoráveis para clones comerciais do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, foram testadas por Tatagiba et al., (2016), onde verificaram que extremas demandas evaporativas da atmosfera, não favorecem as variáveis de crescimento, sendo que o clone em condições intermediárias de

temperatura e DPV, permitiram melhor desempenho de massa seca total, área foliar, parte aérea e raiz.

Para clones deste mesmo híbrido, Xavier et al., (2013), constataram que condições climáticas amenas não são as ideais para o crescimento potencial nem mesmo em condições de boa disponibilidade hídrica no solo, enquanto condições de clima mais quente favoreceu a produção de massa seca total. Neste estudo, o autor comprova que níveis crescentes de déficit hídrico, reduz a produção de biomassa, ainda que essa gradual deficiência não apresente um padrão no crescimento dos clones.

2.2 MUDANÇAS NO CLIMA

A presença de gases na atmosfera, como o vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) causam um fenômeno natural conhecido como efeito estufa, processo responsável pela existência e manutenção da vida no planeta. A elevada concentração de alguns desses gases provenientes de atividades naturais e antrópicas, podem causar mudanças no clima, levando a previsões que vão desde o aumento significativo da temperatura média global, e da frequência de ocorrência de eventos climáticos extremos e mudanças nos padrões pluviométricos (IPCC, 2014).

Embora possa haver uma relação entre o aumento da concentração de CO_2 e o aumento da temperatura global, a inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO_2 atmosférico nas plantas, e do efeito de comportamento das plantas no clima futuro, são tratados como fontes de incerteza na modelagem do clima a fim de obter projeções climáticas futuras (MARENGO, 2006).

Em um cenário de mudanças climáticas, o que se infere por meio de modelos, é que estas mudanças possam proporcionar regimes pluviométricos diferenciados dos até então conhecidos, com isso a sobrevivência de plantas poderá ser afetada. As interligações entre os diferentes climas globais, indicam que possivelmente nenhuma região do planeta seja poupada das consequências do aquecimento global, provavelmente causada por fontes naturais ou antrópicas, mesmo as áreas localizadas relativamente afastadas dos principais centros econômicos e industriais (IORIS; IRIGARAY; GIRARD, 2014), atingindo, portanto, zonas rurais onde se concentram as áreas de cultivo.

O crescimento sem precedentes da concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2), do valor de $280 \mu\text{mol.mol}^{-1}$ na era pré-industrial para os atuais níveis de $404 \mu\text{mol.mol}^{-1}$, observados atualmente (National Ocean and Atmospheric Administration - Earth System Research Laboratory – NOAA-ESRL, 2016), pode ser considerado como uma das principais causas para as alterações do clima (KUMAR et al., 2014).

Os relatórios do IPCC apontam para uma situação preocupante quanto ao aumento da temperatura no planeta. O consenso, entre a maioria dos estudos realizados nesta área, é que a temperatura global deverá aumentar, em magnitudes diferentes em diversos locais do planeta (PINTO, 2009). Projeções de modelos climáticos indicam, em alguns modelos, que nos próximos 100 anos o aumento da temperatura média poderá estar entre $2,6^\circ\text{C}$ e $4,8^\circ\text{C}$, dependendo da região, em comparação com a média dos anos de 1986 a 2005 (IPCC, 2014).

Períodos prolongados de déficit hídrico podem ser letais para muitas espécies vegetais. Em todo planeta, aproximadamente um terço da área compreendida nos continentes apresenta deficiência hídrica por falta de precipitação, sendo que metade dessa área (quase 12% da área continental) é tão seca que a precipitação anual média não chega a 250 mm por ano, representando um quarto da evaporação potencial destes locais (LARCHER, 2000). O resultado da baixa precipitação, combinado a alta evaporação, resulta em climas áridos, oposto ao clima úmido em que a precipitação supera a evaporação (THORNTHWAITE, 1948 citado por LARCHER, 2000). Embora haja o aumento da intensidade de precipitação nas previsões em algumas regiões, a tendência é que os períodos sem chuvas e a quantidade de áreas com climas áridos no planeta, do mesmo modo, aumentem (IPCC, 2014), agravando o fator disponibilidade hídrica para plantas.

A combinação do aumento da temperatura global com períodos prolongados de falta de chuva em determinadas áreas pode promover ambientes de alta demanda atmosférica com altas taxa de déficit de pressão de vapor (DPV). O fechamento estomático nas plantas, em algumas situações, derivado da elevação do DPV, o tornam um dos principais fatores de influência na fotossíntese (MARRICHI, 2009).

A diminuição da condutância estomática, por elevação do DPV, causa uma consequente diminuição das trocas gasosas e pode ser observado em eucalipto (MACFARLANE; WHITE; ADAMS, 2004; NGUGI et al., 2004). Contudo, o fechamento

estomático em resposta a elevação do DPV, é importante para que a planta possa evitar a perda de água por transpiração, no entanto, isto ocorre em detrimento do crescimento (ALMEIDA, 2003).

Roden e Ball (1996), afirmam que a resposta ecofisiológica de uma espécie a efeitos combinados de fatores como disponibilidade hídrica, concentração de CO₂, temperatura e outros, depende da gravidade do estresse e da sensibilidade da espécie.

2.3 RESPOSTAS DAS PLANTAS AO DÉFICIT HÍDRICO

A manutenção da integridade funcional de moléculas biológicas, células, tecidos e organismos, dependem de recursos fundamentais, que podem ou não estar disponíveis no ambiente. Dentre os mais importantes, a água pode ser citada como um dos principais recursos (MARENCO; LOPES, 2005). A relevância da água vai além da sobrevivência de vegetais, ela pode ser um dos recursos mais necessários para o crescimento da planta e o mais limitante para a produtividade, principalmente durante o período inicial de desenvolvimento. Essa importância ocorre pelo seu uso ser essencial a processos metabólicos, como o transporte de fotoassimilados na planta, na fotólise na fase fotoquímica da fotossíntese, no processo transpiratório, entre outros (FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015)

Ecologicamente, a água é de importância vital, sendo assim como a temperatura, é fator determinante para a distribuição e a diversidade de espécies de plantas nas superfícies do globo (MARENCO; LOPES, 2005). Portanto, o quanto uma planta tem o crescimento limitado em seu habitat devido às condições de deficiência hídrica, depende da sua capacidade de resistência a falta de água, e das condições preponderantes no habitat (LARCHER, 2000).

A deficiência hídrica pode causar alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares em plantas, como queda nas taxas de assimilação líquida de CO₂, maiores valores abscisão, senescência foliar e fotorrespiração, sendo que a magnitude das alterações dependerá da intensidade do déficit. Isto levará primeiro a um estado de aclimação e, mais tarde, com a intensificação do estresse, a danos funcionais e perda de produtividade. Sob condições de déficit hídrico, ocorre à perda de turgescência, e embora a planta realize o ajuste osmótico, ainda assim a mesma pode sofrer uma redução do potencial hídrico na folha e consequentemente levando

ao fechamento dos estômatos. Dessa forma, poderá haver limitação das trocas gasosas com a redução da transpiração e da fotossíntese, podendo ocasionar a interrupção do crescimento dos tecidos (BEDON et al., 2011).

Estudos genéticos realizados com eucalipto relataram que diferentes genótipos atuam na capacidade de lidar com a deficiência hídrica (VILLAR et al., 2011). A resistência à seca é a capacidade da planta de superar períodos de estiagem, tornando-se esta uma característica importante. As probabilidades de sobrevivência de uma planta sob estresse extremo causado por déficit hídrico são maiores quando a mesma se resguarda da dessecação, ou seja, quando a planta consegue fazer o adiamento da diminuição dos valores de potencial hídrico do protoplasma e quando for maior à tolerância a dessecação, que se trata da capacidade do protoplasma de tolerar a dessecação sem apresentar injúrias (LARCHER, 2000).

Para o eucalipto, especificamente, se o déficit hídrico apresenta progresso lento o suficiente para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse provocado tem vários efeitos sobre o crescimento vegetal, e as espécies de eucalipto podem apresentar modos diferentes de resistências a deficiência de água no solo (TATAGIBA et al., 2007).

A deficiência hídrica e todas as suas implicações podem afetar diferentemente o crescimento dos órgãos das plantas (SPOLLEN et al., 2000). Um dos mecanismos envolvidos na adaptação das plantas a períodos de seca é a alteração no crescimento radicular. Geralmente, a raiz da planta tende aumentar sua área de superfície de contato com a água, o que por sua vez, proporciona aumento no valor de massa seca de raiz, alterando os valores da relação raiz/parte aérea, resultando na alteração das características morfológicas das plantas (COX; CONRAN, 1996).

O crescimento pode ser significativamente afetado pelo déficit hídrico, uma vez que as plantas são capazes de controlar a perda de água da transpiração reduzindo a taxa de expansão da folha e evitando a desidratação dos tecidos (LIU; STÜTZEL, 2002). A deficiência hídrica pode também modificar componentes morfológicos das plantas, especialmente as folhas, diminuindo a quantidade de folha em relação à planta inteira, pela razão de área foliar, e ainda pela espessura da folha, verificada na área foliar específica (MARCELIS; HEUVELINK; GOUDRIAAN, 1998). Todas essas medidas realizadas podem ajudar na avaliação das alterações morfológicas das plantas frente ao estresse hídrico.

2.4 PLANTAS SOB ELEVADAS CONCENTRAÇÕES DE CO₂

A base material e energética para a evolução da vida na terra vem sendo construída desde os primeiros períodos geológicos por organismos autotróficos por meio da atividade fotossintética, criando uma atmosfera propícia a existência de diversas formas de vida. Desde então, os carboidratos tornaram-se os principais substratos para a respiração e o ponto de partida para produção de diferentes compostos químicos sintetizados pelas plantas. Por meio da contínua evolução até a diferenciação das plantas vasculares, a produção vegetal também aumentou. Atualmente as comunidades vegetais constituem, graças a atividade fotossintética, uma fonte permanente e renovável de biomassa e, portanto, de bioenergia (LARCHER, 2000).

As plantas, de uma maneira geral, apresentam a propriedade de utilizar a energia disponível de fontes físicas e químicas, como radiação solar e nutrientes do solo e utilizar nos processos de incorporação de carbono (TAIZ; ZEIGER, 2013).

As previsões do aumento da concentração de CO₂ atmosférico para os próximos anos, podem causar várias alterações fisiológicas nas plantas, resultando em potenciais mudanças na função, estrutura, quantidade e composição das comunidades vegetais (ZAVALETA, 2006).

O incremento de CO₂ atmosférico pode causar diversos efeitos nas plantas, como por exemplo: aumento da massa seca total (JWA; WALLING, 2001), aumento na atividade fotossintética, menores taxas de transpiração e condutância estomática (TOMIMATSU et al., 2014). Entretanto, para que haja um relevante aumento na capacidade fotossintética da planta, é necessário ainda que ocorra uma alteração no desenvolvimento foliar, o que se caracteriza quando há a presença de células maiores e um número maior das camadas de células na folha (LUO et al., 1997).

A elevação da concentração de CO₂ atmosférico pode estimular a fotossíntese das plantas e aumentar a produtividade, permitindo que a biota armazene mais carbono e, conseqüentemente, atenuar o aumento das concentrações do CO₂ atmosférico (KÖRNER, 2009). O aumento na concentração de CO₂ não significa, fundamentalmente, uma maior incorporação de carbono pelas plantas, pois há muitos caminhos ao longo dos quais a planta processa esse carbono assimilado (GRANDIS, 2010). A forma de alocação é definida por um plano morfogênético que depende do

estágio de desenvolvimento e da quantidade de recursos necessários para estes processos, como água, luz, nutrientes do solo e o próprio carbono (KÖRNER, 2006).

Apesar da alta concentração de CO₂ resultar em maiores taxas de fotossíntese, autores citam que a estimulação da fotossíntese pode ocorrer de forma temporária, pois as plantas dispõem de um mecanismo de auto regulação que acabam por se aclimatar a nova condição, que é tipicamente indicado pela diminuição da taxa máxima de carboxilação da ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) e da taxa de transporte de elétrons (AINSWORTH; LONG, 2005 citado por KITAO et al., 2016).

No processo de adaptação das espécies e culturas vegetais ao clima, o aumento da concentração de CO₂, da temperatura, e a água são os fatores que alteram, de forma significativa, o comportamento dos estômatos e, consequentemente, da fotossíntese. A concentração do CO₂ pode ser um fator importante no desenvolvimento das plantas, sendo que esta concentração próxima de 400 ppm, está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas. Níveis em excesso do dióxido de carbono, podem também interferir no processo, pois níveis próximos de 1000ppm passam a causar fitotoxidade (PINTO, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

No experimento, as mudas foram submetidas a duas concentrações diferentes de CO₂ atmosférico, sendo elas de ± 450 ppm e ± 850 ppm e dois regimes hídricos, com níveis de 50% e 100% de água disponível no solo (AD). As mudas foram dispostas em dois microclimas diferenciados, sendo o primeiro sob alta demanda atmosférica, apresentando temperatura média de 27° C e DPV de 1,9 Kpa e o segundo com baixa demanda atmosférica, com temperatura média de 22° C e DPV de 0,4 Kpa.

3.1 LOCAL DE ESTUDO, MATERIAL VEGETAL E SUBSTRATO

O estudo foi conduzido em casas de vegetação climatizadas (Figura 1), na área experimental do Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal pertencente a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, situado na latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W e altitude de 120m, entre os meses de maio e agosto de 2015.

Figura 1 – Casa de vegetação do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: Autor, (2016).

Foram utilizadas mudas do clone BA 1922, híbrido das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, de rendimento intermediário quanto ao déficit hídrico no solo, usado em plantios comerciais pela empresa Suzano Papel e Celulose S. A. no sul do estado da Bahia.

Foi realizado o transplântio das mudas para vasos plásticos com dimensões de 37 cm de diâmetro superior e 27 cm de diâmetro inferior, com 30 cm de altura e capacidade de aproximadamente 22 dm³ de substrato. Os vasos foram mantidos durante quinze dias em casas de vegetação com teor de umidade próximas a capacidade de campo, para o estabelecimento das mudas, quando, então, foram iniciados os tratamentos com níveis diferentes de água disponível no solo, concentração de CO₂ e DPV, durante noventa e seis dias de experimento.

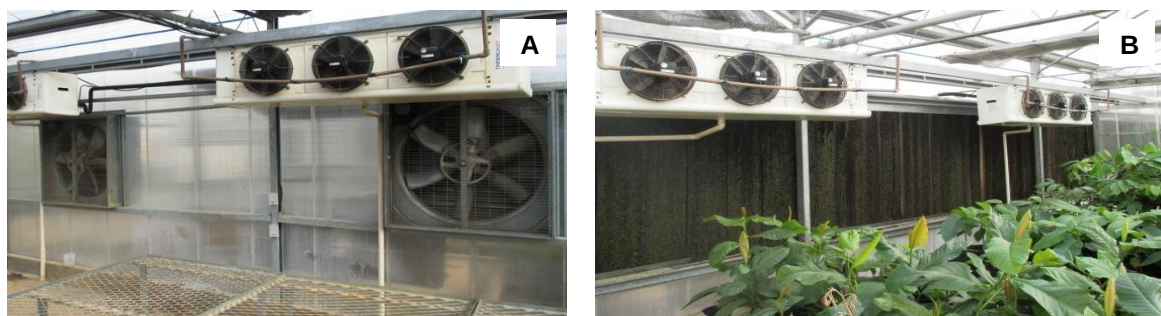
Para o substrato, utilizou-se um composto de 70% de solo, 20% de areia e 10% de esterco bovino, que antes do transplântio foi submetido a análise química para verificar a necessidade de posterior adubação (Tabela 1). A classificação textural do substrato mostrou-se como argilo arenoso, segundo a análise granulométrica. A fim de suprir carências nutricionais, aplicou-se 1,2 g de uréia a 45% de nitrogênio e 1,0 g de superfosfato simples com 18% de fósforo, diluídos em 50 mL de água, em três aplicações, sendo estas realizadas a cada 20 dias (NOVAIS; NEVES; BARROS, 1991).

Tabela 1 – Análise química e física do substrato utilizado no experimento.

Camada (cm)	Química								Física			
	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	M.O.	Argila	Silte	Areia	Densidade
	H ₂ O		mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³		g kg ⁻¹		(%)		g cm ⁻³
20-40	6,0	75,0	384,0	30,0	1,7	1,3	0	3,8	43	3	54	1,04

As casas de vegetação possuem controle automático de climatização, o qual permite controle da temperatura e umidade relativa do ar por meio de exaustores e cortinas de umidificação, simulando desta forma ambientes com as diferentes demandas atmosféricas (Figura 2).

Figura 2 – Exaustores (A) e cortinas de umidificação da casa de vegetação (B), no município de Jerônimo Monteiro, ES.

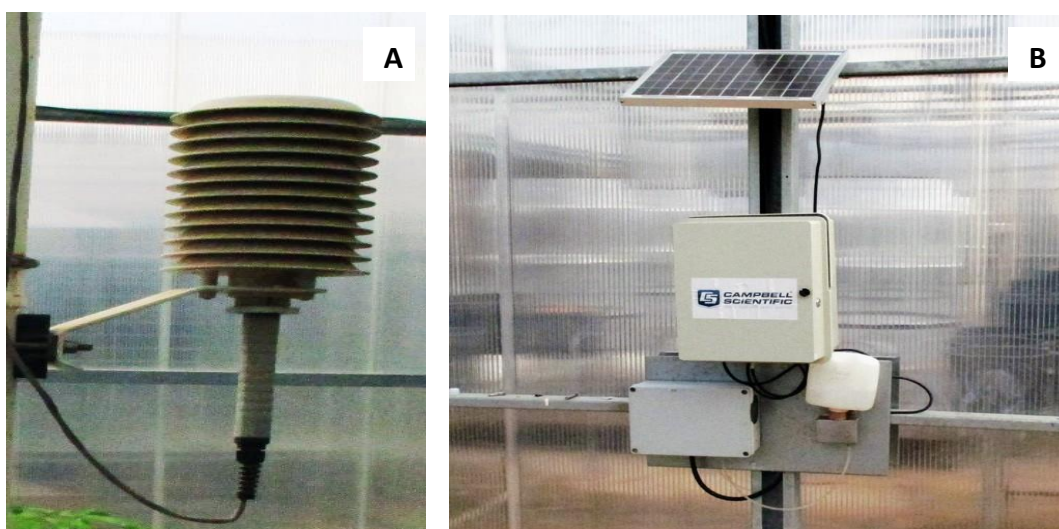


Fonte: Autor (2016).

3.2 CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA

A caracterização microclimática, dentro de cada microclima, foi feita por meio de estações meteorológicas automáticas instaladas nas casas de vegetação. As estações possuem sensores de temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala, modelo CS500) (Figura 3A). Os dados foram coletados a partir de um *datalogger* (Campbell Scientific Inc, CR-10x) com leituras de dados a cada dez segundos e armazenamento dos valores médios a cada cinco minutos (Figura 3B).

