

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PACLOBUTRAZOL NA RUSTIFICAÇÃO E CRESCIMENTO
VEGETATIVO INICIAL DE DOIS CLONES DE EUCALIPTO**

SAAD MIRANDA SILVA DOS SANTOS

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
JULHO - 2016

SAAD MIRANDA SILVA DOS SANTOS

**PACLOBUTRAZOL NA RUSTIFICAÇÃO E CRESCIMENTO
VEGETATIVO INICIAL DE DOIS CLONES DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Sylvana Naomi Matsumoto (UESB)

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
JULHO - 2016

SAAD MIRANDA SILVA DOS SANTOS

**PACLOBUTRAZOL NA RUSTIFICAÇÃO E CRESCIMENTO
VEGETATIVO INICIAL DE DOIS CLONES DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 17 de agosto de 2016.

Comissão Examinadora:

Prof. Alessandro de Paula (D.Sc., Ecologia e Recursos Naturais) - UESB

Prof. Paulo André Trazzi (Ph.D., Engenharia Florestal) - IFNMG

Prof^a. Sylvana Naomi Matsumoto (D.Sc., Ciências Agrárias) - UESB
Orientadora

Aos meus pais, Sivaldo José dos Santos e Romilda Miranda Silva dos Santos, pelo incentivo, esforço e sacrifício dedicados em mais essa etapa de minha vida.

Aos meus irmãos, Saulo Miranda Silva dos Santos e Anna Catarine Miranda Silva dos Santos, pelo apoio e respeito às minhas decisões.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pelo dom da vida, por me possibilitar evoluir e buscar livremente aquilo em que acredito.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pelo aceite e aporte para a realização e manutenção do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela manutenção dos custos e parceria no incentivo ao desenvolvimento da pesquisa.

À minha família, que no alto de sua simplicidade, torna-se uma entidade duradoura e exemplo para mim.

À minha orientadora, Sylvana Naomi Matsumoto, pela orientação, confiança, paciência e amizade durante todo o processo.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela chance e confiança depositadas em mim.

Ao viveiro florestal Ouro Verde, em nome dos proprietários Lúcio Moreira e Wallace Moreira, pela confiança e estrutura disponibilizadas para que fosse realizado este trabalho.

A todos os colegas de mestrado, em especial, à Danusia Porto, Marcos Santana e Walleska Medeiros.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal, por toda a ajuda na realização e condução do experimento, em especial, à Virgiane Silva, Ricardo Andrade, Aldo D'Arêde e Luan Oliveira.

À Rafaela Dias, por transmitir alegria, simplicidade e espontaneidade, elementos fundamentais para abrandar os momentos mais tensos desse trabalho.

Por fim, muito obrigado a todos que direta e indiretamente contribuíram para esta conquista.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mais Graças a Deus, não sou o que eu era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

SANTOS, Saad Miranda Silva dos, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, julho de 2016. **Paclobutrazol na rustificação e crescimento vegetativo inicial de dois clones de eucalipto**. Orientadora: Sylvana Naomi Matsumoto.

Devido às adversidades ambientais encontradas em campo, a produção de mudas de qualidade e o crescimento vegetativo inicial são fases determinantes no estabelecimento de florestas produtivas. A utilização de reguladores de crescimento nessas fases iniciais de desenvolvimento pode se configurar como um manejo alternativo de baixo custo com várias benesses para a morfofisiologia das mudas. Nesse sentido, foram realizados dois experimentos, com objetivos de verificar os efeitos da aplicação de paclobutrazol via solo, na morfofisiologia de mudas na fase de rustificação e de crescimento inicial dos clones AEC 1528 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*) e AEC 144 (híbrido espontâneo). No experimento 1, as mudas dos dois clones foram submetidas a concentrações de 0, 15, 30, 45 e 60 ppm de PBZ via imersão, na fase de rustificação. No experimento 2, foram utilizadas concentrações de 0, 50, 100, 150 e 200 ppm de PBZ, aplicados no solo durante o crescimento inicial. Para ambos os ensaios, foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados no esquema fatorial 5x2 (concentrações x clones). No experimento 1, as avaliações das características morfofisiológicas ocorreram 60 dias após aplicação do PBZ. Para a morfologia das mudas, o efeito do fator concentração foi mais contundente que o fator clone, em que foram observadas alterações em todos os parâmetros testados, sendo que estas foram relacionadas à forma de aplicação do produto, pois quando o PBZ é aplicado via solo, é transportado diretamente para os pontos de crescimento, maximizando seus efeitos. O PBZ inibiu todas as características morfológicas das mudas, com exceção do número de folhas. A redução do índice de robustez foi atribuída a uma maior efetividade do PBZ na altura da parte aérea do que no diâmetro do colo. Mesmo promovendo uma inibição generalizada nas variáveis morfológicas, o PBZ, em concentrações elevadas, otimizou a relação entre as massas secas do sistema radicial e parte aérea, e o índice de qualidade de Dickson. O PBZ elevou a capacidade fotossintética das mudas, devido à otimização do índice SPAD, fotossíntese líquida e a eficiência de

carboxilação. No experimento 2, em todas as concentrações utilizadas de PBZ, verificou-se inibição das características estudadas, esse efeito foi relacionado à forma de aplicação do inibidor, pois quando aplicado via solo, o PBZ é direcionado diretamente para os pontos de crescimento. A aplicação do PBZ resultou na redução da relação altura/diâmetro (H/D), e esta foi relacionada principalmente devido ao PBZ ser mais efetivo na inibição em altura do que no diâmetro das mudas no crescimento vegetativo inicial. O crescimento do clone AEC 144 diferencia-se do clone AEC 1528 pelo maior acúmulo de massa, número de folhas e área foliar. Entretanto, a Relação Entre Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR) do clone AEC 1528 foi superior em relação ao clone AEC144. Foi possível concluir que o PBZ favoreceu as mudas na fase de rustificação, bem como no crescimento vegetativo inicial, constituindo-se um regulador de elevado potencial para a utilização em viveiros comerciais.

Palavras-chave: *Eucalyptus* sp., triazol, trocas gasosas foliares, qualidade de mudas.

ABSTRACT

SANTOS, Saad Miranda Silva dos, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, July, 2016. **Paclobutrazol in hardening and initial vegetative growth of two eucalyptus clones.** Adviser: Sylvana Naomi Matsumoto.