Figura 3 – Sensores de temperatura e umidade relativa (A) e estação meteorológica (B) da casa de vegetação, no município de Jerônimo Monteiro, ES.

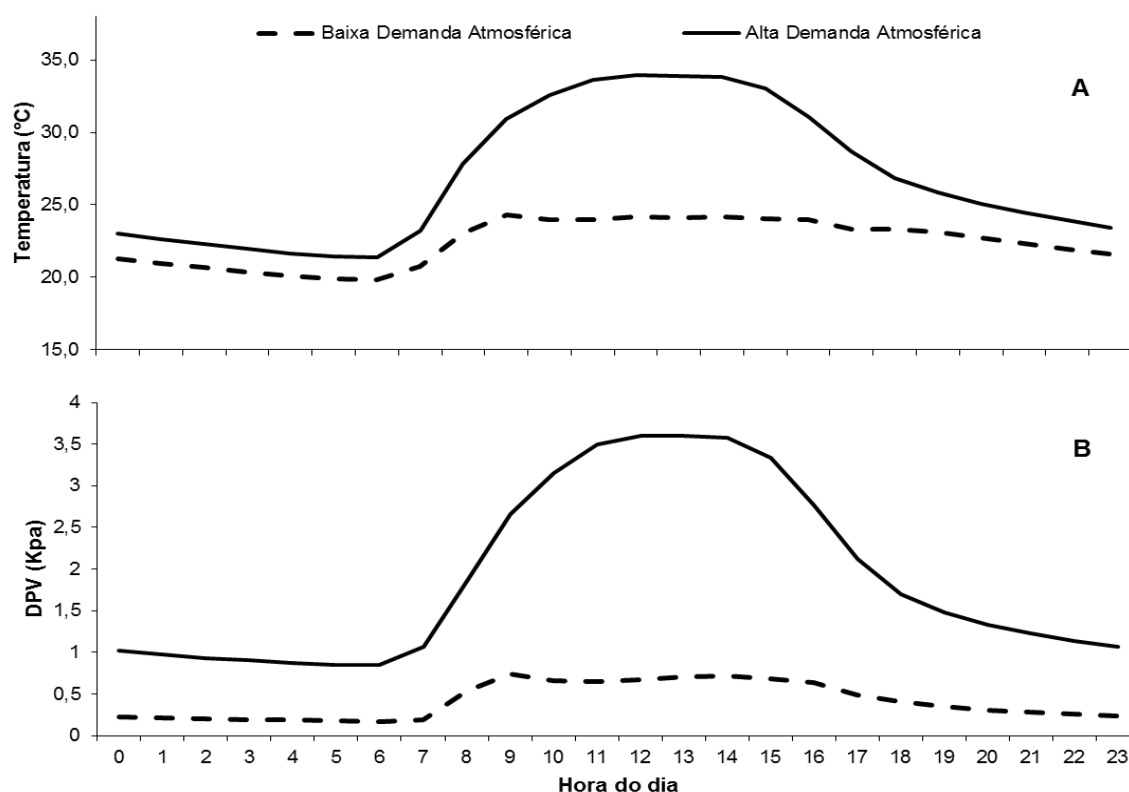


Fonte: Autor, (2016).

Os dados de déficit de pressão de vapor do ar (DPV) foram obtidos a partir do cálculo da pressão de saturação de vapor de água (e_s) e pressão parcial de vapor (e_a) (PEREIRA, ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Sendo, portanto, o DPV determinado pela diferença entre e_s (pressão de saturação de vapor de água) e e_a (pressão parcial de vapor) do dia, fatores influenciados pela temperatura e umidade relativa nos dois microclimas durante o período de estudo.

No período compreendido entre 6 de maio a 10 de agosto de 2015, os microclimas obtiveram comportamentos distintos, por meio do controle climático, apresentando cenários de baixa e alta demanda atmosférica, com discrepantes valores médios diários de temperatura do ar e DPV (Figura 4).

Figura 4 – Curso médio diário da temperatura do ar (A) e do déficit de pressão de vapor (B) das duas casas de vegetação climatizadas simulando um microclima com baixa e alta demanda atmosférica no período de 6 de maio a 10 de agosto de 2015 no município de Jerônimo Monteiro, ES.



O microclima com alta demanda atmosférica apresentou uma temperatura média de 27°C e DPV médio 1,90 Kpa com amplitude térmica diária média de 13°C. O microclima com baixa demanda atmosférica apresentou uma temperatura média de 22°C e DPV médio 0,41 Kpa e uma amplitude térmica diária média de 4°C (Tabela 2).

Tabela 2 – Temperatura máxima, média e mínima e déficit de pressão de vapor nos microclimas simulados com baixa e alta demanda atmosférica, durante o período de maio a agosto de 2015 na casa de vegetação no município de Jerônimo Monteiro, ES.

	Ambientes	
	Baixa Demanda Atmosférica	Alta Demanda Atmosférica
Temperatura	°C	
Temperatura máxima	24	34
Temperatura média	22	27
Temperatura mínima	20	21
DPV	Kpa	
DPV máximo	0,74	3,60
DPV médio	0,41	1,90
DPV mínimo	0,17	0,85

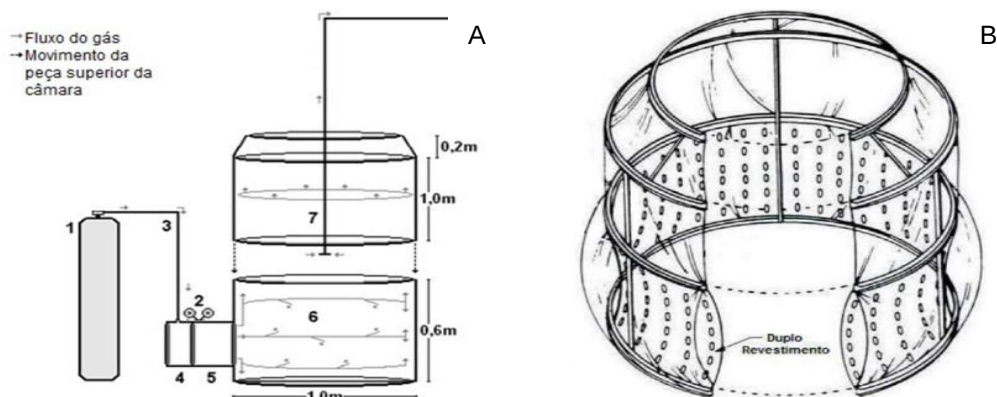
3.3 CÂMARAS DE TOPO ABERTO (*Open top chambers*)

Para submeter as plantas em diferentes concentrações de CO₂, os vasos foram dispostos dentro de câmaras de topo aberto (*open top chambers*). Estas câmaras possuem formato cilíndrico, com 1,80 m de altura e 1,0 m de diâmetro, sendo revestida de filme de PVC. Estas são compostas por duas partes, sendo a inferior fixa, com 60 cm de altura e a parte superior, de 1,2 m de altura, móvel, que se encaixa a parte inferior da câmara. Na parte inferior da câmara localiza-se um exaustor que é responsável pela injeção de CO₂ no interior da câmara (Figura 5a).

A parte superior apresenta uma abertura no topo, que permite a renovação do ar e evita o acúmulo de CO₂ e o superaquecimento no seu interior. O controle de injeção do CO₂ é feito por meio de uma válvula que libera o gás no exaustor, que posteriormente é conduzido à câmara de homogeneização, acoplado ao exaustor, que conduz o gás até a parte inferior da câmara com duplo revestimento e então aplicado no interior da OTC (Figura 5b).

As OTC's foram dispostas dentro de duas casas de vegetação, com seis OTC's distribuídas em cada casa de vegetação. O período de injeção de gás nas câmaras ocorria das 7:00 hs até as 17:00 hs, em um total de 10 horas de injeção de CO₂ por dia (Figura 6).

Figura 5 – Esquema geral do sistema de câmaras de topo aberto (A) para exposição das mudas de eucalipto a diferentes concentrações de CO₂. 1- Cilindro de CO₂; 2- Regulador de CO₂; 3- mangueira pneumática; 4- exaustor funcionando como ventilador; 5- câmara de homogeneização; 6- peça inferior da câmara com duplo revestimento; 7- peça superior da câmara (móvel). Fonte: Adaptada de Ghini (2005); Detalhe do revestimento duplo na peça inferior da OTC (B), responsável pela injeção de CO₂ no interior da OTC.



Fonte: Adaptado de Scope (2005) e Costa (2015).

Figura 6 – Disposição das OTC's no interior da casa de vegetação do DCFM da UFES no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: Autor, (2016).

Para este estudo, foram consideradas duas concentrações de CO₂. A concentração ambiente, que dentro das OTC's, obtiveram valores acima da concentração ambiente real, que atualmente é de 404 ppm, (NOAA-ESRL, 2016), e com base em projeções do IPCC para o ano de 2100, foi estabelecida a concentração de aproximadamente 850 ppm de CO₂.

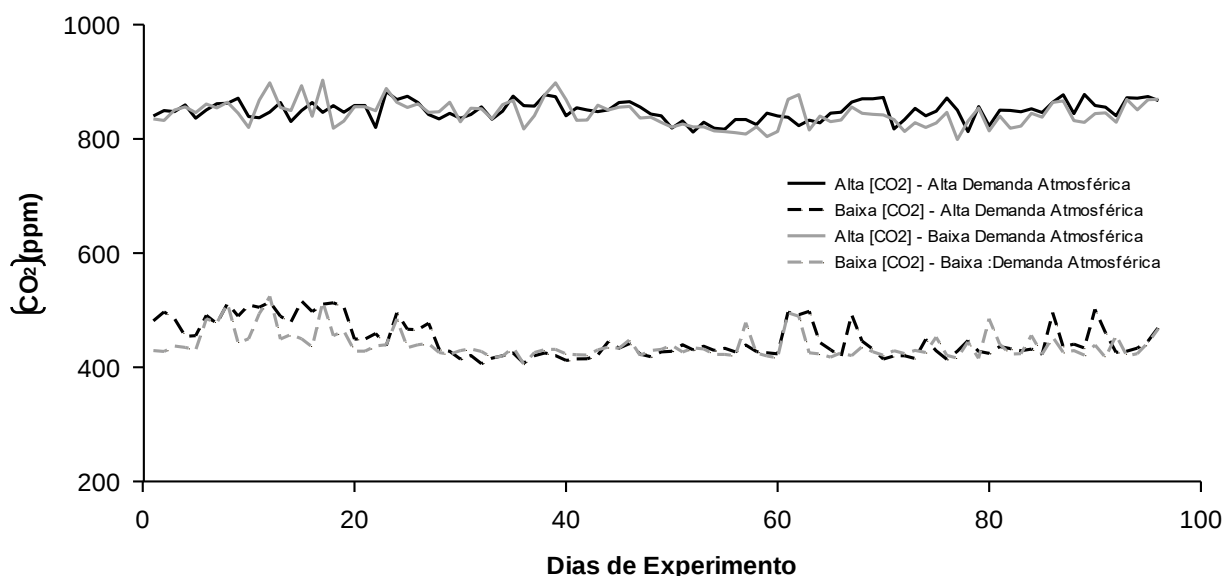
O monitoramento da concentração de CO₂ dentro das câmaras foi realizado duas vezes por dia (manhã e tarde), por meio de um analisador portátil da marca Testo AG, modelo testo 535 (Figura 7). Nas OTC's, as concentrações apresentaram pequenas oscilações ao longo do estudo. Valores semelhantes de concentração atmosférica de CO₂ foram observados nos dois microclimas, apresentando médias de aproximadamente $450 \pm 27,3$ ppm e $850 \pm 13,5$ ppm sob alta demanda atmosférica e $440 \pm 17,2$ ppm e $845 \pm 17,8$ ppm sob baixa demanda atmosférica (Figura 8).

Figura 7 – Monitoramento da concentração de CO₂ com o analisador portátil. (B) Detalhe do analisador portátil em uso (B).



Fonte: Autor, (2016).

Figura 8 – Médias diárias das concentrações de CO₂ no interior das câmaras de topo aberto utilizadas no experimento no período de maio a agosto de 2015, em duas demandas evaporativas da atmosfera no município de Jerônimo Monteiro, ES.



3.4 NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO

Para obtenção da água disponível no solo (AD), amostras do substrato foram enviadas ao laboratório e obtidos os valores de umidade gravimétrica, na capacidade de campo (CC) na tensão de 0,010 MPa e no ponto de murcha permanente (PMP) na tensão 1,5 Mpa. Os valores médios, resultantes de três repetições para densidade do solo, umidade gravimétrica na capacidade campo e no ponto de murcha permanente para o cálculo dos níveis de água, foram 1,04 g cm⁻³, 22,9 g g⁻¹ e 14,0 g g⁻¹, respectivamente. Após convertidos os valores para umidade volumétrica, obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo e utilizando a seguinte expressão: $AD = CC - PMP$ (CENTURION; ANDRIOLI, 2000), obteve-se os valores de 9,3% de água disponível, observando-se os valores de umidade volumétrica de 23,9% para CC e 14,6% para PMP.

A partir do primeiro dia experimental, foram aplicados os tratamentos, com valores de 100% e 50% de AD. O controle da irrigação foi realizado pelo método gravimétrico, por meio de pesagem a cada dois dias, com auxílio de uma balança com precisão de dez gramas, objetivando a manutenção do nível de AD. A adição de água, com auxílio de um becker e proveta graduada, foi realizada até que a massa do solo

atingisse o valor prévio determinado em cada nível, descontando o peso do vaso e da planta, considerando-se a massa do solo e de água.

3.5 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Aos 96 dias após o início do experimento, por meio de análise destrutiva, foi mensurado a massa seca de: folha, haste, ramos e raízes. A massa seca foi obtida após a secagem dos respectivos órgãos das plantas em estufa de circulação forçada a 72°C até peso constante, com 4 repetições para cada tratamento. A área foliar foi obtida por meio do medidor de bancada da marca Li-COR, modelo LI-3100 (Figura 9). A raiz foi extraída com auxílio de peneira, visando evitar perdas no processo de lavagem.

A área foliar específica (AFE), um componente morfológico e anatômico da folha (espessura do mesófilo), foi calculada considerando-se as medidas de massa foliar e área foliar, por meio da seguinte equação (FLOSS, 2008):

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (1)$$

Em que:

AFE = área foliar específica (cm² g⁻¹)

MF = massa de folha (g)

AF = área foliar (cm²)

A fração de massa dos órgãos da planta (folha (*F*), hastes e ramos (*HR*) e raiz (*R*)) em relação à planta como um todo, foi calculada para se ter a noção de alocação de biomassa. Para tal, utilizou-se a seguinte equação (FLOSS, 2008):

$$FMO = \frac{mo}{MST} \quad (2)$$

Em que:

FMO = fração de massa do órgão (g.g⁻¹)

mo = massa do órgão (g)

MST= massa seca total (g)

A partir dos dados de área foliar e o peso seco total da planta, foi obtido à razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), que expressa a área foliar útil da planta para a realização da fotossíntese, para tal utilizou-se a seguinte equação (FLOSS, 2008):

$$RAF = \frac{AF}{MST} \quad (3)$$

Em que:

AF = área foliar verde (cm²)

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

A eficiência do uso da água (EUAp, g l⁻¹), foi calculada a partir dos dados de massa seca total (g) dividido pelo total de água consumida (l) pelas plantas durante todo o período do experimento (FLOSS, 2008).

Figura 9 – Medidor de área foliar de bancada modelo LI -3100 (Li-COR, Reino Unido).



Fonte: Autor, (2016).

3.6 AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA

A partir de folhas coletadas das plantas em seus respectivos tratamentos, no final dos 96 dias de experimento, foram obtidos 10 discos de 1,5 cm de diâmetro, de 4 repetições de cada tratamento para a estimativa do conteúdo relativo de água

(CRA). A obtenção das folhas em discos de tamanhos conhecidos visou homogeneizar a absorção de água a posterior secagem dos mesmos. O CRA foi estimado a partir da obtenção da massa fresca (MFr), massa seca (MS) e massa túrgida (MT) das folhas, segundo metodologia proposta por Marengo e Lopes, (2005).

$$CRA (\%) = 100 [(MFr-MS) / (MT-MS)] \quad (4)$$

Para minimizar o problema da variação do peso da massa fresca, as plantas foram coletadas ao alvorecer, visando evitar maiores perdas de água por transpiração e diminuir problemas na obtenção correta do peso.

3.7 AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas por meio de um analisador de gás por infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor, modelo LI-6400, Nebraska, EUA) (Figura 10). O aparelho consiste em um sistema aberto contendo um analisador de gases por infravermelho (IRGA) que infere a diferença entre vapor de água e dióxido de carbono no fluxo de ar que ocorre na câmara onde a folha é colocada, utilizando luz artificial e medindo 6 cm² de área de exposição foliar.

Foram realizadas medidas de cursos diurno da fotossíntese, condutância estomática e transpiração, também foram realizadas mensurações para composição de curvas de

Figura 10 – Coleta de dados com o analisador de gases por infravermelho (Li-Cor, modelo Li 6400).



Fonte: Autor, (2016).

O curso diário das trocas gasosas, foi obtido por meio de leituras instantâneas ao longo do dia, aos 94 dias de experimento, em folhas completamente expandidas, localizadas no terço superior da copa, utilizando cinco folhas de cada planta por tratamento, perfazendo um total quatro repetições. As leituras foram realizadas nos horários de 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 hs.

Nas medições foi utilizada uma fonte luminosa artificial (LI-6400-02B) fixa em $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (FFFA). A concentração de referência de CO_2 utilizada na câmara do IRGA foi a mesma injetada nas câmaras de topo aberto em cada tratamento, 850ppm ou 450ppm de CO_2 de referência.

Foram realizadas também curvas de resposta a luz. Estas curvas foram obtidas aos 81 dias após o início do experimento, no período compreendido entre 9:00 e 12:00 hs, período em que as plantas apresentam as maiores taxas fotossintéticas, em folhas completamente expandidas em seu terço superior, utilizando três repetições por tratamento.

Os pontos utilizados nas curvas de luz compreenderam uma variação de FFFA de $0 \mu\text{mol fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $2000 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, de forma decrescente. As leituras foram realizadas utilizando valores de FFFA de 2000, 1750, 1500, 1250, 1000, 750, 500, 250, 200, 150, 100, 50, 25, 15, 10, 5 e 0, onde os valores foram registrados após 180 segundos de exposição a luz em cada uma das leituras. A concentração de CO_2 na câmara do IRGA foi mantida na mesma condição da encontrada nos tratamentos (850 ppm ou 450 ppm).

Com as curvas de luz foram obtidos os parâmetros de: assimilação líquida de CO_2 (A), ponto de compensação de luz (PCL), rendimento quântico aparente, convexidade (Θ) e respiração no escuro (R_d) (ÖGREN; EVANS, 1993).

As curvas A/FFFA foram ajustadas por meio do modelo da hipérbole não retangular, por meio da planilha *Light Response Curve Fitting* 1.0, proposta por Ogren e Evans (1993).

$$A = \frac{(\Phi \cdot \text{FFFA} + A_{\text{max}} - ((\Phi \cdot \text{FFFA} + A_{\text{max}})^2 - 4 \cdot \Theta \cdot \text{FFFA} \cdot A_{\text{max}})^{0,5})}{2 \cdot \Theta} \quad (5)$$

Em que:

A = taxa fotossintética líquida de CO_2 [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

Φ = eficiência quântica (adimensional)

FFFA = fluxo de fótons fotossinteticamente ativos [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

Amax = taxa fotossintética bruta em condições de saturação de luz [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

Θ = convexidade da curva (adimensional), e

Rd = taxa de respiração no escuro [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

As curvas de resposta ao CO_2 , obtidas aos 88 dias após o início do experimento, foram analisados pelos dados de fotossíntese em função da concentração intercelular de CO_2 (C_i), sendo utilizadas nestas curvas concentrações entre 40 a 1800 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com fluxo de irradiância constante de 1500 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^2 \text{s}^{-1}$, sob temperatura e umidade relativa do ar do microclima onde as plantas foram mantidas.

Os dados para as curvas foram coletados entre 9:00 e 12:00 hs em folha totalmente expandida no terço superior da planta, utilizando três repetições por tratamento para cada clone. As leituras foram realizadas nas seguintes concentrações atmosféricas de CO_2 : 1800, 1600, 1400, 1200, 1000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 80, 60 e 40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

A partir dos dados obtidos nas curvas, foi determinada a taxa máxima de assimilação de carbono (Amax), a taxa máxima de carboxilação da Rubisco (Vmax), o transporte de elétrons para a regeneração da Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenasse (Rubisco) (Jmax), o ponto de compensação por CO_2 (PC) e o ponto de saturação por CO_2 (Psat), seguindo metodologia proposta por Farquhar *et al.*, (1980) e detalhada por Ethier e Livingston (2004). Para realizar o ajuste das curvas e cálculos matemáticos foi utilizada planilha eletrônica, proposta por Diaz-Espejo *et al.*, (2006).

3.8 DETERMINAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Aos 90 dias de experimento, foram coletados dez discos foliares de 1,5 cm de diâmetro retirados de folhas do terço superior das plantas, com 4 repetições por tratamento. As amostras foram coletadas com um furador de 1,5 cm de diâmetro e imediatamente colocadas em sacos de papel alumínio, após isso, estes foram acondicionados em caixas de isopor e em seguida armazenados em freezer até análise.

A extração dos pigmentos ocorreu a partir da maceração de 80 mg de tecido foliar, em acetona a 80%. Posteriormente, foram obtidas as concentrações em diferentes comprimentos de ondas (470 nm, 646,8 nm e 663,2 nm) em um espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Scientific, modelo Multiskan Go). Para esta análise foram utilizadas quatro repetições.

Com os valores de absorbância obtidos, foram calculados os teores de cada pigmento, conforme metodologia descrita por Lichtenthaler (1987).

3.9 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 2x2x2, sendo dois níveis de regimes hídricos (100% e 50% da água disponível no solo), duas concentrações de CO₂ (450 ppm de CO₂ e 850ppm) e duas condições de demanda evaporativa da atmosfera: alta demanda atmosférica (27° C e DPV de 1,9 Kpa) e baixa demanda atmosférica (22° C e DPV de 0,4 Kpa), sendo seis repetições por tratamento.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) usando o *software* ASSISTAT 7.7 (SILVA, 2016).

4. RESULTADOS

4.1 CRESCIMENTO

De forma geral, todas as variáveis de crescimento avaliadas, obtiveram interação significativa para algum dos fatores estudados, tendo o fator regime hídrico influenciado principalmente as variáveis massa seca total (MST), área foliar (AF) e razão de área foliar (RAF) (Tabela 3).

O fator microclima, foi o que mais variação proporcionou nas frações de massa foliar (FMF), radicular (FMR) e de parte aérea (FMPA), sendo este também o fator que melhor explica as diferenças observadas na área foliar específica (AFE).

A eficiência do uso da água de produtividade (EUAp), teve maior proporção de variação promovida pelo fator concentração de CO₂, sendo que este fator provocou mudanças em todas as variáveis, exceto nas frações de massa dos diferentes órgãos das plantas.

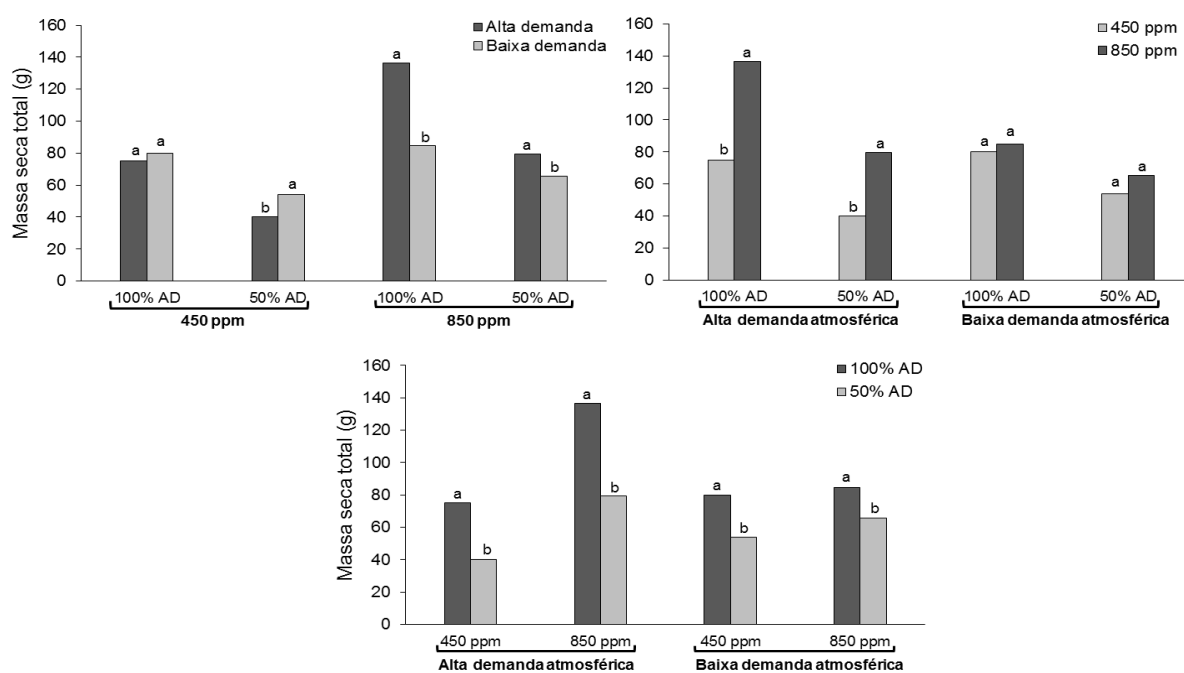
Tabela 3 – Efeito dos fatores Microclima ($n=2$), concentração de CO₂ ($n=2$) e regime hídrico ($n=2$) e as interações entre esses fatores, explicado pela proporção de variância nas variáveis morfológicas: massa seca total (MST), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), fração de massa foliar (FMF), fração de massa radicular (FMR), fração de massa da parte aérea (FMPA), eficiência do uso da água de produtividade (EUAp) e razão de área foliar (RAF), de clones de eucalipto, de acordo com análise variância (ANOVA), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.

Variáveis		Fatores			Interação				R²	CV(%)
		Microclima	CO₂	RH	MicXCO₂	MicXRH	CO₂XRH	1X2X3		
Crescimento	MST	4,5 **	23,7 **	38,9 **	18,5 **	4,5 **	0 ns	3 **	93,4	10,6
	AF	2,4 ns	25,6 **	40,8 **	3,2 ns	1,4 ns	0 ns	1,9 ns	76,4	14,3
	AFE	41,6 **	12,8 **	3,9 ns	11,4 **	0 ns	0 ns	0 ns	69,5	13,4
	FMF	52,4 **	1,4 ns	17,7 **	0 ns	0 ns	4,3 *	4,1 *	80,4	7,9
	FMR	63,3 **	0 ns	14,1 **	1,6 ns	0 ns	1,0 ns	0 ns	80,9	10,2
	FMPA	63,3 **	0 ns	14,0 **	1,6 ns	0 ns	1,1 ns	3,3 ns	80,8	6,15
	EUAp	5,6 *	28,7 **	23,0 **	18,4 **	3,0 ns	0 ns	2,0 ns	80,7	16,4
	RAF	1,7 ns	18,7 **	24,3 **	9,3 *	0 ns	1,5 ns	2,1 ns	57,6	14,9

As proporções de variância são explicadas pela relação da Soma do quadrado da variável/Soma do quadrado total e o nível de significância avaliado pelo teste F ($*p<0,05$, $**p<0,01$, $ns p<0,05$) para cada fator e a interação. A variabilidade dos dados em relação à média é representada pelo coeficiente de variação CV, e a proporção da variância total é explicada pelo R^2 .

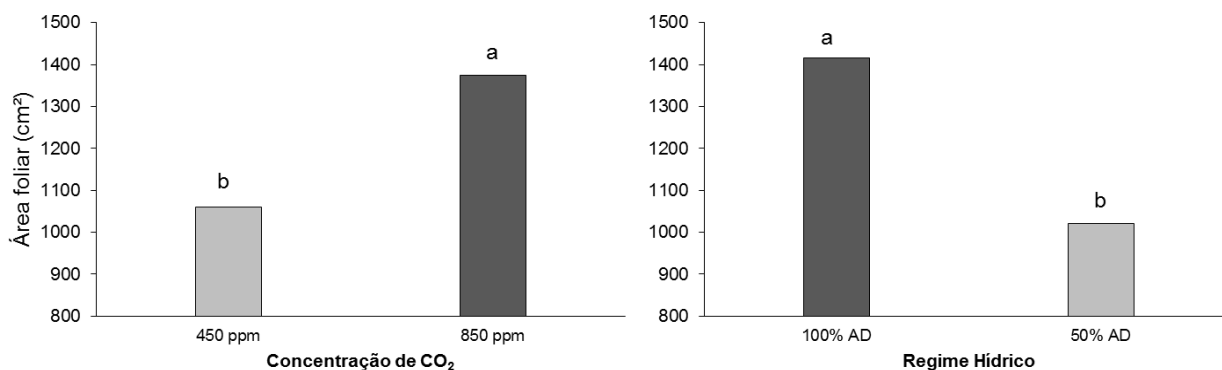
No microclima de alta demanda atmosférica, houve maior acúmulo de *MST* sob alta $[CO_2]$ em ambos os regimes hídricos, enquanto o tratamento de baixa demanda atmosférica, proporcionou aumento significativo de *MST* apenas no regime hídrico de 50% de AD sob baixa $[CO_2]$. A *MST* a 850 ppm de $[CO_2]$ foi superior a encontrada a 450 ppm de $[CO_2]$ em microclima de alta demanda atmosférica para ambos os regimes hídricos. Quando se compara os resultados das médias da *MST* para os diferentes microclimas e $[CO_2]$ dentro dos níveis de AD, se observa que todos os tratamentos com regimes hídricos de 100% de AD foram superiores aos de 50% de AD. (Figura 11).

Figura 11 – Massa seca total ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



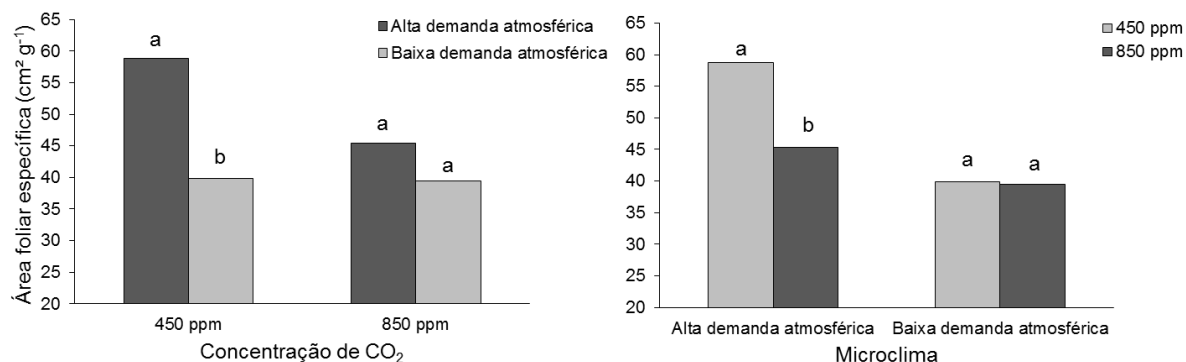
A variável de *AF* não diferiu significativamente entre os microclimas dentro da mesma concentração e regime hídrico. No entanto, sob 850 ppm de $[CO_2]$ houve valores médios superiores aos encontrados sob 450 ppm de $[CO_2]$. Nota-se também, que houve diferenças estatísticas nas médias de *AF* em todos os tratamentos sob regime hídrico de 100% de AD dentro de cada microclima e $[CO_2]$ (Figura 12).

Figura 12 – Área foliar ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



Os valores médios de *AFE* no microclima de alta demanda atmosférica, sob 450 ppm de [CO₂] em ambos os regimes hídricos, foram superiores ao microclima de baixa demanda atmosférica. A influência do fator [CO₂] para a variável *AFE*, foi observada somente no microclima sob alta demanda atmosférica, tendo os tratamentos sob 450 ppm de [CO₂] obtido valores superiores (Figura 13).

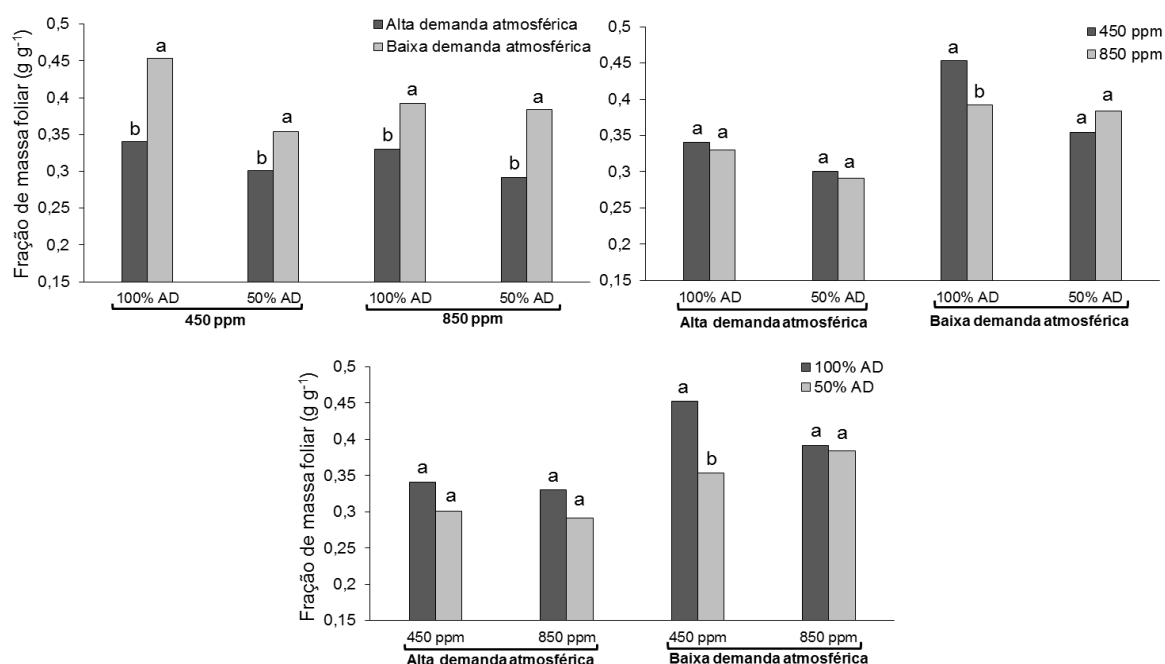
Figura 13 – Área foliar específica ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



No microclima de baixa demanda atmosférica, houve uma maior *FMF* dentro de cada [CO₂] e regime hídrico. A [CO₂] dentro de cada microclima e regime hídrico, promoveu diferença estatística apenas para os tratamentos com 100% de AD sob

baixa demanda atmosférica. Os tratamentos com diferentes regimes hídricos sob baixa demanda atmosférica e 450 ppm de $[\text{CO}_2]$, foram os únicos que diferiram significativamente para o fator regime hídrico (Figura 14).

Figura 14 – Fração de massa foliar ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



A *FMR* obteve valor elevado no microclima sob alta demanda atmosférica dentro de cada $[\text{CO}_2]$ e regime hídrico. No fator regime hídrico, houve diferenças estatísticas somente sob 450 ppm de $[\text{CO}_2]$, sendo que em ambos os microclimas, os tratamentos com 50% de AD apresentaram desempenho maior para a fração de raiz (Figura 15).

Um superior resultado para *FMPA* foi observado também para os tratamentos no microclima de baixa demanda atmosférica dentro de cada $[\text{CO}_2]$ e regime hídrico. As médias dos tratamentos com 100% de AD, sob 450 ppm de $[\text{CO}_2]$ dentro de cada microclima foram superiores aos de 50% de AD para a *FMPA*. (Figura 16).

Figura 15 – Fração de massa radicular ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.