Due to environmental adversities found in the field, the production of quality seedlings and the early vegetative growth are crucial stages in the establishment of productive forests. The use of growth regulators in these early stages of development can set up a low-cost alternative management with various benefits for morphophysiology of seedlings. In this sense, two experiments were conducted with the objective of verifying the effects of the application of paclobutrazol via soil in the morphophysiology of seedlings in the hardening and initial growth phase of the clones AEC 1528 (hybrid of *E. urophylla* x *E. grandis*) and AEC 144 (spontaneous hybrid). In experiment 1, the seedlings of the two clones were subjected to concentrations of 0, 15, 30, 45 and 60 ppm of PBZ applied through immersion in hardening phase. In experiment 2, concentrations of 0, 50, 100, 150 and 200 ppm of PBZ applied to the soil during the initial growth. For both tests, randomized blocks were used in factorial scheme 5x2 (concentrations x clones). In experiment 1, evaluations of morphophysiological characteristics occurred 60 days after application of PBZ. For the morphology of seedlings, the effect of the factor concentration was more forceful than the factor clone, which was observed changes in all parameters tested, these were related to the product application form, because when PBZ is applied to the soil, it is transported directly to the growing points, thus, maximizing its effects. The PBZ inhibited all the morphological characteristics of the seedlings, except the number of leaves. The reduction in the strength index was more attributed to greater effectiveness of PBZ at the shoot height than in stem diameter. Even promoting a general inhibition on morphological variables, PBZ in high concentrations optimized the relation between the dry mass of the roots and shoots and the Dickson quality index. PBZ increased the photosynthetic capacity of the plants due to optimization of the SPAD index, net photosynthesis, and carboxylation efficiency. In experiment 2, in all concentrations of PBZ, there was inhibition of the studied characteristics. This effect was related to the form of

application of the inhibitor, because when applied to the soil, the PBZ is directed directly to the growing points. The application of PBZ resulted in reduction of the height / diameter ratio (H/D), and this was related primarily because of PBZ be more effective in inhibiting height than the diameter of the seedling initial vegetative growth. The growth of the clone AEC 144 differs from the AEC 1528 because of the largest mass accumulation, number of leaves and leaf area. However, the Relation Between dry Mass of Shoot and Dry Mass of the Roots (RMSPA/MSR) of the clone AEC 1528 was higher than the clone AEC 144. It was concluded that PBZ favored the seedlings in the hardening phase and the initial vegetative growth, constituting a high potential regulator for use in commercial nurseries.

Keywords: *Eucalyptus* sp, triazole, leaf gas exchange, quality seedlings.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1:

- Figura 1** – Descrição da parcela e plantas úteis utilizadas para a avaliação..... 23
- Figura 2** – Altura (cm) de mudas, em função das concentrações de PBZ dentro dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 28
- Figura 3** – Diâmetro do Colo (DC) de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 29
- Figura 4** – Número de folhas de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 30
- Figura 5** – Área foliar (cm²) de mudas em função das concentrações de PBZ dentro dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 32
- Figura 6** – Índice de robustez de mudas em função das concentrações de PBZ dentro dos clones de eucalipto, AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 34
- Figura 7** – Massas Secas da Parte Aérea (MSPA), da Raiz (MSR) e Total (MST) de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 36
- Figura 8** – Relação entre a massa seca do sistema radicial/massa seca parte aérea (RMSR/MSPA) em mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 38
- Figura 9** – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 40

Figura 10 – Índice SPAD de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	42
Figura 11 – Temperatura da folha (T_{lf}) em função das concentrações de PBZ (A) e clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 DAA. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	43
Figura 12 – Concentração de CO ₂ na câmara subestomática (C_i) de mudas de clones de eucalipto, em função das concentrações de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	44
Figura 13 – Transpiração (E) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	45
Figura 14 – Condutância estomática (G_s) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	46
Figura 15 – Fotossíntese líquida (A) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	47
Figura 16 – Eficiência de uso da água (A/E) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	49
Figura 17 – Eficiência de carboxilação (A/C_i) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	50

CAPÍTULO 2:

Figura 1 – Características morfológicas de Altura da Parte Aérea (ALT) (A), Diâmetro do Colo (DC) (B), Número de Brotos Laterais (NBL) (C) e Relação Altura/Diâmetro (H/D) (D) dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, 90 dias após a aplicação via solo. Vitória da Conquista - BA, 2016.....	72
---	----

Figura 2 – Massa Seca do Caule (MSC) (A), Raiz Quadrada da Massa Seca da Parte Aérea (\sqrt{MSPA}) (B), Massa Seca da Raiz (MSR) (C) e Massa Seca Total (MST) (D) dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, 90 dias após a aplicação via solo. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 74

Figura 3 – Número de Folhas (NF) (A) e Área Foliar (AF) (B) dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, 90 dias após a aplicação via solo. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 77

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1:

- Tabela 1** – Resumo da análise de variância referente às características de Altura da Parte Aérea (ALT), Diâmetro de Caule (DC), Número de Folhas (NF), Área Foliar (AF), Índice de Robustez (IR), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca do Sistema Radicial (MSR), Massa Seca Total (MST), Relação entre a Massa Seca do Sistema Radicial/Massa Seca Parte Aérea (RMSR/MSPA) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), avaliadas 60 dias após aplicação do regulador..... 26
- Tabela 2** – Altura da parte aérea (ALT) (cm) de mudas em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, dentro de cada concentração de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....27
- Tabela 3** – Área foliar (cm²) de mudas, em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, dentro de cada concentração de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 32
- Tabela 4** – Índice de robustez (IR) de mudas, em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, dentro de cada concentração de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.....34
- Tabela 5** – Resumo da análise de variância referente às variáveis fisiológicas do índice SPAD (SPAD), temperatura foliar (T_{ff}), concentração de CO₂ na câmara subestomática (C_i), transpiração (E), condutância estomática (G_s), fotossíntese líquida (A), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência de carboxilação (A/C_i), avaliadas 60 dias após a aplicação do regulador..... 41
- Tabela 6** – Coeficientes de correlação de Pearson (r) relativos à temperatura da folha (T_{ff}), concentração de CO₂ na câmara subestomática (C_i), transpiração (E), condutância estomática (G_s), fotossíntese líquida (A), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência de carboxilação (A/C_i), em mudas dos clones AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após aplicação do regulador.....51

CAPÍTULO 2:

Tabela 1 – Resumo da análise de variância de dois clones de eucalipto (C) submetidos a concentrações de PBZ (D) para as variáveis de Altura da Parte Aérea (ALT), Diâmetro de Caule (DC), Número de Brotos Laterais (NBL), Número de Folhas (NF), Área Foliar (AF), Relação Altura/Diâmetro (H/D), Massa Seca das Folhas (MSF), Massa Seca do Caule (MSC), Raiz Quadrada da Massa da Parte Aérea (\sqrt{MSPA}), Massa Seca da Raiz (MSR), Massa Seca Total (MST) e Relação Entre a Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR), avaliadas 90 dias após aplicação do regulador..... 70

Tabela 2 – Médias de Massa Seca das Folhas (MSF), Massa Seca do Caule (MSC), Massa da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raiz (MSR), Massa Seca Total (MST) e a Relação entre a Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR), dos clones AEC 1528 e AEC 144, avaliadas 90 dias após aplicação do regulador. Vitória da Conquista - BA, 2016..... 76

Tabela 3 – Número de Folhas (NF) (cm^2) e Área Foliar (AF) dos clones AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, avaliadas 90 dias após aplicação do regulador..... 78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Gênero <i>Eucalyptus</i>	3
2.2. Qualidade de mudas	4
2.3. Reguladores de crescimento	6
REFERÊNCIAS.....	10
CAPÍTULO 1: MORFOFISIOLOGIA DE DOIS CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À IMERSÃO EM PACLOBUTRAZOL NA FASE DE RUSTIFICAÇÃO	19
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1. Localização do experimento	22
2.2. Manejo das mudas	22
2.3. Preparo, aplicação das concentrações de PBZ e delineamento experimental.....	22
2.4. Características morfofisiológicas analisadas.....	23
2.4.1. Características morfológicas	23
2.4.2. Características fisiológicas	24
2.5. Cálculos das relações e índice de qualidade.....	25
2.6. Análises estatísticas	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1. Características morfológicas	26
3.1.1. Altura da Parte Aérea (ALT).....	27
3.1.2. Diâmetro do Colo (DC).....	29
3.1.3. Número de Folhas (NF).....	30
3.1.4. Área Foliar (AF)	31
3.1.5. Índice de Robustez (IR).....	33
3.1.6. Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), do Sistema Radicial (MSR) e Total (MST)	35
3.1.7. Relação entre a Massa Seca do Sistema Radicial/Massa Seca da Parte Aérea (RMSR/MSPA).....	37

3.1.8. Índice de Qualidade de Dickson (IQD).....	39
3.2. Características fisiológicas	40
3.2.1. Índice SPAD	41
3.2.2. Temperatura da folha (T_{lf}).....	43
3.2.3. Concentração de CO ₂ na câmara subestomática (C_i).....	43
3.2.4. Transpiração (E).....	45
3.2.5. Condutância estomática (G_s).....	46
3.2.6. Fotossíntese líquida (A).....	47
3.2.7. Eficiência de uso da água (A/E)	48
3.2.8. Eficiência de carboxilação (A/C_i).....	49
3.3. Interação entre as características fisiológicas (Correlação de Pearson)....	50
4. CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS.....	55
CAPÍTULO 2: CRESCIMENTO VEGETATIVO INICIAL DE CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL VIA SOLO..	64
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1. Localização do experimento	69
2.2. Material utilizado, aplicação do produto e delineamento experimental	69
2.3. Características morfológicas analisadas	68
2.4. Análise estatística	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4. CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	80
5. CONCLUSÕES GERAIS	86

1. INTRODUÇÃO GERAL

As plantações comerciais de florestas começaram a se disseminar no agronegócio mundial principalmente na segunda década do século XX, devido a inúmeros fatores favoráveis, como qualidade da madeira, custos de produção, produtividade e comercialização. Aliada a essas benesses, a implantação de florestas comerciais vem controlando também o desmatamento, que ainda é uma das principais preocupações no cenário ambiental a nível global. Com a expansão de florestas de produção, as perdas de florestas naturais foram reduzidas para cerca de 7,3 milhões de hectares, evidenciando a sua importância não somente para o suprimento de indústrias como também para a redução da pressão nas florestas naturais (GARLIPPE e FOELKEL, 2009).

No Brasil, dentre as culturas florestais existentes, a eucaliptocultura é a mais representativa no agronegócio nacional, consolidada como uma das principais atividades estratégicas para o desenvolvimento econômico, social e sustentável, devido ao impacto direto na demanda e estabilidade de emprego e renda (AMARAL, 2016). Para a silvicultura brasileira, a eucaliptocultura além de beneficiar as esferas econômicas e sociais, tem sua importância evidenciada também devido ao seu rápido crescimento, boa adaptação às condições edafoclimáticas e, conseqüentemente, altas produtividades (BRITO, 2013).

Apesar da elevada capacidade adaptativa às diversas condições ambientais, as maiores áreas de cultivo de eucalipto se concentram nas regiões Sul e Sudeste do país, onde as condições ambientais e socioeconômicas são favoráveis ao seu desenvolvimento e comercialização (ABRAF, 2013). Entretanto, ultrapassados os limites de produtividade, a necessidade de elevação da produção impele as ações que, inevitavelmente, resultam no avanço das fronteiras de florestas plantadas, em direção às áreas caracterizadas por condições de cultivo menos favorecidas.

Independentemente do local, o sucesso no estabelecimento de plantios florestais está diretamente associado a um desenvolvimento inicial vigoroso. Nesse contexto, a utilização de mudas com alto padrão de qualidade evita o crescimento desuniforme das árvores em talhões, pois minimiza distúrbios como o estiolamento, a ausência de vigor, a morte e a necessidade de replantio das mudas.

A utilização de reguladores de crescimento é uma das formas possíveis de modulação das características morfofisiológicas e mecanismos bioquímicos das plantas, principalmente durante o crescimento vegetativo inicial. Existem vários tipos de reguladores vegetais, entretanto, o paclobutrazol (PBZ) é um dos mais estudados, com grande amplitude de aplicação no manejo de diversas culturas (BERBERICH et al., 2006). Trata-se de um inibidor de crescimento pertencente à família dos triazóis, que tem como principal modo de ação a inibição da biossíntese do hormônio giberelina, resultando na redução do crescimento e em uma maior tolerância à seca, além de atenuar os impactos dos estresses bióticos e abióticos (DESTEFANO et al., 2007).

Mesmo as alterações morfofisiológicas promovidas pelo PBZ serem de amplo conhecimento, estas não apresentam coerência, pois sua ação depende da modulação com vários fatores, tais como: a espécie, variedade, estágio de desenvolvimento das plantas, concentrações utilizadas e o modo de aplicação do inibidor (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011). Para a cultura do eucalipto, os efeitos da aplicação do PBZ são observados na redução do período de juvenilidade e, conseqüentemente, na estimulação da fase reprodutiva devido à iniciação precoce dos botões florais (MONCUR e HASAN, 1994; WILLIANS et al., 2003; POTTS et al., 2009; MORAES et al., 2014).

Com isso, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito das diferentes concentrações de PBZ nas alterações morfofisiológicas de dois clones de eucalipto nas fases de rustificação e no crescimento inicial de mudas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* (família Myrtaceae, da ordem Myrtales, das Angiospermas) é nativo da Austrália e Indonésia, sendo representado por um grande número de espécies, variedades e híbridos (PRYOR et al., 1995). No Brasil, é a principal matéria-prima utilizada na indústria de celulose e papel (BRACELPA, 2010).

O gênero supracitado foi introduzido no Brasil, no ano de 1825, como planta ornamental no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, sendo a expansão da cultura direcionada para a região Sul do país, concentrando-se no estado do Rio Grande do Sul em plantios com finalidade para a produção de lenha e quebra-vento (BRACELPA, 2010).

A silvicultura, através da utilização de clones de eucalipto no país, iniciou-se durante a metade da década de 1970 (CAMPINHOS, 1987), sendo fomentada por vantagens como a uniformidade dos plantios, aumento da produtividade e também pela possibilidade de um controle de doenças mais efetivo (XAVIER et al., 2009). No Brasil, um dos clones de eucalipto mais utilizado para a expansão de novas áreas, trata-se do híbrido de *E. urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*) (RUY, 1998).

A importância da cultura do eucalipto no setor florestal está vinculada às demandas requeridas pelo desenvolvimento urbano, pois apresenta um alto potencial na produção de madeira e geração de energia (PROTÁSIO et al., 2013), além de sua importância socioeconômica pela geração de 4 milhões de empregos diretos e indiretos (QUEIROZ e BARRICHELO, 2007; PROTÁSIO et al., 2013), representando 5% do PIB nacional (ABRAF, 2013).

No Brasil, as maiores áreas plantadas de eucalipto estão localizadas na região Sudeste (Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo) e no estado da Bahia (ABRAF, 2013). Devido à boa adaptação às condições edafoclimáticas, o cultivo do eucalipto nestas regiões apresenta rápido crescimento e ciclo de corte relativamente curto, atingindo a maior produtividade mundial (38 a 54 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) (BARRETTO et al., 2007; STAPE, 2008).