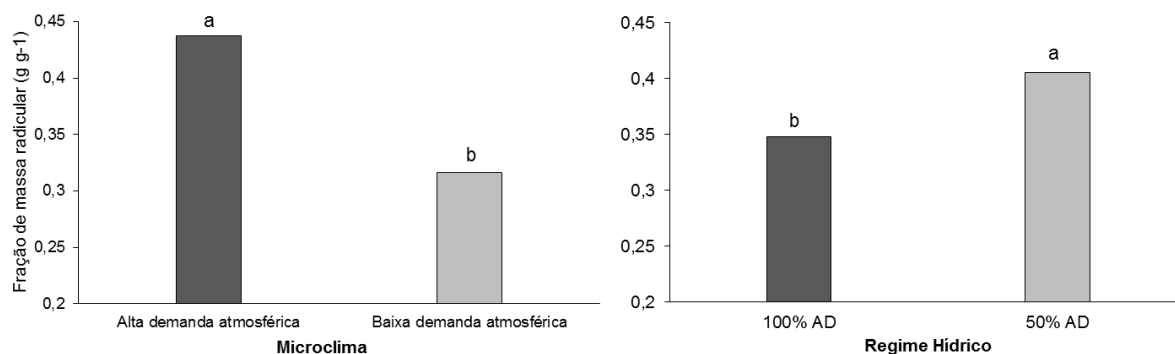
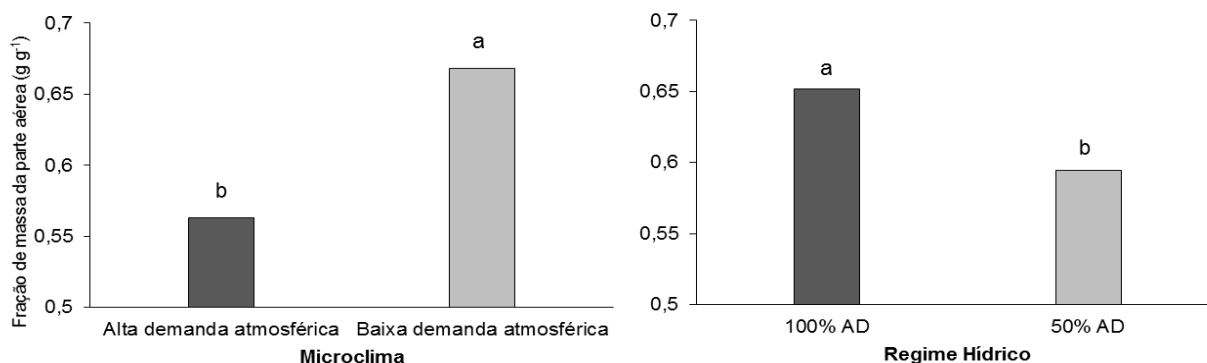
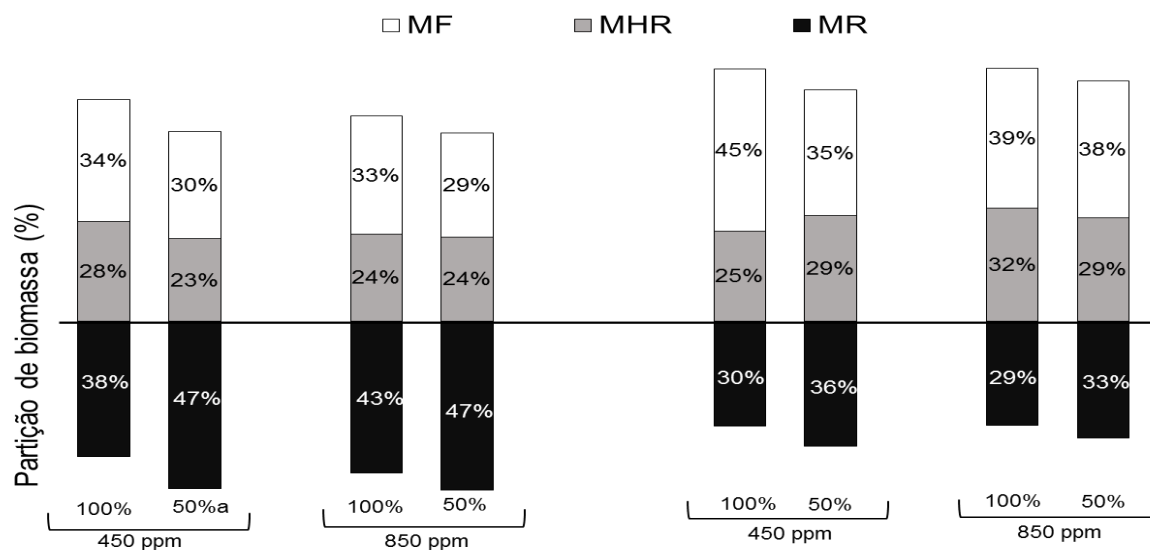


Figura 16 – Fração de massa de parte aérea ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



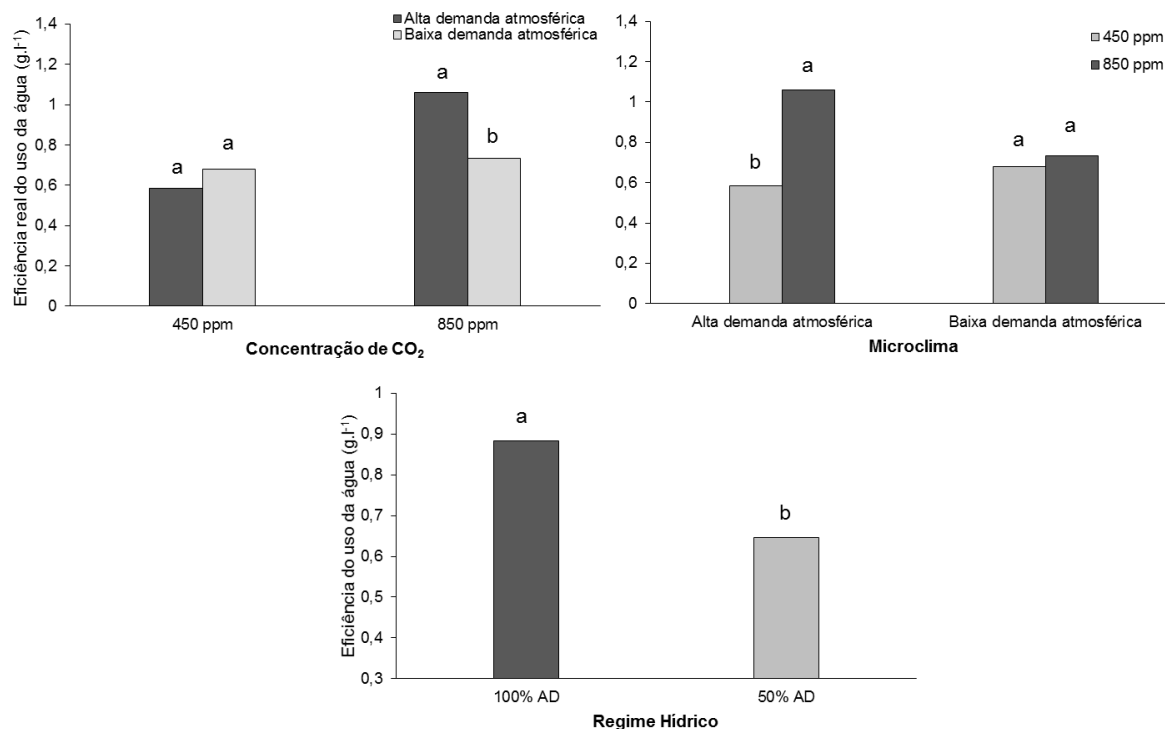
Na partição de biomassa, de forma geral, pode ser observado que no microclima sob alta demanda atmosférica ocorreu um maior investimento em massa seca de raiz (MR), e que nos tratamentos sob baixa demanda atmosférica verifica-se uma maior produção de massa seca de parte aérea ($MHR+MF$). Também foram observados comportamentos distintos na partição de biomassa entre regimes hídricos diferentes, sendo que mudas sob regime hídrico com 50% de AD tiveram tendência a maior produção de MR e menor produção de massa seca de parte aérea (Figura 17).

Figura 17 – Valores médios ($n=4$) de partição de biomassa de matéria seca de folha (MF), matéria seca de hastes e ramos (MHR) e matéria seca de raiz (MR) para o eucalipto submetido a diferentes microclimas, concentrações de CO_2 e regimes hídricos, com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



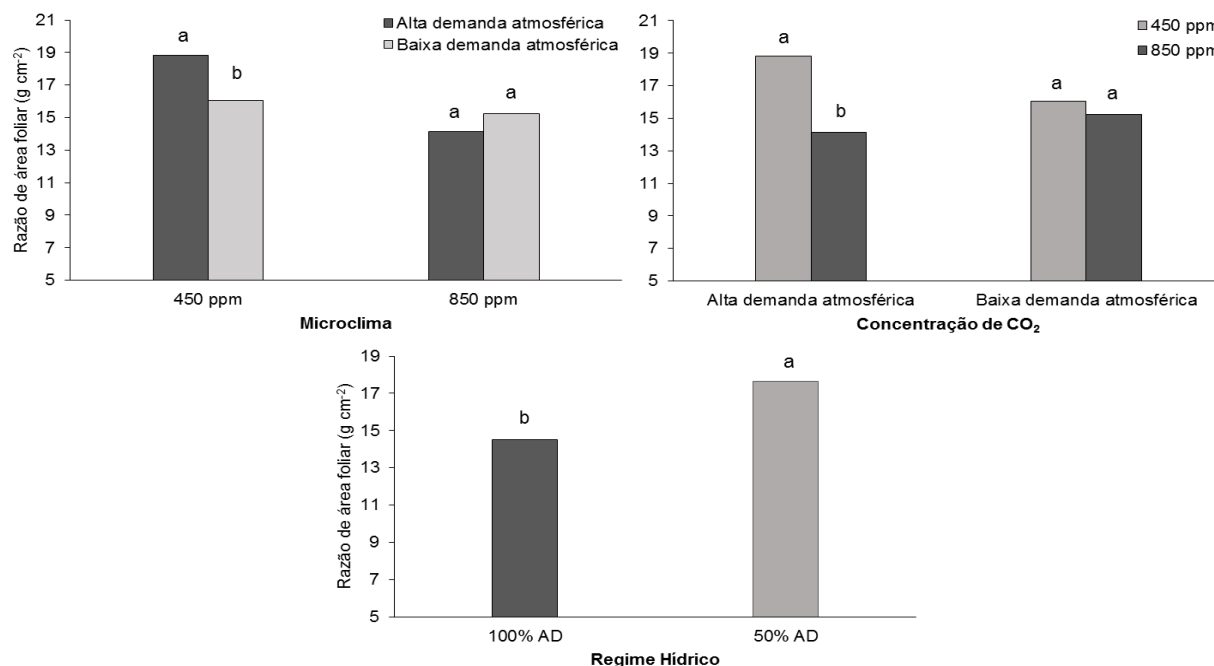
Quando analisada a *EUAp*, verificou-se que entre microclimas dentro de mesma concentração e mesmo regime hídrico, apenas o tratamento com 850 ppm de $[\text{CO}_2]$ foi maior. As médias desta variável diferiram entre si para o fator $[\text{CO}_2]$ dentro do mesmo regime hídrico no microclima de alta demanda atmosférica, tendo o tratamento com 850 ppm de CO_2 , obtido um resultado superior. Os tratamentos com 100% de AD, mostraram maiores valores de média de *EUAp* em todas as comparações de microclima (Figura 18).

Figura 18 – Eficiência do uso da água de produtividade ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



Quando comparados os valores da variável *RAF* entre microclimas, dentro da mesma concentração, apenas o tratamento sob alta demanda, 450 ppm de [CO₂] foi superior. No microclima de alta demanda também houve diferenças significativas para diferentes concentrações, sendo observada na [CO₂] de 450 ppm, os maiores valores. No fator regime hídrico, comparado dentro de cada microclima e cada concentração, apenas o tratamento com 50% AD em baixa demanda e concentração, apresentou valor superior de *RAF* (Figura 19).

Figura 19 – Razão de área foliar ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 96 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



4.2 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

O fator regime hídrico, foi o que mais variação proporcionou no conteúdo relativo de água (CRA). A [CO₂] provocou, no conjunto de variáveis das curvas *A/FFFA*, maiores variações na fotossíntese máxima saturante ($A_{max_{sat}}$) e no ponto de compensação de luminoso (PCL). Já as variáveis ponto de saturação por luz (PSL) e eficiência quântica (ϕ), foram mais influenciadas pelo regime hídrico. A convexidade da curva (Θ) apresentou variação para a interação dos fatores de microclima e [CO₂] (Tabela 4).

O fator microclima foi o que maior número de variáveis influenciou no conjunto de dados das curvas *A/Ci*, causando diferenças significativas na velocidade máxima de carboxilação da rubisco (V_{max}), ponto de compensação por CO₂ (PC) e ponto de saturação por CO₂ (P_{sat}), sendo que na variável P_{sat} o valor de variação total é explicado pelo valor obtido no modelo (R^2). Neste mesmo conjunto, a taxa máxima de assimilação do carbono (A_{max}) e J_{max} , foram diferenciadas pelo fator regime hídrico.

As variáveis *Car*, *Chl a/b* do conjunto de pigmentos fotossintetizantes, foram as que apresentaram as maiores diferenças para a interação microclima e $[CO_2]$. A *Chl a+b* foi significativamente afetada pelo fator $[CO_2]$.

Tabela 4 – Efeito dos fatores: microclima (n=2), concentração de CO_2 (n=2) e regime hídrico (n=2) e as interações entre esses fatores, explicado pela proporção de variância nas variáveis fisiológicas do conteúdo relativo de água (CRA), Taxa fotossintética líquida máxima saturante (*Amaxsat*), ponto de compensação de luz (PCL), ponto de saturação de luz (PSL), eficiência quântica (ϕ); convexidade da curva (θ), taxa máxima de assimilação de carbono (*Amax*), velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (*Vmax*), taxa máxima de transporte de elétrons para a regeneração da rubisco (*Jmax*), ponto de compensação por CO_2 (PC), ponto de saturação por CO_2 (P_{sat}), clorofila a+b (*Chl a+b*), carotenóides (*Car*) e clorofila a/b (*Chl a/b*) de clones de eucalipto, de acordo com análise variância (ANOVA), no período de maio a agosto de 2015 no município de Jerônimo Monteiro, ES.

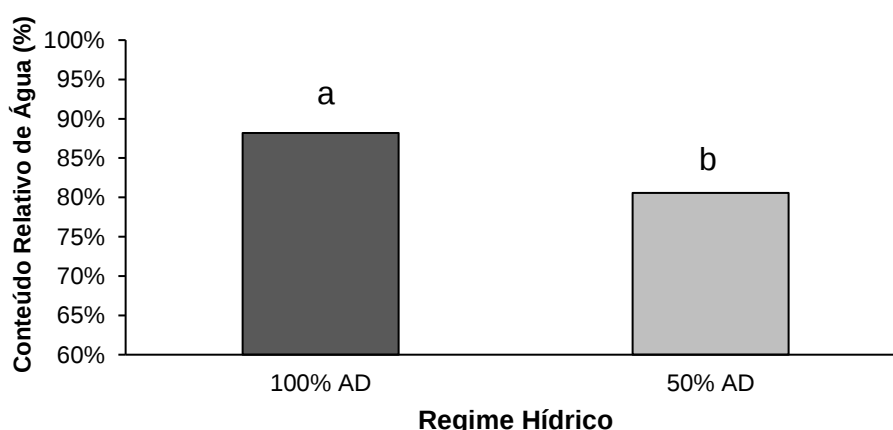
Variáveis	Fatores			Interação				R²	CV(%)	
	Microclima	CO₂	RH	MicXCO₂	MicXRH	CO₂XRH	1X2X3			
Curva A/FFFA	CRA	5,6 ns	0 ns	41,12 **	0 ns	3,0 ns	3,2 ns	0 ns	53,7	5,9
	Amaxsat	0 ns	42,4 **	42,3 **	0 ns	2,2 ns	2,3 *	1,9 ns	92,1	8,0
	PCL	1,5 **	73,8 **	2,0 **	4,7 **	0 ns	0 ns	15,1 **	97,6	14,5
	PSL	4,3 *	7,0 **	48,8 **	9,3 **	3,6 *	9,5 **	5,8 *	88,4	12,0
	φ	12,5 **	16,1 **	23,2 **	0 ns	5,3 *	10,7 **	21,4 **	89,3	2,6
	θ	1,7 ns	3,6 *	26,9 **	31,0 **	2,3 *	11,6 **	15,8 **	93,09	4,5
Curva A/Ci	Amax	2,3*	24,9**	45,04**	21,25**	1,5 ns	1,4 ns	0 ns	97,1	5,09
	Vmax	71,5**	16,2**	7,7**	2,0**	0 ns	0 ns	0 ns	99,1	1,36
	Jmax	4,9 ns	0 ns	27,4*	14,9 ns	11,4 ns	3,3 ns	4,6 ns	67,4	21,7
	PC	55,8**	19,5**	1,1 ns	3,8 ns	7,2 ns	0 ns	0 ns	88,7	2,3
	Psat	70,6 **	11,4 **	16,5 **	0 ns	0 ns	0 ns	0 ns	99,3	1,73
Pigmentos	Chl a+b	2,0 ns	14,7 **	6,0 ns	8,2 *	11,3 *	1,4 ns	13,9 **	57,7	16,3
	Car	17,7 **	4,6 *	3,9 *	32,3 **	9,9 **	2,0 ns	10,0 **	80,5	15,8
	Chl a/b	10,3 ns	0 ns	1,4 ns	20,4 *	1,4 ns	2,4 ns	1,3 ns	37,3	16,7

As proporções de variância são explicadas pela relação da Soma do quadrado da variável/Soma do quadrado total e o nível de significância avaliado pelo teste *F* (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, nsp $< 0,05$) para cada fator e a interação. A variabilidade dos dados em relação à média é representada pelo coeficiente de variação CV, e a proporção da variância total é explicada pelo R^2 .

4.2.1 AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA NA FOLHA

O conteúdo relativo de água nas plantas, não apresentou diferença estatística significativa para os fatores demanda atmosférica ou $[CO_2]$, no entanto, diferenças foram observadas para o fator regime hídrico, onde os tratamentos com 100% de AD apresentaram valores mais altos, quando comparados aos regimes com 50% de AD, dentro do mesmo microclima e $[CO_2]$ (Figura 20).

Figura 20 – Conteúdo relativo de água (CRA) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



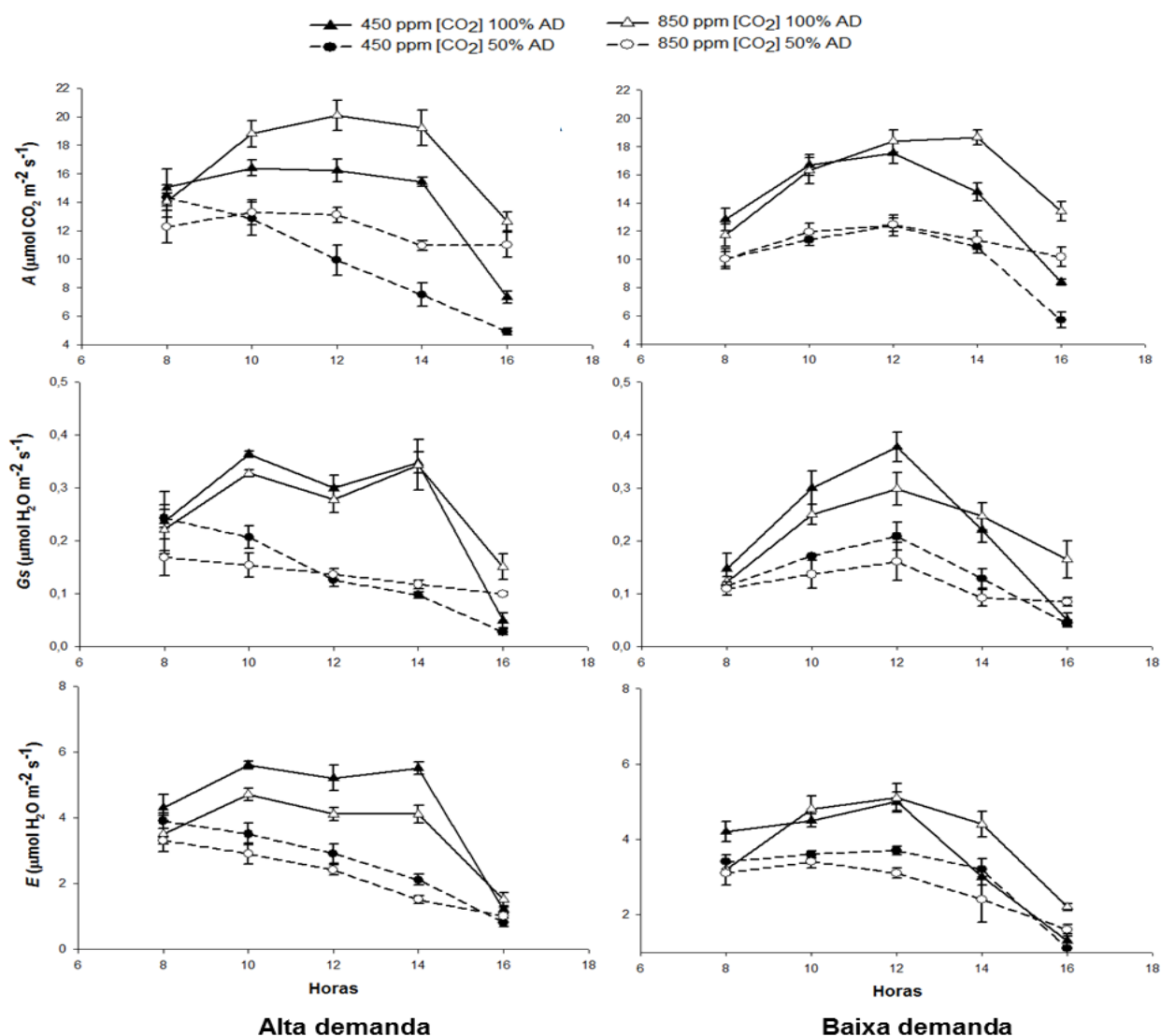
Para a mesma variável, médias seguidas por uma mesma letra não são significativamente diferentes. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

4.2.2 CURSOS DIURNOS DAS TROCAS GASOSAS

Ao final do experimento, os cursos diurnos das trocas gasosas apresentaram comportamentos distintos nos diferentes microclimas, $[CO_2]$ e regimes hídricos. No microclima com alta demanda atmosférica, observou-se maiores valores de fotossíntese para o tratamento sob 850 ppm de $[CO_2]$ e 100% de AD ao longo do dia a partir das 10 horas, resultados que foram superiores a todos os outros neste microclima ($20,1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). O tratamento com 50% de AD e 450 ppm de $[CO_2]$, foi o que apresentou os menores valores neste microclima, sendo que teve seu valor mais alto de fotossíntese as oito horas ($14,3 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e durante todos os outros

horários mensurados, esse valor apenas decresceu. Merece destaque neste microclima, o tratamento sob 50% de AD e 850 ppm de $[CO_2]$, onde o mesmo teve um estável comportamento da fotossíntese no decorrer do dia (Figura 21).

Figura 21 – Valores médio ($n=4$) do curso diurno de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) para o eucalipto submetido a diferentes microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e regimes hídricos (50% e 100% de AD), com 94 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



O tratamento sob 100% de AD e 850 ppm de $[CO_2]$, foi o que maiores valores de fotossíntese obteve ao longo do dia no microclima de baixa demanda atmosférica ($18,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), onde os valores deste, ao decorrer do dia, continuaram aumentando até as quatorze horas. Neste microclima as plantas com 50% de AD, em

ambas as $[\text{CO}_2]$, apresentaram comportamento similar até as quatorze horas, quando então o tratamento sob 850 ppm de $[\text{CO}_2]$, apresentou uma queda menos acentuada na fotossíntese.

Os tratamentos com 100% de AD e 450 ppm de $[\text{CO}_2]$, em ambos os microclimas, tiveram um desempenho intermediário, no entanto, o tratamento no microclima sob baixa demanda apresentou valores superiores de assimilação líquida de CO_2 ao longo do dia.

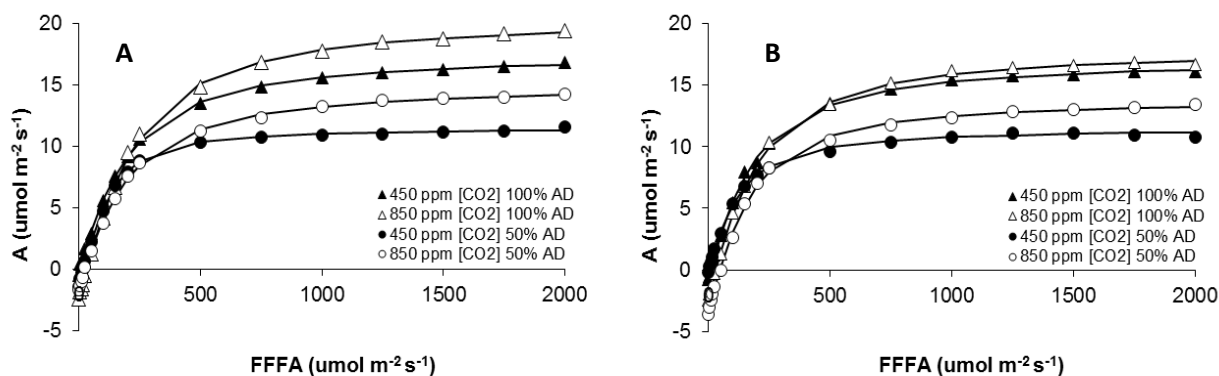
A condutância estomática (G_s), foi maior nos tratamentos com maior nível de água no solo em ambos os microclimas, no entanto, as plantas no sob alta demanda atmosférica conseguiram manter valores mais altos de G_s até as 14h, diferente das plantas sob baixa demanda onde os valores começaram a diminuir a partir das 12h.

Em ambos os microclimas, a transpiração (E) foi mantida, quando sob 100% de AD, independente da $[\text{CO}_2]$. No microclima de baixa demanda atmosférica, o tratamento sob $[\text{CO}_2]$ de 850 ppm e 50% de AD, apresentou menores valores de E durante todo o dia.

4.2.3 CURVAS DE RESPOSTA À LUZ

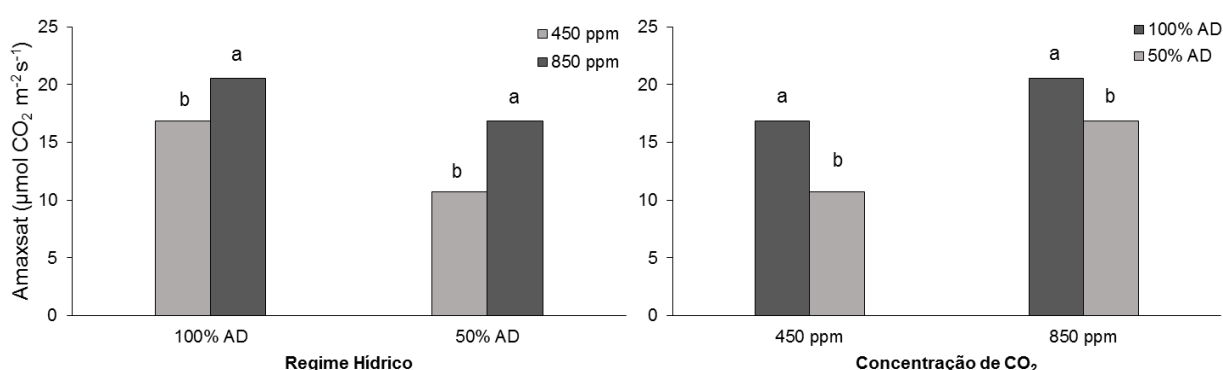
A assimilação líquida de CO_2 em resposta a luz, ocorreu de maneira diferenciada nos dois microclimas (Figura 22).

Figura 22 – Curvas de assimilação líquida de CO_2 em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos para clone de eucalipto submetido a diferentes microclimas, concentrações de CO_2 e regimes hídricos: A- Com alta demanda atmosférica. B- Com baixa demanda atmosférica, com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



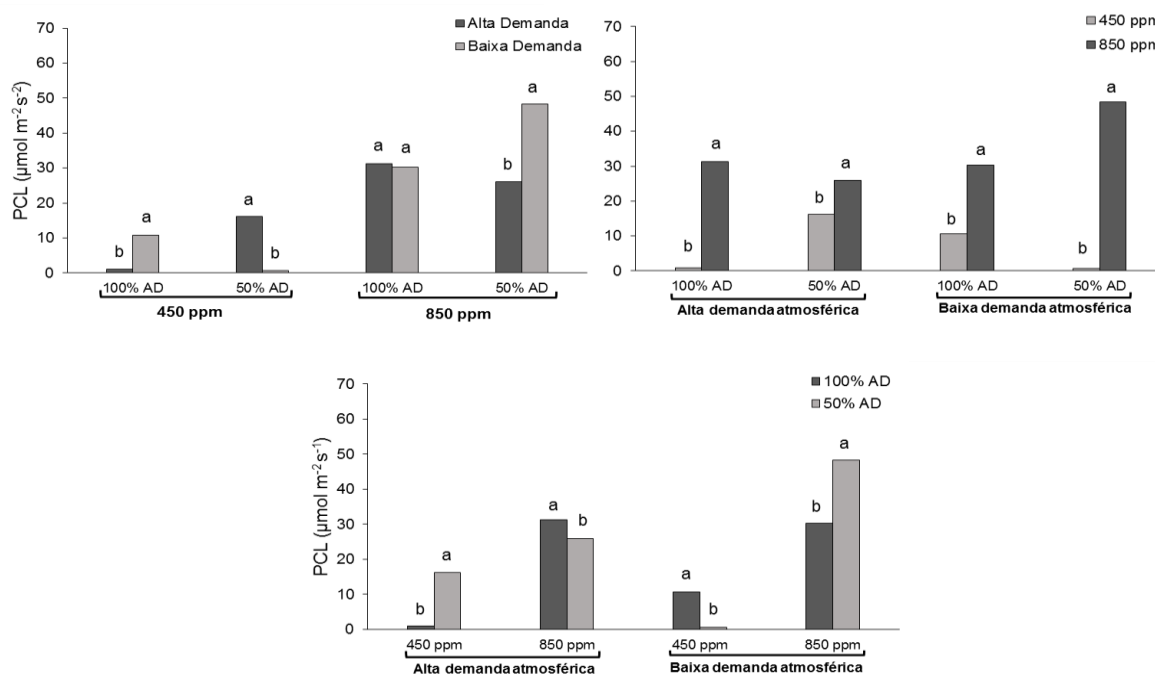
As plantas na concentração de 850 ppm de CO₂, obteve valores de *Amaxsat* superiores em ambos os regimes hídricos. Para esta variável, todos os tratamentos diferiram entre si, dentro de cada microclima e concentração, para o regime hídrico, tendo as plantas, sob 100% de AD, obtido os maiores valores (Figura 23).

Figura 23 – Taxa fotossintética líquida máxima saturante ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



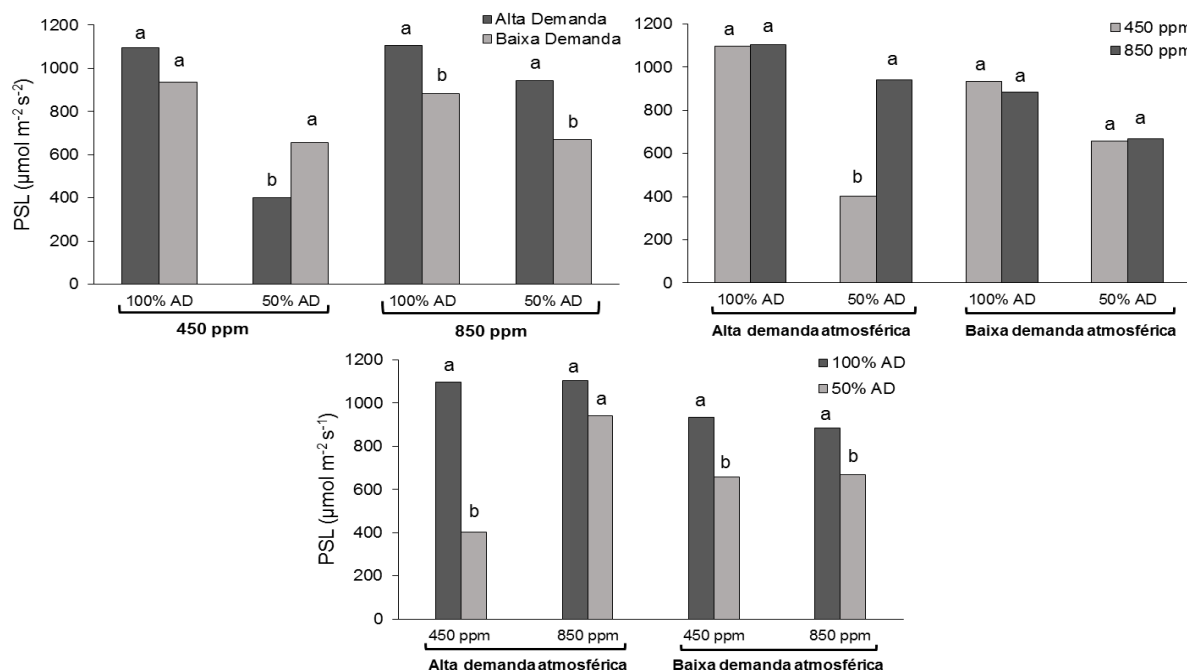
Os valores médios de *PCL*, entre microclimas e dentro de cada [CO₂] e regime hídrico, foram superiores para os tratamentos sob baixa demanda, exceto o tratamento sob 450 ppm de [CO₂] e 50% de AD neste microclima. As concentrações de [CO₂] evidenciaram diferenças entre todos os tratamentos dentro de cada microclima e regime hídrico para esta variável, tendo a [CO₂] de 850 ppm alcançado os maiores valores para esta variável. O fator regime hídrico provocou diferença estatística para os tratamentos sob 850 ppm de [CO₂] nos dois microclimas, no entanto, sob alta demanda, o *PCL* do tratamento com 100% de AD, nesta concentração, foi superior e em baixa demanda destacou-se aqueles com o nível de 50% de AD (Figura 24).

Figura 24 – Ponto de compensação de luz ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



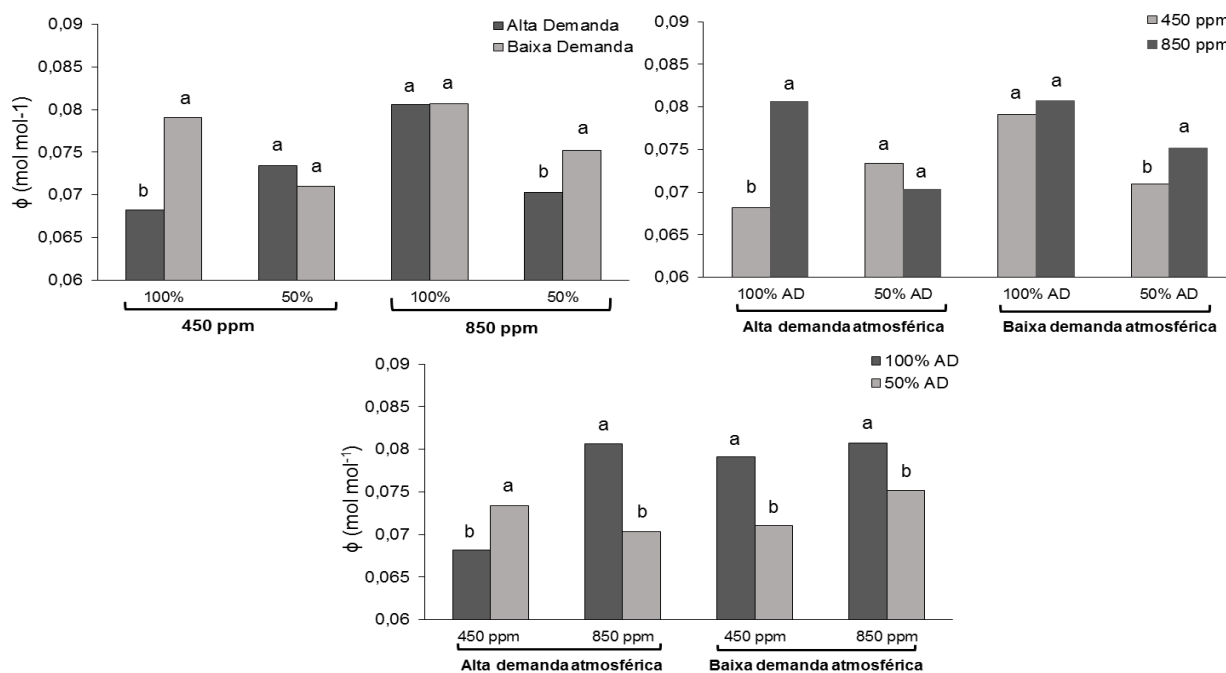
Todos os tratamentos no microclima sob alta demanda atmosférica, exceto aquele sob 450 ppm de [CO₂] e 50% de AD, foram superiores para a variável *PSL*, dentro de cada concentração e regime hídrico. As diferentes concentrações apenas evidenciaram diferenças nos tratamentos com 50% de AD sob alta demanda atmosférica. As médias do *PSL* de todos os tratamentos, apresentaram diferenças para o fator regime hídrico, exceto aqueles sob 850 ppm de [CO₂] e alta demanda atmosférica, tendo as plantas submetidas a 100% de AD obtido os maiores valores (Figura 25).