O eucalipto apresenta elevada versatilidade de uso, como produção de celulose, madeira para movelaria, pisos, revestimentos e demais aplicações no setor da construção civil (BRACELPA, 2010). Apresenta importante alternativa à redução do consumo de combustíveis fósseis, pois sua biomassa é reconhecida como uma fonte de energia renovável (PROTÁSIO et al., 2013). Participa ainda na produção de óleos essenciais, que são utilizados como base para desinfetantes, remédios e outros produtos (ATHAYDES, 2010).

2.2. Qualidade de mudas

Atualmente, há uma grande polêmica em temas relacionados à sobrevivência de mudas após o plantio, pois a plasticidade das mudas às condições ambientais é de extrema importância para o sucesso de plantios florestais (GROSSNICKLE, 2012). A elevada demanda por mudas vigorosas e de crescimento rápido resulta no desenvolvimento de tecnologias específicas para o manejo de propagação (HAASE, 2008). O sucesso de plantios florestais de alta produtividade depende em grande parte do padrão de qualidade das mudas utilizadas no plantio. Mudas com padrão de qualidade resistem a condições ambientais desfavoráveis no pós-plantio, elevando, com isso, as chances da formação de florestas com características qualitativas e quantitativas desejáveis (GOMES et al., 1991).

O padrão ideal de qualidade das mudas é dependente da espécie (CARNEIRO, 1995), da capacidade germinativa das sementes, do substrato, do recipiente, da adubação e do manejo empregado na produção (CRUZ et al., 2006). A avaliação de qualidade é de fundamental importância para o estabelecimento e crescimento das mudas em campo (HAASE, 2008).

A determinação da qualidade das mudas é baseada, principalmente em avaliações morfofisiológicas (STURION et al., 2000; GOMES et al., 2002), ainda que o estado nutricional e fitossanitário tenham bastante importância para as projeções de crescimento (GONÇALVES et al., 2000). A rapidez, simplicidade de execução e compreensão pelos viveiristas são os fatores que determinam esse tipo de avaliação (GOMES, 2001; AGUIAR et al., 2011; ELOY et al., 2014).

As características morfológicas frequentemente utilizadas na avaliação da qualidade das mudas em viveiros são a altura, diâmetro do coleto, massa seca da

parte aérea, radicular e total da planta e as suas relações (CARNEIRO, 1995; BINOTTO et al., 2010; GROSSNICKLE, 2012).

A altura das plantas é uma das variáveis morfológicas mais utilizadas como indicador da capacidade de desempenho de mudas em campo, sendo relacionada ao crescimento inicial após o plantio (LANDIS et al., 2010). É considerada, dentre os parâmetros morfológicos, a de maior facilidade de mensuração em viveiros (CARNEIRO, 1995), porém, a análise desta característica deve estar associada às medidas de diâmetro do coleto, peso seco, relação peso das raízes/peso da parte aérea, aumentando assim a precisão na classificação de qualidade (GOMES et al., 2002), principalmente nos primeiros meses de plantio (GOMES e PAIVA, 2004).

O diâmetro do colo ou diâmetro do coleto é considerado o parâmetro morfológico que representa um bom indicador de qualidade de mudas (GOMES e PAIVA, 2004). Em espécies florestais, esse parâmetro possui correlação positiva com as taxas de sobrevivência das mudas pós-plantio (LANDIS et al., 2010), além de ser preponderante para avaliar a rusticidade das espécies (ROSA et al., 2009). Em plantios formados a partir de mudas com menores diâmetros do colo ou coleto, é observada maior ocorrência de tombamentos devido ao estiolamento (CUNHA et al., 2005).

Embora seja considerado um parâmetro que integraliza todo o processo de crescimento e sobrevivência da planta pós-plantio, a matéria seca das plantas apresenta limitações, pois se trata de um método destrutivo e requer operações específicas, sendo pouco usual em viveiros (AZEVEDO, 2003; LOPES et al., 2013).

O estabelecimento dos índices de qualidade é importante, pois possibilita a análise integral do crescimento das mudas, considerando o impacto dos diversos fatores como altura, diâmetro do colo ou coleto e a distribuição de massa (HAASE, 2007; CARVALHO, 2015).

O Índice de Robustez ou Quociente de Robustez é muito utilizado para avaliar a qualidade de mudas florestais, sendo expresso pela relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo ou coleto, apresentando a vantagem de ser um método não destrutivo (HAASE, 2008).

Quanto menor for o valor do Índice de Robustez, mais elevada será a capacidade de sobrevivência e estabelecimento das mudas em campo (FERRAZ e ENGEL, 2011), principalmente em locais com restrição hídrica (GROSSNICKLE,

2012). Valores menores são ideais para ambientes de déficit hídrico, em especial, se as novas raízes das mudas não estiverem emergido (HAASE, 2008) e também pelo acúmulo de reservas, assegurando maior resistência e melhor fixação das mudas no solo (SAIDELLES et al., 2009).

Outro índice utilizado para determinar a qualidade de mudas é o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), expresso através da relação entre a Matéria Seca Total (MST), Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), Matéria Seca das Raízes (MSR), Altura da Parte Aérea (H) e Diâmetro de Colo ou Coleto (DC) (GOMES e PAIVA, 2004).

O IQD é considerado um bom indicador de qualidade, pois, integra a robustez (relação H/DC) ao equilíbrio da distribuição da biomassa (CALDEIRA et al., 2005; CALDEIRA et al., 2007). Maiores valores expressos por esse índice, resultam em mudas de melhor qualidade nos viveiros (CALDEIRA et al., 2012). Por abranger o acúmulo de massa seca, a aplicação do IQD, na avaliação de qualidade, é limitada na utilização em viveiros, por ser um método destrutivo e por necessitar da utilização de estufas (AZEVEDO, 2003).

Outra relação utilizada para avaliar a qualidade das mudas é a relação entre a massa seca do sistema radicular e a massa seca da parte aérea. Trata-se de uma relação que equaciona o equilíbrio entre a parte aérea e as raízes (CALDEIRA et al., 2008).

O estudo desta relação é de fundamental importância para o entendimento dos processos fisiológicos e o desenvolvimento das plantas, pois a parte aérea é fornecedora de nutrientes orgânicos, carboidratos e fitohormônios para o sistema radicular, e este é responsável por fornecer água, nutrientes e fitohormônios para a parte aérea (GLINSKI e LIPIEC, 1990).

2.3. Reguladores de crescimento

Os reguladores vegetais são definidos como compostos naturais produzidos pela própria planta ou de origem sintética, que interferem no crescimento e desenvolvimento das mesmas, atuando nos mais diversos processos fisiológicos e morfológicos dos vegetais (PAROUSSI et al., 2002). Existem vários grupos de

reguladores vegetais no mercado, e dentre estes, os mais conhecidos são os inibidores de biossíntese de giberelinas (ARTECA, 1996).

Dentre os inibidores de biossíntese de giberelinas, destaca-se o paclobutrazol – PBZ, composto químico derivado do grupo dos triazóis (BERBERICH et al., 2006). O PBZ atua em uma das etapas de biossíntese da giberelina, que ocorre no retículo endoplasmático. Inibe a oxidação do ent-caureno para ácido ent-caurenóico através de alterações na atividade das mono-oxigenases P450 (TAIZ e ZEIGER, 2009). Essa inibição tem como consequências a redução das taxas de alongamento e divisão celular, além de alterar os níveis de ácido abscísico, citocinina, etileno (FLETCHER et al., 2000) e auxina (DAVIS e CURRY, 1991).

A eficiência do PBZ depende da espécie e variedade utilizadas, modo de aplicação, das concentrações (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011), porte da espécie, do estado nutricional da planta e das condições ambientais (FERRACINI et al., 2008). Pode ser aplicado diretamente no solo ou através de pulverizações foliares, no entanto, vários estudos têm indicado que a aplicação via solo é mais efetiva (PARDOS et al., 2005). Pertencente à classe III na classificação toxicológica (BRASIL, 2013), é considerado um fungicida de alta persistência no solo e a sua mobilidade é relativamente baixa, com isso, diminuindo o risco de contaminação por lixiviação (FERRACINI et al., 2008).

O PBZ é um regulador de crescimento que está relacionado a muitas alterações morfológicas nas plantas (MORAES et al., 2012; MORAES et al., 2013). Além de reduzir o crescimento vegetativo, auxilia também na formação e na indução de gemas florais (GARDNER et al., 2013). Nas raízes, o PBZ pode promover alterações morfológicas e anatômicas (TSEGAW et al., 2005), principalmente por aumentar a concentração de raízes finas, conferindo à planta maior capacidade de absorção de água no solo (CHANEY, 2005).

Alterações morfológicas também foram observadas em espécies florestais, como no caso de angiospermas lenhosas, que quando submetidas a concentrações de PBZ, apresentaram um encurtamento da fase vegetativa e iniciação da fase reprodutiva, principalmente por promover o aparecimento precoce dos botões florais (MORAES et al., 2014). Chorbadjian et al. (2011), estudando espécies florestais (*Pinus nigra* e *Betula papyrifera*), observaram redução na altura e no diâmetro pela aplicação do PBZ. De acordo com Chaney (2005), o PBZ pode promover uma taxa

de inibição que varia de 10 a 90 % no crescimento em altura de arbóreas, entretanto, quando utilizado em doses recomendadas, essa taxa varia entre 40 a 60%. Em árvores de oliveiras, a aplicação de doses entre 200 a 800 ppm restringiu o crescimento vegetativo, não afetando seu desenvolvimento reprodutivo (CRUZ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012).

Em relação às alterações fisiológicas, a utilização deste inibidor reduz a transpiração, elevando o teor relativo de água foliar, aumentando, assim, a tolerância da planta ao estresse hídrico (YADAV et al., 2005). Essa redução na taxa de transpiração foi observada pela aplicação de PBZ e hexaconazol, ambos do grupo do triazóis, em *Solenostemon rotundifolius* (KISHOREKUMAR et al., 2006). Taxas inferiores de transpiração foram relacionadas à redução do tamanho do estômato devido ao PBZ inibir o desenvolvimento no comprimento e largura. Outro fato importante é o de que este regulador atua inibindo a espessura da epiderme superior e inferior, número de estômatos, células paliçádicas e esponjosas e cloroplastos (KISHOREKUMAR et al., 2006). Segundo Still e Pill (2004), em estudos realizados com tomateiros, foi verificado que a maior resistência às condições adversas está relacionada ao aumento dos níveis de ácido abscísico em plantas tratadas com PBZ.

Os triazóis também têm a capacidade de manter as plantas com coloração verde intensa, devido à elevação nos níveis de citocininas, pois essas estimulam a biossíntese das clorofilas, aumentando sua concentração nas plantas. Outro fator que pode influenciar no aumento dessa coloração é o adensamento dos cloroplastos, provocado pela redução da área foliar (KHALIL e HIDAYAT-UR-RAHMANB, 1995).

O efeito do PBZ nas taxas de fotossíntese líquida é controverso. Quando aplicado em concentrações inferiores a 1000 ppm, é relatada elevação de valores de fotossíntese líquida (KUMAR e SHARMA, 2015; MOHAN et al., 2015; REZAZADEH et al., 2016). Entretanto, sob concentrações mais elevadas, a fotossíntese líquida é reduzida. Redução nas taxas fotossintéticas também foi observada pela aplicação de elevadas concentrações de PBZ via solo, durante o crescimento inicial de *Pinus australiano* (CHORBADJIAN et al., 2011). Estudos indicaram que os principais alvos dos triazóis, nas plantas, são os componentes do sistema fotossintético e os

compostos constituintes da atividade antioxidante, responsáveis pelo aumento da resistência aos estresses ambientais (JALEEL et al., 2007).

Em viveiros florestais, o PBZ é utilizado para a poda de ramos, reduzir a relação entre a parte aérea e as raízes e como modulador do crescimento das mudas, otimizando o tempo de vida útil das mudas nos viveiros (RIETVELD, 1988). A aplicação foliar de doses que variaram de 0 a 15 ppm de PBZ, em mudas de *Acacia mangium*, foi efetiva para a redução do incremento em altura (ABOD e YASIN, 2002). Segundo Maluleque (2014), todas as concentrações de PBZ aplicadas nas mudas de *Toona ciliata*, retardaram o crescimento em altura, sem afetar o crescimento do diâmetro, resultando na otimização do Índice de Robustez e, conseqüentemente, na redução do estiolamento.

REFERÊNCIAS

- ABOD, S. A.; YASIN, S. Effects of paclobutrazol and daminozide on the growth of *Acacia mangium* seedlings. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 25, n. 2, p. 143-147, 2002.
- ABRAF – Associação Brasileira de produtores de florestas plantadas. Anuário Estatístico 2013: ano base 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R.; ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729-734, 2011.
- AMARAL, F. H. C. **Compartimentos de K, Ca e Mg em solos e sua relação com o crescimento inicial, fisiologia e produtividade do eucalipto**. Lavras-MG: UFLA, 2016, 123p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras.
- ARTECA, R. N. **Plant growth substances: principles and applications**. Chapman & Hall, New York, 1996, 352 p.
- ATHAYDES, G. A. A. **Clonagem, caracterização e expressão de genes envolvidos na síntese de compostos isoprenóides em *Eucalyptus grandis***. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2010, 111 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- AZEVEDO, M. I. R. **Qualidade de mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissillis* Vell) e de Ipê amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Wich) produzida em diferentes substratos e tubetes**. Viçosa-MG: UFV, 2003, 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.
- BARRETTO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis**, n. 76, p. 21-33, 2007.

BERBERICH, S.; SNYDER, J; GENEVE, R.; WILLIAMS, M. A. Growth and flowering response of container grown passion flower cultivars to fertilizer and paclobutrazol. **Journal Environmental Horticulture**, v. 24, n. 2, p. 109-114, 2006.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Eucalipto. 2010. Disponível em: <www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136> Acesso em 15 set. 2015.

BRASIL. Monografias de agrotóxicos. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d001a880474596ef9f24df3fbc4c6735/p45.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

BRITO, G. S. **Cenários climáticos futuros para ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil**. Curitiba-PR: UFPR, 2013, 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

CALDEIRA, M. V. W.; SPATHELF, P.; BARICHELLO, L. R.; VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V. Effect of different doses of vermicompost on the growth of *Apuleia leiocarpa* (VOG) Macbr. seedlings. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 2, p. 11-17, 2005.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, v. 3, n. 3, p. 1-8, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; BLUMB, H.; BALBINOTC, R.; LOMBARDI, K. C. Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 191-202, 2008.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.