Figura 25 – Ponto de saturação de luz ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



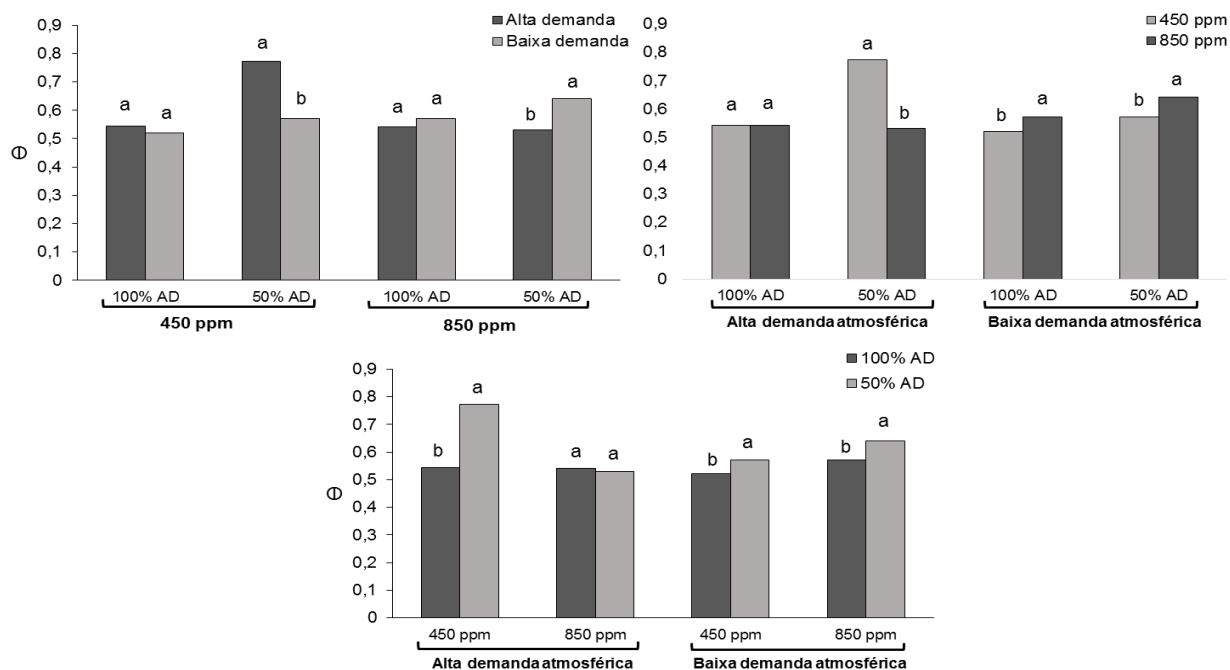
As médias de eficiência quântica (ϕ), entre microclimas, dentro de mesma concentração e regime hídrico foram diferentes apenas para mudas sob 100% de AD e 450 ppm de [CO₂], e do tratamento sob 50% de AD e 850 ppm de [CO₂]. Para esta mesma variável, a só promoveu diferenças entre aqueles com 100% de AD sob alta demanda, além do tratamento sob 50% de AD em baixa demanda. Somente no tratamento sob 450 ppm de [CO₂] em alta demanda, as plantas com 50% de AD obtiveram valores de ϕ maior que o tratamento com 100% de AD, nas demais comparações, as plantas com o nível de 100% de AD mostraram resultados superiores as de 50% de AD (Figura 26).

Figura 26 – Eficiência quântica ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



A convexidade da curva (θ), apresentou diferença significativa entre microclimas, sendo os valores superiores obtidos pelos tratamentos com 50% de AD em ambos os microclimas. Nas diferentes [CO₂] se observou diferenças estatísticas nas comparações entre os tratamentos sob baixa demanda atmosférica, além daqueles sob alta demanda nos regimes com 50% de AD. Os valores de θ dos tratamentos no microclima de baixa demanda indicaram diferenças para o regime hídrico, tendo os tratamentos com 50% de AD, obtido valores superiores de convexidade da curva, além destes, no microclima de alta demanda sob 450 ppm de [CO₂], os tratamentos também apresentaram diferenças estatísticas (Figura 27).

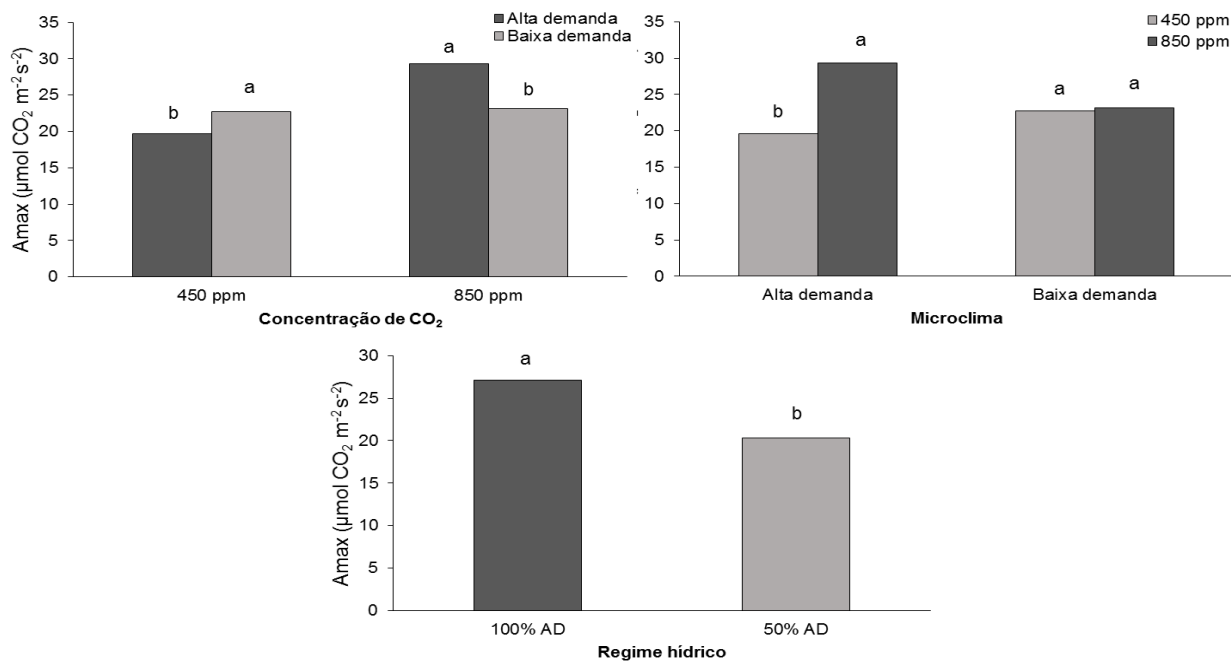
Figura 27 – Convexidade da curva de luz ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 81 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



4.2.4 CURVAS DE RESPOSTA AO CO₂

No microclima sob alta demanda verificou-se maiores valores de A_{max} sob 850 ppm de [CO₂], no microclima de baixa demanda, as plantas apresentaram maiores valores em 450 ppm de [CO₂]. As plantas sob 850 ppm de [CO₂] apresentaram valores superiores apenas no microclima sob alta demanda atmosférica. Os tratamentos com 100% de AD indicaram os maiores valores de A_{max} em todas as comparações de regime hídrico (Figura 28).

Figura 28 – Taxa máxima de assimilação do carbono ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



A comparação de microclima para a taxa máxima de carboxilação da Rubisco (V_{max}), mostrou que sob alta demanda atmosférica foi onde os tratamentos exibiram os maiores valores em ambas as concentrações de CO₂. As plantas submetidas a 850 ppm de [CO₂] apresentaram valores superiores aquelas sob [CO₂] de 450 ppm em ambos os microclimas. Os tratamentos com 100% de AD obtiveram maiores valores médios para V_{max} (Figura 29).

As médias da variável taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max}), apresentaram diferenças estatísticas apenas para o fator regime hídrico, obtendo o tratamento sob 100% de AD, maiores valores para esta variável (Figura 30).

Figura 29 – Velocidade máxima de carboxilação da Rubisco ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.

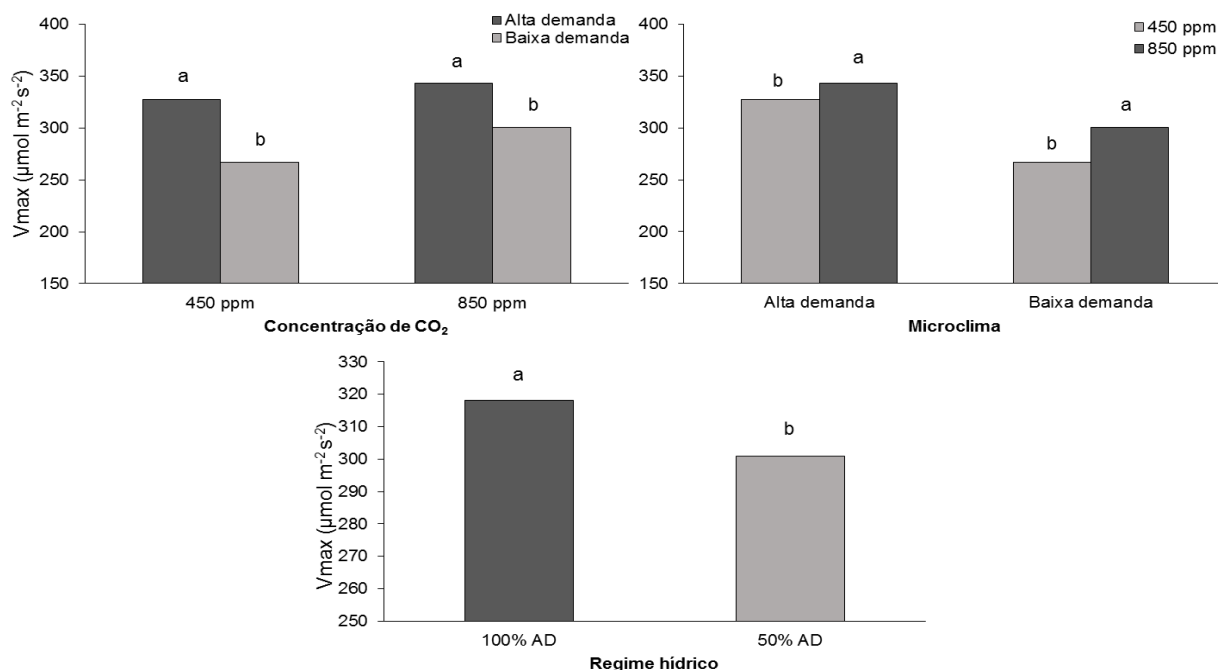
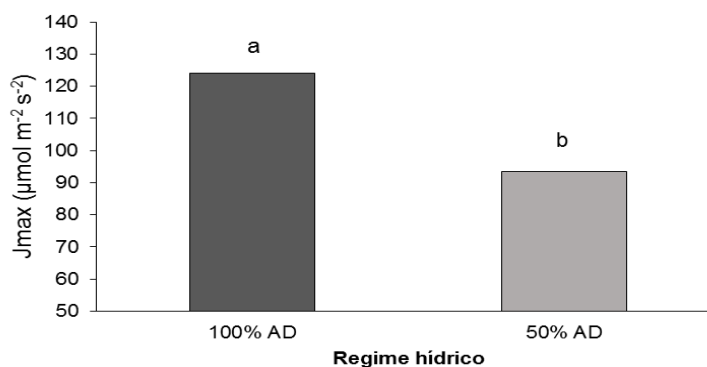
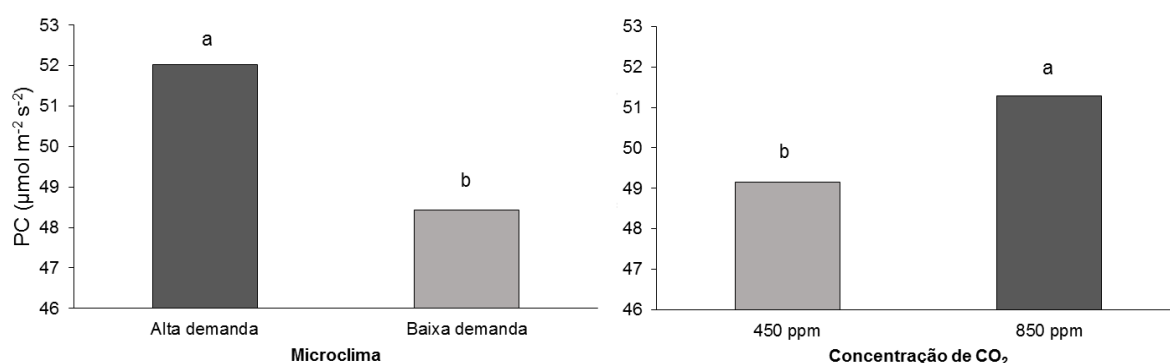


Figura 30 – Taxa máxima de transporte de elétrons para a regeneração da Rubisco ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



O ponto de compensação de CO₂ (PC), apresentou diferenças significativas isoladamente para os fatores microclima e [CO₂], onde as plantas apresentaram maiores resultados no microclima sob alta demanda atmosférica e na concentração, se destacou aquela com 850 ppm (Figura 31).

Figura 31 – Ponto de compensação por CO₂ ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO₂ (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



Os valores médios das variáveis do ponto de saturação de CO₂ (P_{sat}), indicaram diferenças estatísticas em todos os diferentes fatores, no entanto, de forma isolada, onde no microclima sob alta demanda atmosférica os tratamentos obtiveram os maiores resultados. Todos os tratamentos sob [CO₂] de 850 ppm, apresentaram maiores valores, para esta variável. Todos os tratamentos com 100% de AD, também mostraram valores superiores para P_{sat} (Figura 32).

A evolução das curvas, mostra que no microclima com alta demanda, os tratamentos indicaram diferentes valores para concentração interna de CO₂ (Figura 33).

Figura 32 – Ponto de saturação por CO_2 ($n=3$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.

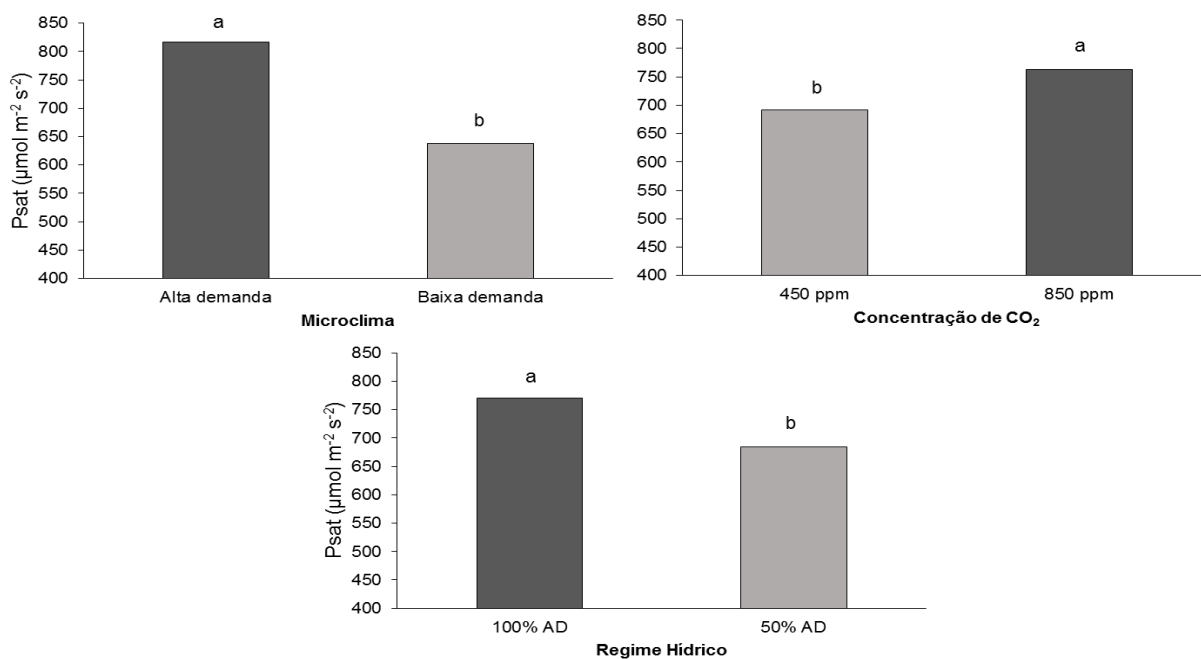
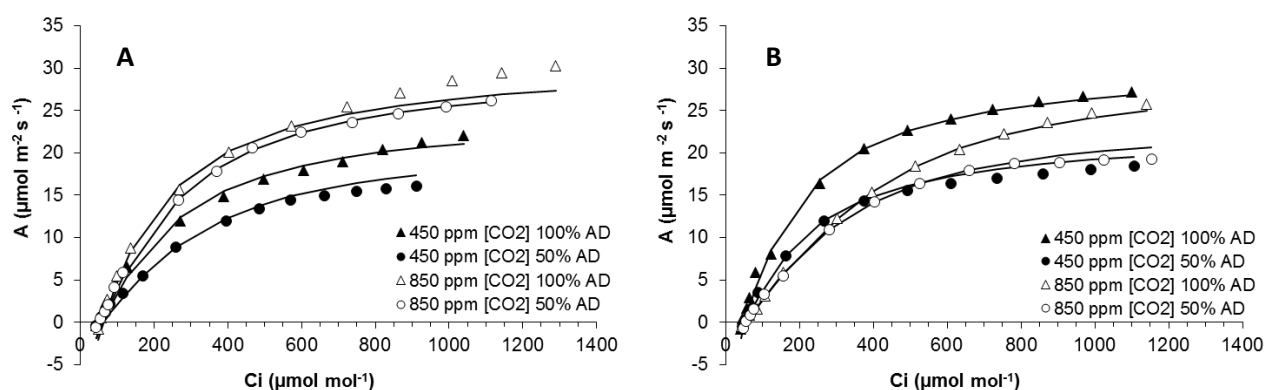


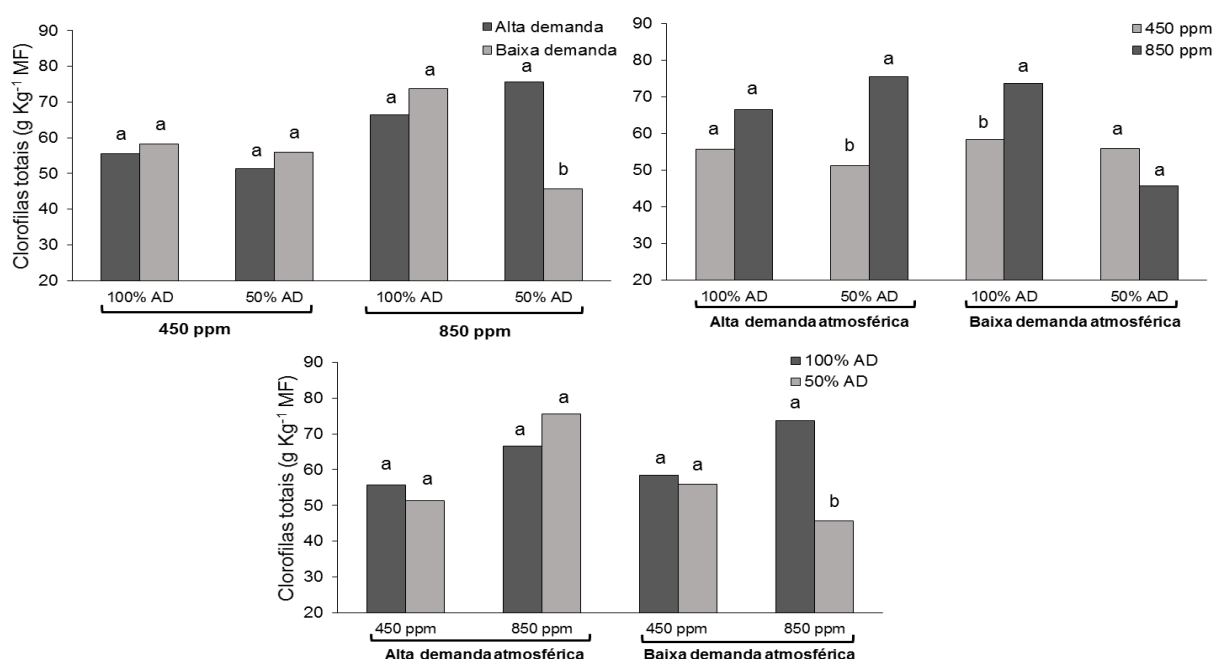
Figura 33 – Curvas de assimilação líquida de CO_2 em função da concentração interna de CO_2 para o eucalipto submetido a diferentes microclimas, concentrações de CO_2 e regimes hídricos: A- Com alta demanda atmosférica. B- Com baixa demanda atmosférica, com 88 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



4.2.5 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

A variável *Chl a+b*, apresentou interação tripla entre os fatores, onde no microclima sob alta demanda as médias indicaram valores superiores apenas para os tratamentos sob 850 ppm de $[CO_2]$ e com 50% de AD. Diferenças na $[CO_2]$ foram observadas em ambos os microclimas, no entanto sob alta demanda em 50% de AD 850 ppm de $[CO_2]$ foi superior, sob baixa demanda esta mesma concentração foi superior com o nível de AD em 100%. O regime hídrico de 100% obteve valor superior no tratamento sob 850 ppm de $[CO_2]$ e baixa demanda atmosférica (Figura 34).

Figura 34 – Clorofilas totais ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 90 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



No microclima de alta demanda atmosférica, o tratamento sob 850 ppm de $[CO_2]$, com 50% de AD, apresentou valores mais elevados em relação ao tratamento sob baixa demanda para as médias de carotenoides. Diferenças para o fator $[CO_2]$, foram notadas esta variável, sendo que plantas sob $[CO_2]$ de 850 ppm apresentaram valores superiores sob alta demanda e 50% de AD e sob baixa demanda e 50% de AD, a $[CO_2]$ de 450 ppm apresentou maiores valores. Quanto aos níveis de água,

sobressaiu-se o nível de 50% sob condições de alta demanda e 850 ppm de $[\text{CO}_2]$, e 100% em baixa demanda e mesma concentração (Figura 35).

A razão de clorofila a/b apresentou interação entre os fatores microclima e $[\text{CO}_2]$. As médias desta variável obtiveram valores superiores sob alta demanda e 850 ppm de $[\text{CO}_2]$ (Figura 36).

Figura 35 – Carotenóides ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 90 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.

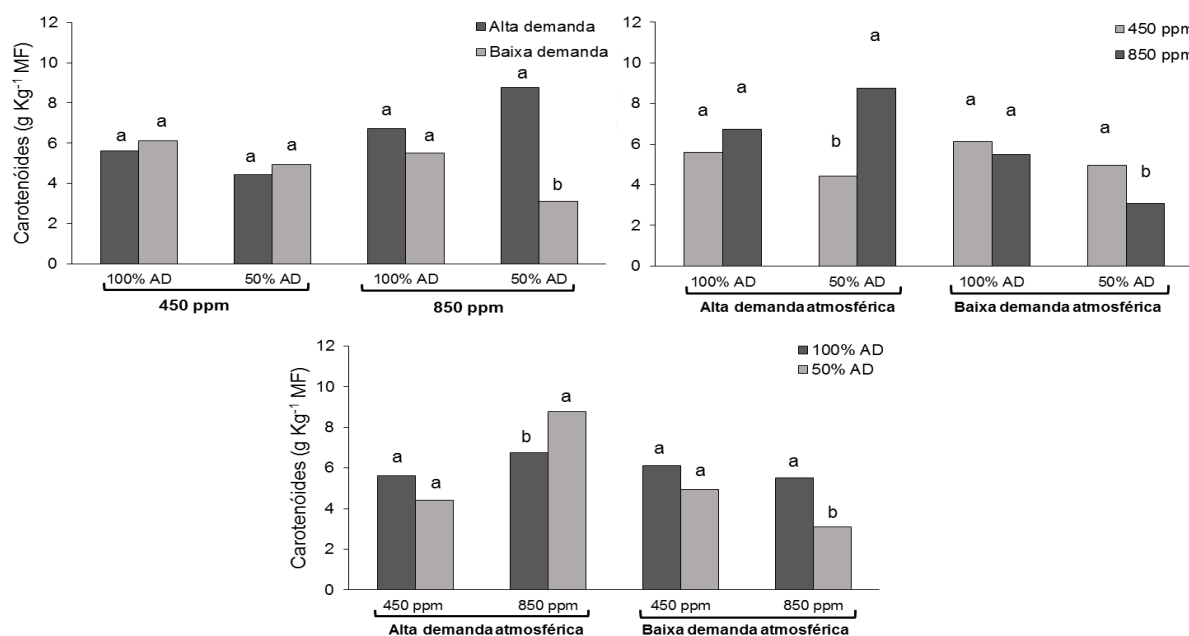
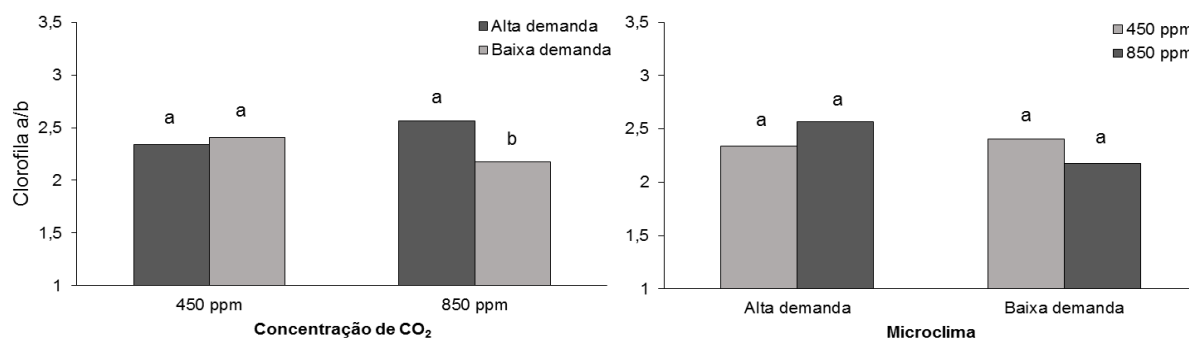


Figura 36 – Razão clorofila a/b ($n=4$) de clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação climatizada sob dois microclimas, alta demanda atmosférica (Temp. 27 °C; DPV 1,90 Kpa) e baixa demanda atmosférica (Temp. 22 °C; DPV 0,41 Kpa); duas concentrações de CO_2 (450 ppm e 850 ppm) e diferentes níveis de água no solo (50% e 100% de AD), com 90 dias de crescimento, em Jerônimo Monteiro- ES.



5. DISCUSSÃO

De maneira geral, verificou-se que as mudas sob alta demanda atmosférica obtiveram os maiores e menores valores de crescimento, dependendo da disponibilidade hídrica no solo e concentração atmosférica de CO₂.

A produção de biomassa foi maior em concentrações elevadas de CO₂ sob alta demanda atmosférica, independente do regime hídrico, isto está de acordo com o aumento da produção de matéria seca total em muitas espécies de plantas, onde este aumento está correlacionado com o aumento dos níveis de CO₂ e são mais evidenciados durante as fases iniciais do crescimento e desenvolvimento vegetativo (CHU; COLMAN; MOONEY, 1992; JWA; WALLING, 2001).

Os tratamentos com 50% de AD e alta demanda, apresentaram resultado inferior, para *MST*, aqueles com 100% de AD. Condições de menor disponibilidade de água no solo podem fazer com que vários processos metabólicos das plantas sejam influenciados, como aqueles que reduzem o conteúdo de soluto das células-guarda, resultando no fechamento estomático e posteriormente na redução da condutância estomática, impedindo que um dos principais substratos para a fotossíntese, o CO₂, chegue ao interior da folha, levando ao declínio da taxa de crescimento (PORTES; ALVES; SOUZA, 2006; SCALON et al., 2011).

Nas plantas sob 50% de AD e alta demanda, porém, sob elevada [CO₂], os efeitos inibidores do déficit hídrico no aumento da *MST* foram praticamente ignorados. Resultados parecidos foram encontrados por Qaderi *et al.*, (2006), quando simularam os efeitos de dióxido de carbono, temperatura e seca, três componentes do aquecimento global no crescimento, trocas gasosas, fluorescência e pigmentos fotossintéticos de *Brassica napus*. Roden e Ball (1996), estudando efeitos de seca e CO₂ em eucalipto, também afirmaram que sua análise de crescimento indicou que o aumento da [CO₂] pode permitir melhor desempenho no crescimento de espécies de eucalipto em condições de baixa umidade do solo.

Este resultado pode ser relevante para a produção de eucalipto em circunstâncias de concretização das projeções das mudanças climáticas globais, onde as mudanças mais prováveis para as áreas de cultivo do clone são aumento da temperatura e da concentração de CO₂ e diminuição da disponibilidade hídrica no solo. No caso de se confirmarem as projeções, segundos os resultados obtidos neste

estudo, a expectativa é de que ocorra a manutenção da produção de biomassa neste clone.

A diferença no acúmulo de *MST* entre os dois tratamentos com 50% de AD no microclima sob alta demanda nas duas diferentes concentrações de CO₂, pode ter sido proporcionada pela menor taxa de fotorrespiração das plantas do tratamento sob alta concentração de CO₂. No processo de fotorrespiração, a competição entre o oxigênio molecular e o carbono pelo sítio ativo da rubisco, acaba favorecendo o oxigênio, que ao final do ciclo de Calvin acaba não acrescentando açúcares para o crescimento da planta e apenas parte do carbono é novamente utilizado para regeneração da RuBP, enquanto outra parte é perdida para a atmosfera. A alta concentração de CO₂ no interior da folha, faz com que a atividade da rubisco favoreça a carboxilação do CO₂, fazendo com que haja menos perda e, conseqüentemente, maior incorporação do carbono na planta.

Os resultados dos tratamentos sob 100% de AD foram superiores a todos os de 50% de AD para *MST*, semelhante ao observado por Li e Wang (2003), quando após reduzir pela metade a água disponível no solo, verificaram redução de aproximadamente 40% da biomassa total de plântulas de 3 clones de eucalipto.

A expansão da área foliar, mostrou-se sensível a [CO₂] e do nível de água no solo, aumentando o seu valor com a elevação desses fatores, assim como verificado em outros estudos em OTC's (TAYLOR et al., 2001; CAMPBELL et al., 2005). No presente trabalho foi observado este comportamento, quando maiores [CO₂] promoveram um maior valor de *AF*. As respostas das plantas mostraram que um maior nível de água disponível no solo, resulta em maiores valores de *AF*, assim como encontrado para diferentes espécies de *Eucalyptus* sob níveis diferentes de AD no solo (LI; WANG, 2003; SILVA et al., 2004).

Folhas menos espessas foram observadas no tratamento sob elevada [CO₂] e alta demanda atmosférica em relação ao tratamento sob 450 ppm de [CO₂] no mesmo ambiente, denotando que a *AFE* para este clone se mostra sensível em concentrações diferentes de CO₂. Comportamento parecido foi observado por Taylor et al., (2001), em mudas de várias espécies de álamo em experimentos com OTC's na Bélgica, onde as plantas cultivadas sob elevada [CO₂] apresentaram espessura menor que as plantas cultivadas sob baixa concentração. O autor relaciona este comportamento à não aclimação da folha a elevada concentração de CO₂, o mesmo

relata que o acúmulo de carboidrato na folha, o que faz elevar o valor de *AFE*, pode ser considerado o início da aclimação da rubisco ao CO_2 elevado

A alocação de biomassa teve influência principalmente dos microclimas, onde a alta demanda atmosférica promoveu maiores valores de fração de raiz, enquanto que a baixa demanda proporcionou maiores proporções de parte aérea.

Mudanças no padrão de alocação de biomassa foram verificados para os diferentes níveis de água no solo, sendo observado maior investimento em massa de raiz nas mudas com menor nível de água no solo. Este comportamento é descrito por alguns autores como um recurso da planta para obter maior resistência a deficiência hídrica, pois no processo, a planta expande sua área radicular para aumentar seu contato com o solo e com isso compensar a deficiência hídrica (PINHEIRO et al., 2005; REIS et al., 2006). Este processo indica que, a razão parte aérea/parte subterrânea é alterada em favor das raízes, quanto maior for a exposição à seca. Segundo Taiz e Zeiger (2013), o ácido abscísico (ABA) pode promover o crescimento da raiz e a senescência foliar, como em plantas jovens a maior proporção de massa se encontra em massa de folhas, a maior produção do ABA pode indicar importante relação com a alocação de biomassa.

O uso da água pelas plantas foi mais eficiente quando em alta demanda atmosférica, em alta $[\text{CO}_2]$ e 100% de AD no solo. Ao que indica os resultados, o nível de 50% de AD não foi suficiente para que as plantas suprissem suas necessidades hídricas, interferindo no crescimento e eficiência no metabolismo do carbono pelas mesmas em relação ao nível de 50% de AD. O déficit hídrico, dentre outros, pode fazer com que haja uma diminuição na produção de energia na forma de ATP e NADPH a partir de uma menor atividade de fotólise da água na fase fotoquímica.

A produção mais expressiva de biomassa nos tratamentos em alta $[\text{CO}_2]$ e alta demanda fizeram com que a RAF destes fossem inferiores aos tratamentos sob baixa $[\text{CO}_2]$ neste microclima, o que sugere que estas plantas mostraram um potencial maior de produção, já que seus tecidos fotossintetizantes foram capazes de produzir maior quantidade de biomassa.

O conteúdo relativo de água (CRA) das plantas não foi afetado por microclimas ou concentrações diferentes de CO_2 , no entanto, os regimes hídricos aplicados mantiveram de fato os indivíduos em situações hídricas diferentes, como pode ser observado também nas taxas transpiratórias.

Fernandes *et al.*, (2015) também verificaram redução em CRA em eucalipto submetido a déficit hídrico, afirmando que para os clones estudados, não foi constatado a ativação de mecanismos, como o ajustamento osmótico, por exemplo, utilizado para manutenção do *status hídrico* em curto prazo.

O comportamento da taxa de assimilação líquida de carbono ao decorrer do dia no final do experimento foi semelhante dentro dos microclimas, onde os tratamentos com 100% de AD apresentaram maiores valores. O aumento de CO₂ atmosférico, acarretou em valores superiores de fotossíntese, em comparação a [CO₂] de 450 ppm dentro do mesmo ambiente, apenas no microclima sob alta demanda atmosférica. Fica evidenciado, também, o efeito negativo que o déficit hídrico causou na fotossíntese e condutância estomática das plantas, já comprovado em outros estudos (SAUSEN: ROSA, 2010; SICHER; BARNABY, 2012)

O microclima sob alta demanda atmosférica, foi o que maiores diferenças no comportamento da fotossíntese apresentou entre os tratamentos com mesmo nível de água, porém com [CO₂] diferentes. Em plantas sob 450 ppm de [CO₂], o déficit hídrico afetou substancialmente a assimilação líquida de carbono, no entanto, sob 50% de AD e [CO₂] elevado, o efeito do déficit sobre a fotossíntese parece ter sido reduzido pela alta concentração do dióxido de carbono. Sob baixa demanda atmosférica, este comportamento também pode ser observado, contudo, apenas no fim do dia.

Comportamentos semelhantes tem sido observado em outros estudos, onde fica constatado que o efeito que o incremento de CO₂ causa o retardamento ou redução dos efeitos do déficit hídrico na fotossíntese de plantas (SICHER; BARNABY, 2012), no caso deste estudo, estes efeitos puderam ser observados no crescimento das plantas, onde a redução desses efeitos na fotossíntese, pode ser claramente observada no total de massa seca produzida.

Os tratamentos com 100% de AD sob baixa demanda atmosférica e alto [CO₂], apresentou um comportamento contrário ao tratamento com mesmo nível de água e [CO₂], observado no microclima de alta demanda atmosférica, pois o aumento de CO₂, não se traduziu em maiores taxas fotossintéticas nas plantas. Uma possível explicação para este fato, pode ser a regulação das trocas gasosas por meio do aparato estomático, pois altas [CO₂] em determinadas situações, podem promover a acidificação do citoplasma em células guardas, o que acarreta em menor abertura

estomática e por conseguinte menor aquisição de CO₂ para fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A partir das medições de trocas gasosas realizadas nas curvas de luz, é possível observar que a elevada [CO₂] promoveu uma maior assimilação líquida de CO₂ pelas plantas, independente do microclima em que as mesmas estavam inseridas, apesar da alta demanda atmosférica proporcionar maiores valores de $A_{max_{sat}}$. Esse resultado pode ser corroborado por alguns outros estudos (MAYORGA, 2010; NORBY; ZAK, 2011; COSTA 2015; KITAO et al., 2016). Stirling *et al.* (1993), também detectaram queda na assimilação líquida de CO₂ em condições de baixa demanda atmosférica, correlacionando as quedas em fotossíntese com temperaturas mais baixas.

O *PCL*, situação em que o processo fotossintético assimila exatamente a mesma quantidade de CO₂ liberado pela respiração e nenhuma troca de CO₂ em um sentido preferencial entre a folha e a atmosfera é detectado, apresentou resultados superiores para os tratamentos sob elevada [CO₂], indicando que estas plantas têm uma taxa de respiração mais elevada que no tratamento sob concentração ambiente. Outros trabalhos têm verificados resultados semelhantes em estudos com incremento de CO₂ atmosférico (COSTA, 2015).

O *PSL* foi outro parâmetro, que apresentou maiores valores, sob alta demanda em alta [CO₂]. Neste microclima, o tratamento sob 450 ppm de [CO₂] e 50% de AD, apresentou o menor valor dentre todos os tratamentos do experimento, indicando que a combinação de fatores pode ter feito com que as plantas não realizassem maiores taxas fotossintéticas se preservando de danos como a formação de espécies reativas de oxigênio, por exemplo. A privação de substratos essenciais a fotossíntese pode ter reduzido a capacidade de transporte do sistema eletrônico, induzindo as plantas a menores ganhos fotossintéticos e consequentemente menor crescimento (LARCHER, 2000), resultado encontrado também por Lang *et al.*, (2013), em três espécies arbóreas.

A mínima variação da eficiência quântica (Φ), indica que não houve maiores disparidades para a inclinação da fase linear da curva de assimilação líquida de CO₂ em função da radiação, denotando, portanto, que a utilização dos fótons de luz foi realizada de forma parecida por todos os tratamentos.