CAMPINHOS, E. Propagación vegetativa de *Eucalyptus spp.* por enraizamento de estacas. In: SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENETICO DE ESPECIES FORESTALES, 1987, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1987. p. 208-214.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais.** Curitiba-PR: EMBRAPA Florestas (Boletim de pesquisa e desenvolvimento), 1995, 451 p.

CARVALHO, J. A. **Riqueza, divergência genética e padrão de qualidade morfológica de mudas de espécies florestais nativas produzidas em Minas Gerais.** Lavras-MG: UFLA, 2015, 243 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

CHANEY, W. R. **Growth retardants:** a promising tool for managing urban trees. West Lafayette: Purdue University, 2005, 6 p.

CHORBADJIAN, R. A.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. Effect of the growth regulator paclobutrazol and fertilization on defensive chemistry and herbivore resistance of Austrian Pine (*Pinus nigra*) and Paper Birch (*Betula papyrifera*). **Arboriculture and Urban Forestry**, v. 37, n. 6, p. 278-287, 2011.

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

CRUZ, M. C. M.; OLIVEIRA, A. F.; OLIVEIRA, D. L.; NETO, J. V. Flowering and vegetative growth of olive tree submitted to pruning and paclobutrazol application. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 2, p. 105-111, 2011.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A. de.; BRUNO, R. de L. A.; SILVA, J. A. L. da.; SOUZA, V. C. de. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DAVIS, T.; CURRY, E. Chemical regulation of vegetative growth. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 10, n. 2, p. 151-158, 1991.

DESTEFANO, D. A.; GRYBAUSKAS, A. P.; SHERALD, J. L.; MOMEN, B.; HUANG, Q.; SULLIVAN, J. H. Effect of the growth regulator paclobutrazol on growth of the bacterial pathogen *Xylella fastidiosa*. **Arboriculture e Urban Forestry**, v. 33, n. 4, p. 246-252, 2007.

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; SOUZA, V. Q. de. Determinação do período de permanência de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em casa de vegetação. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 44-50, 2014.

FERRACINI, V. L.; QUEIROZ, S. C. N.; ROSA, M. A.; PEDROSA, D. **Determinação de paclobutrazol em solo por cromatografia líquida de alta eficiência**. Jaguariúna-SP: EMBRAPA Meio Ambiente (Comunicado Técnico, 49), 2008, 4 p.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L. Var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e Guarucaia (*Paraptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FLETCHER, R. A.; GILLEY, A.; SANKHLA, N.; DAVIS, T.D. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticultural Reviews**, v. 24, p. 55 -138, 2000.

GARDNER, R. A. W.; BERTLING, I.; SAVAGE, M. J. Overhead irrigation increased winter chilling and floral bud production in *Eucalyptus nitens*. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 75, n. 4, p.199-212, 2013.

GARLIPP, R.; FOELKEL, C. O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. In: XIII CONGRESSO FLORESTAL MUNDIAL/FAO, 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires SBS, 2009.

GLINSKI, J.; LIPIEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. CRC Press, Florida, 1990, 250 p.

GOMES, J. M. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em "Win-Strip". **Revista Árvore**, v. 15, n. 1, p. 35-42, 1991.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de**

dosagens de N-P-K. Viçosa-MG: UFV, 2001, 112 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

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

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada.** 3.ed. Editora UFV, Viçosa, 2004, 116 p.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000, p. 310-350.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 5/6, p. 711-738, 2012.

HAASE, D. L. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: THE CONFERENCE “FOREST AND CONSERVATION NURSERY ASSOCIATIONS”. **Proceedings...** Fort Collins: USDA, 2007.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planters' Notes**, v. 52, n. 2, p. 01, 2008.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, p. 201-206, 2007.

KHALIL, I.A.; HIDAYAT-UR-RAHMANB. Effect of paclobutrazol on growth, chloroplast pigments and sterol biosynthesis of maize (*Zea mays* L.). **Plant Science**, v. 105, n. 1, p. 15-21, 1995.

KISHOREKUMAR, A.; JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; SRIDHARAN, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of chinese potato

(*Solenostemon rotundifolius* Poir.; J.K. Morton). **Acta Biologica Szegediensis**, v. 50, n. 3-4, p. 127-129, 2006.

KUMAR, A.; SHARMA, N. Effect of growth retardants on growth, flowering and physiological characteristics of olive cultivar Leccino under rain-fed conditions of Himachal Pradesh, India. **Indian Journal of Agricultural Research**, (2016).

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **The container tree nursery manual: Seedling processing, storage, and out planting**. 7.ed. USDA Forest Service, Washington, 2010, 200 p.

LOPES, E. C.; ARAUJO, E. C. de.; COSTA, R. S. da.; DAHER, R. F.; FERNANDES, M. E. B. Growth of mangrove seedlings under different levels of shading at the peninsula of Ajuruteua, Bragança, Pará. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 291-296, 2013.

MALULEQUE, I. F. **Qualidade de mudas e produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) tratadas com paclobutrazol**. Lavras-MG: UFLA, 2014, 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras.

MOHAN, R.; VYAS, D.; BHAT, H. A.; KAUR, T. D.; DHAR, A. Exploring possibilities of induction of water stress tolerance in mulberry in rainfed condition by application of paclobutrazol. **Journal of Global Biosciences**, v. 4, n. 9, p. 3301-3310, 2015.

MONCUR, M. W.; HASAN, O. Floral induction in *Eucalyptus nitens*. **Tree Physiology**, v. 14, p. 1303-1312, 1994.

MORAES, C. B.; ZIMBACK, L.; UESUGI, G.; GUERRINI, I. A.; MORI, E. S. Alterações morfológicas em *Eucalyptus* sob a aplicação de biorreguladores. **Revista do Instituto Florestal**, v. 24, n. 2, p. 251-257, 2012.

MORAES, C. B.; UESUGI, G.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; GUERRINI, I. A.; MORI, E. S. Influência do uso de biorreguladores no crescimento de *Hymenaea courbaril*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 25, n. 2, p. 223-229, 2013.

MORAES, C. B.; CARIGNATO, A.; UESUGI, G.; ABÍLIO, F. M.; PALOMINO, E. C.; MORI, E. S. Variabilidade genética e alterações morfológicas em progênies de

polinização aberta de *Eucalyptus grandis* sob o efeito de paclobutrazol. **Revista Científica**, v. 42, n. 4, p. 396-403, 2014.

OLIVEIRA, A. F., CRUZ, M. C. M., OLIVEIRA, D. L., MESQUITA H. A. Paclobutrazol em oliveira submetida a diferentes regimes hídricos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2137-2148, 2012.

PARDOS, J. A.; CALAMA, R.; MONTERO, G. Growth of container-grown Cork Oak seedlings as affected by foliar and soil application of paclobutrazol. **HortScience**, v. 40, n. 6, p. 1773-1776, 2005.

PAROUSSI, G.; VOYIATZI, D. G.; PAROUSSIS, E.; DROGOUDI, P.D. Growth, flowering and yield responses to GA3 of strawberry grown under different environmental. **Scientia Horticulturae**, v. 96, p. 103-113, 2002.

POTTS, B. M.; MCGOWEN, M. H.; WILLIAMS, D. R.; SUITOR, S.; JONS, T. H.; GORE, P. L.; VAILLANCOURT, R. E. Advances in reproductive biology and seed production systems of *Eucalyptus*: the case of *Eucalyptus globulus*. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 145-154, 2009.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A. dos.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 15-28, 2013.