As plantas apresentam tipicamente valores entre 0,7 a 0,99 para convexidade de curva (Θ) (OGREN, 1993), no entanto, autores citam que o valor médio ideal seria de 0,5 (MARSHALLI; BISCOE, 1980). Ressalta-se que valores mais próximos de 1, ocasionam uma redução da taxa fotossintética relativa em relação a fotossíntese máxima potencial, isto pode ser causado por restrições na difusão do CO_2 , regeneração da RUBP, entre outros (HAY; PORTER, 2006), sendo as várias formas de estresse, o desencadeador desse efeito. Os resultados de Θ para este estudo indicaram um menor desempenho do clone sob alta demanda atmosférica, 450 ppm de $[\text{CO}_2]$ e 50% de AD no solo, apresentando o valor de 0,77, o que significa que uma quantidade maior de luz poderia acarretar danos para plantas deste tratamento, o que de fato se observa nos resultados de crescimento. Os outros tratamentos apresentaram valores médios para esta variável.

Os resultados das curvas A/C_i , mostraram que o aumento da $[\text{CO}_2]$ indicou tendência no aumento da fotossíntese máxima (A_{max}) apenas nas plantas sob alta demanda atmosférica, podendo-se afirmar que, para este clone, sob baixa demanda atmosférica, o incremento de CO_2 não implica diretamente no aumento da fotossíntese máxima. Observou-se que todos os tratamentos irrigados tiveram maiores valores dentro das suas respectivas $[\text{CO}_2]$, o que não se refletiu na taxa de transporte de elétrons (J_{max}), no entanto, a A_{max} , neste estudo, pode ter se correlacionado com a velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{max}), já que estes também apresentaram tal comportamento dentro dos microclimas, tanto para os diferentes níveis de água quanto para as diferentes $[\text{CO}_2]$.

Segundo Larcher (2000), a temperatura age sobre a fotossíntese, sobretudo no transporte de elétrons e processos secundários, onde a fixação e redução do dióxido de carbono ocorre mais lentamente em baixas temperaturas, sendo que essas reações podem aumentar rapidamente assim que houver o aquecimento até um valor ótimo, neste estudo pode-se observar que a alta $[\text{CO}_2]$ estimulou apenas a A_{max} sob alta demanda. Embora a alteração na J_{max} , tenha sido mínima entre os tratamentos neste estudo, ela pode justificar as diferenças em V_{max} e consequentemente A_{max} , sabendo que autores em outros estudos correlacionam o comportamento destas variáveis (DANYAGRI; DANG, 2013).

O desempenho inferior da A_{max} , nas plantas sob baixa demanda atmosférica, pode estar ligado com a relação de menor temperatura e quantidade de CO_2 , pois é

citado por autores que menores temperaturas afetam a condutância mesofílica, uma vez que ocorre a diminuição na fluidez da membrana e com isso afetando o transporte de elétrons necessário para a regeneração da Rubisco (SALVUCCI; CRAFTS-BRANDNER, 2004; COSTA, 2015).

O ponto de compensação (PC), segundo Larcher (2000), aumenta com a maior oferta de fatores ambientais como temperatura e o mesmo se observou nos resultados dos tratamentos sob alta $[CO_2]$ entre os microclimas. Resultados parecidos foram encontrados por Campbel *et al.*, (2005), onde verificou-se um maior ponto de compensação em plantas de *Nicotiana tabacum* L. submetidas à altas temperaturas, combinadas com níveis mais elevados de CO_2 atmosférico. A resposta a todos os fatores aplicados no estudo foi observada no ponto de saturação de CO_2 (P_{sat}), onde fica evidenciada o melhor desempenho do clone para essa variável sob alta demanda atmosférica, níveis mais elevados de CO_2 atmosférico e 100% de AD.

Para a maioria dos tratamentos os teores de pigmentos não se diferenciaram estatisticamente, sendo que a única diferenciação percebida foi no tratamento sob baixa demanda, alto $[CO_2]$ e 100% de AD, com uma alta concentração. O aumento dos teores de pigmentos sob condições de concentrações elevadas de CO_2 tem sido verificada também por outros autores (SINGH; AGRAWAL, 2015).

Este resultado de semelhança na concentração, na maioria dos tratamentos, denota que as plantas podem ter se utilizado de outras estratégias, como melhor condutividade mesofílica e eficiência do uso da água, para obter maior crescimento ou desempenho fotossintético, resultado similar ao encontrado por Possel e Hewitt (2009), em estudo com *Acacia nigrescens* submetida a três diferentes concentrações de CO_2 atmosférico, sendo elas ambiente, abaixo e acima da concentração ambiente.

Netto *et al.*, (2009) e Silva *et al.*, (2015), afirmam que as reduções ou manutenções nas concentrações de pigmentos fotossintéticos podem ser interpretados como uma estratégia para reduzir a captura de energia luminosa, que em excesso pode ser revertido em dano para a planta. Embora essa estratégia possa causar a redução da eficiência fotossintética e do acúmulo de biomassa, a mesma evita que a planta sofra lesões em sua maquinaria fotossintética. Esse comportamento pode ter sido o adotado pelos clones de eucalipto estudado neste trabalho, não diferenciando, na maioria dos tratamentos, na concentração de pigmentos.

O déficit hídrico e as diferentes demandas atmosféricas não causaram diferenças estatísticas nos teores de pigmentos fotossintéticos. Autores têm encontrado resultados semelhante, onde maior oferta de água não significa diretamente um aumento dos teores de pigmentos (SAUSEN; ROSA, 2010).

6. CONCLUSÕES

A elevada concentração de CO₂ combinada com maior quantidade de água disponível no solo proporcionou maiores valores de crescimento e trocas gasosas no microclima de alta demanda atmosférica.

A elevação da concentração de CO₂ atmosférico, reduziu os efeitos do menor nível de água disponível no solo e maior demanda evaporativa da atmosfera no crescimento e evitando quedas mais acentuadas no curso diurno da fotossíntese, conferindo maiores valores de biomassa.

O crescimento de plantas em microclima sob baixa demanda atmosférica mostrou-se indiferente ao incremento de CO₂ atmosférico, no entanto, este mesmo microclima apresentou-se menos severo quando em condições de menores níveis de água disponível no solo.

Concretizando-se as projeções de mudanças climáticas, com o aumento da temperatura, concentração de CO₂ e diminuição da disponibilidade hídrica pela distribuição irregular da precipitação, o clone estudado terá condições de manutenção da produção de biomassa.

REFERÊNCIAS

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

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo. **Ciência Florestal**, v.20, p.335-344, 2010.

BAESSO, R. C. E. **Efeitos do CO₂ na eficiência quântica do eucalipto e sua utilização na modelagem de seu crescimento pelo 3-PG**. 2011. 118f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BARRETTO, V. C. de M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. de A., TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis**, p.21-33, 2007.

BEDON, F.; MAJADA, J.; FEITO, I.; CHAUMEIL, P.; DUPUY, J. W.; LOMENECH, A. M.; BARRE, A.; GION, J. M.; PLOMION, C. Interaction between environmental factors affects the accumulation of root proteins in hydroponically grown *Eucalyptus globulus* (Labill.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v.49, p.69-76, 2011.

BOOTH, T. H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest Ecology and Management**, v.301, p.28-34, 2013.

CAMPBELL, C. D.; SAGE, R. F.; KOCACINAR, F.; WAY, D. A. Estimation of the whole-plant CO₂ compensation point of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). **Global Change Biology**, v.11, p.1956-1967, 2005.

CARDOSO, M. C.; JUSTINO, F. Simulação dos componentes de evapotranspiração sob condições climáticas atuais e de cenários climáticos futuros de aquecimento global com o uso de modelos de clima-vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, p.85-95, 2014.

CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime Hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.701-709, 2000.

CHU, C. C.; COLMAN, J. S.; MOONEY, H. A. Controls of biomass partition in between root and shoots: atmospheric CO₂ enrichment and the acquisition and allocation of carbon and nitrogen in wild radish. **Oecologia**, v.89, p.580-587, 1992.

COSTA, E. M. **Crescimento de mudas clonais de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg em diferentes regimes térmicos, concentração de CO₂ e níveis de água no solo**. 2015, 91f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro.

COX, J. A.; CONRAN, G. The effect of water stress on the life cycles of *Erodium crinitum* Carolin and *Erodium cicutarium* (L.) L'Hérit. ex Alton (Geraniaceae). **Australian Journal of Ecology**, v.21, p.235-240, 1996.

DANYAGRI, G.; DANG, Q. L. Effects of Elevated [CO₂] and Low Soil Moisture on the Physiological Responses of Mountain Maple (*Acer spicatum* L.) Seedlings to Light. **Plos One**, v.8, p.1-8, 2013.

ETHIER, G. J.; LIVINGSTON, N. J. On the need to incorporate sensitivity to CO₂ transfer conductance into the Farquhar-von Caemmerer-Berry leaf photosynthesis model. **Plant, Cell and Environment**, v.27, p.137-153, 2004.

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. **Planta**, v.149, p.78-90, 1980.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, p.29-34, 2015.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 4. ed. atualiz. ampl. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 733 p.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. C.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010.

GHINI, R.; HAMADA E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 356p, 2011.

GRANDIS, A. **Respostas fotossintéticas e de crescimento da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de CO₂**. 2010, 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GRANDIS, A.; GODOI, S.; BUCKERIDGE, M. S. Respostas fisiológicas de plantas amazônicas de regiões alagadas às mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Botânica**. V.33, p.1-12, 2010.

HAY, R.; PORTER, J. **The physiology of crop yield**. 2 ed. Oxford: Blackwell, 2006.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico do IBÁ 2015 - ano base 2014**. Brasília, DF, 80p. 2015.

IORIS, A. A. R.; IRIGARAY, C. T.; GIRARD, P. Institutional Responses to Climate Change: Opportunities and Barriers for Adaptation in the Pantanal and the Upper Paraguay River Basin. **Climatic Change**, v.127, p.139-151, 2014.

IPCC. **Climate Change 2014 – Synthesis Report**, approved draft, 2014.

JWA, N. S.; WALLING, L. L. Influence of elevated CO₂ concentration on disease development in tomato. **New Phytologist**, Riverside, v.149, p.509-518, 2001.

KITAO, M.; HIDA, T.; EGUCHI, N.; TOBITA, H.; UTSUGI, H.; UEMURA, A.; KITAOKA, S.; KOIKE, T. Light compensation points in shade-grown seedlings of deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under elevated CO₂. **Plant Biology**, v.18, p.22-27, 2016.

KÖRNER, C. Plant CO₂ responses: na issue of definition, time and resource supply. **New Phytologist**, v.172, p.393-411, 2006.

KÖRNER, C. Responses of humid tropical trees to rising CO₂. **The anual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v.40, p.61-79, 2009.

KUMAR, S.; CHAITANYA, B. S. K.; GHATTY, S.; REDDY, A. R. Growth, reproductive phenology and yield responses of a potential biofuel plant, *Jatropha curcas* grown under projected 2050 levels of elevated CO₂. **Physiologia Plantarum**, v.152, p.501-519, 2014.

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

LANG, Y.; WANG, M.; ZHANG, G. C.; ZHAO, Q. K. Experimental and simulated light responses of photosynthesis in leaves of three tree species under diferente soil water conditions. **Photosynthetica**, v.51, p.370-378, 2013.

LI, C.; WANG, K. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Populations. **Forest Ecology and Management**, v.179, p.377-385, 2003.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.

LIU F.; STUTZEL, H. Leaf expansion, stomatal conductance, and transpiration of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to soil drying. **Journal Of The American Society For Horticultural Science**, v.127, p.878-883, 2002.

LUO, Y.; CHEN, J. L.; REYNOLDS, J. F.; FIELD, C. B.; MOONEY, H. A. Disproportional increases in photosynthesis and plant biomass in a Californian grassland exposed to elevated CO₂: a simulation analysis. **Functional Ecology**, Stanford, v.11, p.696-703, 1997.

MACFARLANE, C.; WHITE, D. A.; ADAMS, M. A. The aparente feed-forward response to vapour pressure déficit of stomata in droughted, field-grown *Eucalyptus globulus* Labill. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 27, p. 1268-1280, 2004

MAYORGA, A. Y. **Desenvolvimento e efeito da concentração atmosférica de CO₂ e da temperatura em plantas juvenis de *Hymenaea courbaril* L., jatobá.**

2010, 180 f. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo.

MARCELIS L. F. M.; HEUVELINK E.; GOUDRIAAN, J. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. **Scientia Horticulturae**, v.74, p.83-111, 1998.

MARENCO R.A.; LOPES N. F. **Fisiologia Vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV. p.177, 2005.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**. MMA, Brasília. p.20, 2006.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

MARSHALLI, B.; BISCOE, P. V. A model for C3 leaves describing the dependence of net photosynthesis on irradiance. **Journal of Experimental Botany**, v. 31, p. 29–39, 1980.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. A. **Cultura do eucalipto no Brasil**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. São Paulo, SP, 2000.

MORAES, L. C. C. A. V. **Caderno do eucalipto**. Viçosa, MG, 2009.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; AZEVEDO, L. C.; SOUZA, M. A.; RAMALHO, J. C.; CHAVES, M. M. Morphological analysis and photosynthetic performance of improved papaya genotypes, **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.21, p. 209-222, 2009.

NGUGI, M. R.; HUNT, D. D.; DOLEY, D.; RYAN, P.; DART, P. Selection of species and provenances for low-rainfall areas: physiological responses of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* to seasonal conditions in subtropical Queensland. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 141-156, 2004.

NOAA-ESRL – National Ocean and Atmospheric Administration - Earth System Research Laboratory. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. 2016. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em: 28 de jun. 2016.

NORBY, R. J.; ZAK, D. R. Ecological Lessons from Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) Experiments. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 42, p.181-203, 2011.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa. SEA, p. 189-255, 1991.

OGREN, E. Convexity of the Photosynthetic Light-Response Curve in Relation to Intensity and Direction of Light during Growth. **Plant Physiology**, v.101, p.1013-1019, 1993.

ÖGREN, E.; EVANS, J. R. Photosynthetic light-response curves: the influence of CO₂ partial pressure and leaf inversion. **Planta**, v.189, p.182-190, 1993.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, p.247-267, 2002.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 96, p. 101-108, 2005.

PINTO, H. S. Adaptação do setor agrícola brasileiro. In: MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; ZEE, D.; PINTO, H. S. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), Rio de Janeiro, 2009, p.34-51. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf>. Acesso em: 8 de set. 2015.

PORTES, M. T.; ALVES, T. H.; SOUZA, G. M. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, v. 18, p.491-502, 2006.

POSSEL, M.; HEWITT, C. N. Gas exchange and photosynthetic performance of the tropical tree *Acacia nigrescens* when grown in different CO₂ concentrations. **Planta**, v.229, n.4, p.837-846, 2009.

QADERI, M. M.; KUREPIN, L. V.; REID, D. M. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to there componentes of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. **Physiologia Plantarum**, v.128, p.710-721, 2006.

REIS G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. R. crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v.30, p.921-931, 2006.

RODEN, J. S.; BALL, M. C. The Effect of Elevated [CO₂] on Growth and Photosynthesis of Two Eucalyptus Species Exposed to High Temperatures and Water Deficits. **Plant Physiology**, v.111, p. 909-919, 1996.

SALVUCCI, M. E.; CRAFTS-BRANDNER, S. J. Mechanism for deactivation of Rubisco under moderate heat stress. **Physiologia Plantarum**, v. 122, p. 513-519, 2004.

SAUSEN, T. L.; ROSA, L. M. G.; Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. **Acta Botanica Brasilica**, v.24, p.648-654, 2010.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. de M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Water stress in metabolism and initial growth of mutambo (*Guazuma Umifolia* Lam.) Seedlings. **Ciência Florestal**, v.21, p.655-662, 2011.

SICHER, R. C.; BARNABY, J. Y. Impact of carbon dioxide enrichment on the responses of maize leaf transcripts and metabolites to water stress. **Physiologia Plantarum**, v.144, p.238-253, 2012.

SILVA, C. F.; SHVALEVA, A.; MAROCO, J. P.; ALMEIDA, M. H.; CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S. Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance, **Tree Physiology**, v.24, p.1165-1172. 2004.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT: Versão 7.7 beta**. DEAG-CTRN-UFCG – Atualizado em 01 de março de 2016. Disponível em: <www.assistat.com>. Acesso em: 16 de março de 2016.

SILVA, F. V. F.; MENDES, B. S.; ROCHA, M. S.; BRITO NETO, J. F.; BELTRÃO, N. E. M.; SOFIATTI, V. Photosynthetic pigments and gas exchange in castor bean under conditions of above the optimal temperature and high CO₂. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.37, p. 331-337, 2015.

SINGH, A.; AGRAWAL, M. Effects of ambient and elevated CO₂ on growth, chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, antioxidants, and secondary metabolites of *Catharanthus roseus* (L.) G Don. grown under three different soil N levels. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, p.3936-3946, 2015.

SPOLEN, W. G.; LENOBLE, M. E.; SAMUELS, T. D.; BERNSTEIN, N.; SHARP, R. E. Absciscic Acid Accumulation Maintains Maize Primary Root Elongation at Low Water Potentials by Restricting Ethylene Production. **Plant Physiology**, v.122, p.967–976, 2000.

STIRLING, C. M.; RODRIGO, V. H.; EMBERRU, J. Chilling and photosynthetic productivity of field grown maize (*Zea mays*); change in the parameters of the light-response curve, canopy leaf CO₂ assimilation rate and crop radiation-use efficiency. **Photosynthesis Research**, v.38, p.125-133, 1993.

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

TAYLOR, G.; CELEUMANS, R.; FERRIS, R.; GARDNER, S. D. L.; SHAO, B. Y. Increased leaf área expansion of hybrid poplar in elevated CO₂. From controlled environments to open-top chambers and to FACE. **Environmental Pollution**, v.115, p.463-472, 2001.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v.13, p.149-159, 2007.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; VINCO, J. S.; PINHEIRO, A. A. Crescimento de clones de eucalipto em diferentes condições microclimáticas e lâminas de água no substrato. **Irriga**, v.21, p.104-118, 2016.

TOMIMATSU, H.; LIO, A.; ADACHI, M.; SAW, L.; FLETCHER, C. TANG, Y. High CO₂ concentration increases relative leaf carbon gain under dynamic light in *Dipterocarpus sublamellatus* seedlings in a tropical rain forest, Malaysia. **Tree Physiology**, v.34, p.944-954, 2014.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, p.61-77, 2004.

VILLAR E.; KLOPP C.; NOIROT C.; NOVAES E.; KIRST M.; PLOMION C.; GION, J.M. RNA-Seq reveals genotype-specific molecular responses to water deficit in *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v.12, p.1-18, 2011.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FILHO, P. J. F.; POGETTO, M. H. F. A. D. **Guia Prático de manejo de plantações de eucalipto**. Botucatu: FEPAF, 2008.

XAVIER, T. M. T.; PEZZOPANE, J. E. M.; PENCHEL, R. M.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F. Influence of water deficit and season on biomass yield from clonal stands of *eucalyptus*. **Cerne**, v.19, p.473-479, 2013.

ZAVALETA, E. S. Shrub establishment under experimental global changes in a California grassland. **Plant Ecology**, v.184, p.53-63, 2006.