PRYOR, L. D.; WILLIAMS, E. R.; GUNN, B. V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species. **Australian Systematic Botany**, v. 8, p. 57-70, 1995.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **O Eucalipto - Um Século no Brasil**. São Paulo, 2007, 132 p.

REZAZADEH, A.; HARKESS, R. L.; BI, G. Effects of paclobutrazol and flurprimidol on water stress amelioration in potted red firespike. **HortTechnology**, v. 26, n. 1, p. 26-29, 2016.

RIETVELD, W. Effect of paclobutrazol on conifer seedling morphology and field performance. In: LANDIS, T. D. (Eds.). **Proceedings combined meeting of the Western Forest Nursery Associations**. Fort Collins: USDA, 1988, p. 19-23.

ROSA, L.; VIEIRA, T. A.; SANTOS, D. S.; SILVA, L. C. B. Emergência, crescimento e padrão de qualidade de mudas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke sob diferentes níveis de sombreamento e profundidades de semeadura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 52, n. 1, p. 87-98, 2009.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. Piracicaba-SP: ESALQ, 1998, 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHIRMER, W. N.; SPERANDIO, H. V. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamborildamata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, n. 30, p. 1173-1186, 2009.

SILVA, K. S.; FARIA JÚNIOR, M. J. A. Uso de paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. **Ciência e Agrotecnia**, v. 35, n. 3, p. 539-546, 2011.

STAPE, J. L. A pesquisa silvicultural e a visão socioambiental são imprescindíveis para os novos clusters florestais. **Revista Opiniões**, p. 37, 2008.

STILL, J. R.; PILL, W. G. Growth and stress tolerance of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to seed treatment with paclobutrazol. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 79, n. 2, p. 197-203, 2004.

STURION, J. A.; GRAÇA, L. R.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies de rápido crescimento por pequenos produtores**. Colombo-PR: EMBRAPA Florestas (Circular Técnica, 37), 2000, 20 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Editora Artmed, Porto Alegre, 2009, 848 p.

TEKALIGN, T.; HAMMES, P. S. Response of potato grown under non-inductive condition to paclobutrazol: shoot growth, chlorophyll content, net photosynthesis, assimilate partitioning, tuber yield, quality, and dormancy. **Plant Growth Regulation**, v. 43, n. 3, p. 227-236, 2004.

TSEGAW, T.; HAMMES, S.; ROBBERTSE, J. Paclobutrazol-induced leaf, stem, and root anatomical modifications in potato. **HortScience**, v. 40, n. 5, p. 1343-1346, 2005.

WILLIAMS, D. R.; POTTS, B. M.; SMETHURST, F. J. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 33, p. 74-81, 2003.

YADAV, R. K.; RAI, N.; YADAV, D. S.; ASATI, B. S. Use of paclobutrazol in horticultural crops - a review. **Agricultural Reviews**, v. 26, n. 2, p. 124-132, 2005.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2.ed. Editora UFV, Viçosa, 2009, 272 p.

CAPÍTULO 1:

MORFOFISIOLOGIA DE DOIS CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À IMERSÃO EM PACLOBUTRAZOL NA FASE DE RUSTIFICAÇÃO

RESUMO

A produção de mudas de alto padrão de qualidade é determinante para o estabelecimento da cultura do eucalipto. Reguladores de crescimento podem ser utilizados como alternativa no manejo de mudas, evitando o estiolamento, ausência de vigor e a produção na entressafra. Diante disso, o objetivo deste estudo foi verificar os efeitos de diferentes concentrações de paclobutrazol - PBZ na morfofisiologia de mudas de dois clones híbridos de eucalipto em fase de rustificação. O experimento foi conduzido em viveiro de mudas clonais, foram utilizados os clones AEC 1528 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*) e AEC 144 (híbrido espontâneo), com 30 dias de idade. As mudas foram submetidas a concentrações de 0, 15, 30, 45 e 60 ppm de PBZ, via imersão. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 5x2 (concentrações x clones). A unidade experimental foi composta por 20 mudas, sendo utilizadas as seis unidades centrais para as avaliações morfofisiológicas, 60 dias após aplicação do PBZ. O efeito do PBZ foi mais contundente que o fator clone nas variáveis estudadas e este efeito foi relacionado à forma de aplicação do produto. O PBZ otimizou o Índice de Robustez em todas as concentrações utilizadas. Além disso, influenciou positivamente na relação entre a Massa Seca do Sistema Radicial e a parte aérea, além do Índice de Qualidade de Dickson, em concentrações superiores a 51,5 e 57 ppm, respectivamente. Também elevou a capacidade fotossintética das mudas, devido à otimização do índice SPAD, fotossíntese líquida e da eficiência de carboxilação.

Palavras-chave: regulador de crescimento, inibidor de giberelina, qualidade de mudas.

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2012, a área ocupada por plantios florestais no Brasil totalizou 6.664.812 hectares, onde 76,6%, cerca de 5,1 milhões de hectares, correspondiam a plantios de espécies do gênero *Eucalyptus*. Nesse ano, houve um crescimento de 4,5 % (228.078 ha) de novas áreas dessa cultura e esse avanço foi atribuído à demanda futura de projetos industriais do segmento de papel e celulose (ABRAF, 2013).

As regiões Sul e Sudeste do país possuíam 72,3% de plantios florestais, sendo ocupada majoritariamente pelo gênero *Eucalyptus*. A alta concentração nessas regiões se justifica pela proximidade das principais unidades de indústrias madeireiras (ABRAF, 2013) e pela logística entre o corte e comercialização da matéria-prima. Atualmente, há uma expansão das indústrias de transformação de madeira no semiárido, devido a uma grande demanda por subprodutos madeireiros, especialmente para fins energéticos (FERNANDES, 2012), e esses fatores impulsionam a ocupação de novas áreas de plantios florestais, principalmente pelo cultivo do eucalipto.

Devido à região semiárida apresentar limitações ao cultivo do eucalipto, principalmente em relação às condições edafoclimáticas ideais para essa cultura, alternativas são propostas para contornar essas adversidades. Dentre elas, a produção de mudas de espécies arbóreas de alto padrão de qualidade é uma opção que possibilita atenuar as condições adversas encontradas em campo, proporcionando o estabelecimento de stands mais uniformes e a formação de árvores com crescimento desejável (GOMES, 2001).

As metodologias utilizadas nas avaliações de qualidade de mudas são determinadas por características morfofisiológicas isoladas ou também por índices indicadores de qualidade que utilizam majoritariamente características morfológicas (VILLAR-SALVADO et al., 2009). Dentre os índices de qualidade, os mais utilizados são o Índice de Robustez (GOMES e PAIVA, 2011) e o Índice de Qualidade de Dickson (BINOTTO et al., 2010). A utilização desses Índices de Qualidade é fundamental na produção de mudas, pois seus resultados direcionam o manejo de produção, principalmente pela observação de problemas no desenvolvimento das mudas.

O estiolamento, a ausência de vigor e a produção de mudas em períodos de entressafra são alguns dos principais entraves existentes na comercialização de mudas. A aplicação de reguladores de crescimento é uma alternativa para o manejo de mudas em viveiros, pois além de promover importantes alterações no crescimento, pouco interfere na prática usual e rotineira de produção.

Dentre os vários reguladores disponíveis no mercado, o paclobutrazol (PBZ) é um dos mais estudados. Segundo DeStefano et al. (2007), o PBZ é um triazol que possui propriedades de inibição da biossíntese de giberelina, redução do crescimento exagerado, além de conferir tolerância à seca e atenuar os impactos dos estresses bióticos e abióticos. Por ser um regulador que restringe o desenvolvimento da parte aérea e também por estimular o desenvolvimento do sistema radicial através da formação de raízes secundárias e adventícias (NEGISHI et al., 2011), favorece a elevação do vigor das mudas conferindo maior rusticidade.

O PBZ também tem sido utilizado para beneficiar diversas condições fisiológicas das plantas, tais como: maximização dos teores de clorofila e, conseqüentemente, aumento na taxa fotossintética, nos teores de carboidratos, proporcionando maior quantidade de substâncias assimiláveis para a planta (DAVIS, 1991; BANINASAB e GHOBADI, 2011), produção de antioxidantes, condutância estomática e na eficiência fotoquímica (DWIVEDI e KUMAR, 2016).

Diante disso, o estudo foi desenvolvido com o objetivo verificar os efeitos de diferentes concentrações de PBZ na morfofisiologia de mudas de dois clones híbridos de eucalipto em fase de rustificação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O experimento foi realizado no ano de 2014, no viveiro florestal Ouro Verde, localizado no município de Águas Vermelhas, Minas Gerais (15° 44' Sul e 41° 27' a Oeste), a uma altitude de 735 metros. O município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Pardo e, segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é o Tropical com estação seca (Aw), com temperatura média anual de 21,7°C e pluviosidade média de 882 mm ano⁻¹.

2.2. Manejo das mudas

O experimento foi conduzido a pleno sol, onde as mudas foram dispostas em bancadas suspensas. As bancadas eram fixas e compostas por um sistema de irrigação do tipo microaspersão, em que as mudas foram submetidas a irrigações diárias, parceladas em quatro vezes ao dia. As adubações de cobertura foram realizadas através de fertirrigação, com intervalos de 15 dias entre as aplicações.

Foram utilizadas mudas de dois clones híbridos, comercialmente conhecidos como AEC 1528 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e AEC 144 (híbrido espontâneo), com 30 dias de idade, prontas para o período de rustificação. As mudas foram produzidas em tubetes de modelo cônico, com secção circular, contendo seis frisos internos longitudinais e equidistantes, dimensões de 12,5 cm de altura, 3 cm de diâmetro na parte interna superior e apresentando o fundo aberto de aproximadamente 1 cm, de capacidade volumétrica de substrato para 54 cm³. O substrato utilizado para enchimento dos tubetes foi o de marca denominada comercialmente de Bioplant[®].

2.3. Preparo, aplicação das concentrações de PBZ e delineamento experimental

O produto utilizado com o princípio ativo paclobutrazol – PBZ no experimento foi o Cultar[®] 250 g L⁻¹. Primeiramente, o produto foi diluído em 1 L de água destilada,

de acordo as seguintes concentrações, T1 = 0, T2 = 15, T3 = 30, T4 = 45 e T5 = 60 ppm de PBZ. Essas diluições foram feitas previamente no laboratório de fisiologia vegetal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB. Posteriormente, esse volume foi diluído em 39 L de água, perfazendo um total de 40 L de solução.

A aplicação do produto ocorreu no dia 24 de outubro de 2014, e foi realizada por meio de imersão das mudas nas soluções até o ponto em que os tubetes fossem totalmente saturados com as respectivas concentrações.

O experimento foi conduzido por meio do delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro blocos e um esquema fatorial 5x2, constituído por cinco concentrações de PBZ: 0, 15, 30, 45 e 60 ppm e dois clones: clone 1 – AEC 1528 e clone 2 – AEC 144. A unidade experimental foi formada por 20 mudas, sendo 6 mudas úteis e 14 mudas destinadas para a bordadura, onde foram utilizadas um total de 800 mudas (Figura 1).

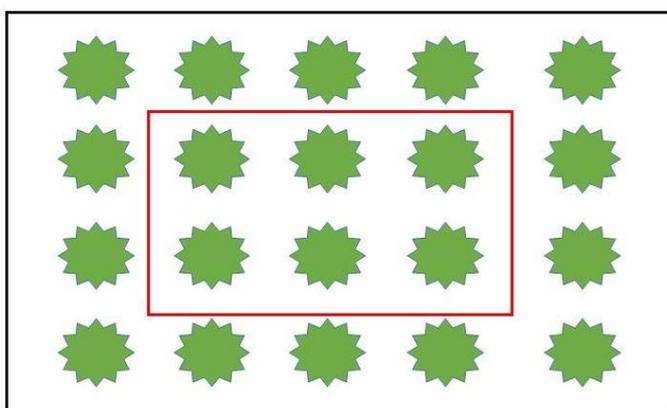


Figura 1 – Croqui da parcela e plantas úteis utilizadas para a avaliação.

2.4. Características morfofisiológicas analisadas

As análises das características morfofisiológicas ocorreram 60 dias após a aplicação do PBZ e foram avaliadas as seguintes variáveis:

2.4.1. Características morfológicas

– Altura de Parte Aérea (ALT) (cm): obtida pela medição da parte basal até o ápice caulinar, utilizando-se uma régua;

- Diâmetro do Colo (DC) (mm): medido com paquímetro digital modelo DC - 6, 3 cm acima da borda do tubete;
- Número de Folhas (NF): obtido a partir da contagem manual, no momento da avaliação;
- Área Foliar Total da Planta (AF) (cm²): determinada após a coleta de todas as folhas das mudas avaliadas, onde foi utilizado um integralizador de área, modelo LI-3100 Área Meter, LI-COR, USA, expressado em (cm²);
- Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e do Sistema Radicial (MSR): foram separadas das mudas a parte aérea (folhas e caule) e o sistema radicial, e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura de 60°C, durante 48 horas, até atingirem massa constante e, em seguida, foram pesadas individualmente as partes (folhas, caule e raízes) em balança de precisão, sendo os valores expressos em g;
- Massa Seca Total (MST): obtida através do somatório de todas as massas, sendo expressa em g.

2.4.2. Características fisiológicas

O Índice SPAD foi determinado pelo medidor portátil de clorofila (SPAD 502, MINOLTA, Japão), em três pontos da primeira folha totalmente expandida do terço superior da muda;

As leituras das trocas gasosas foram realizadas na primeira folha totalmente expandida por meio de um medidor portátil de fotossíntese, do tipo analisador infravermelho de gases (Infrared Gas Analyser) (IRGA LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA). Foi utilizada uma fonte de luz dicróica de 900 mmol de fótons m⁻² s⁻¹. Esse valor foi determinado pela curva de saturação luminosa utilizada para eucalipto, descrita por Silva et al. (1998).

A partir das leituras, foram determinadas: temperatura da folha (T_f), concentração de CO₂ na câmara subestomática (C_i), taxa de transpiração (E), condutância estomática (G_s), fotossíntese líquida (A), eficiência instantânea no uso da água (A/E) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i). As leituras foram realizadas entre 7 h e 12 h da manhã.

A partir dos dados obtidos em todas as características fisiológicas, foi realizada uma análise da associação linear entre as mesmas, através da correlação

de Pearson pelo teste F a 1% ($p \leq 0,01$) e a 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro. A análise da correlação dessas características foi obtida de mudas com a presença e ausência (testemunha) de PBZ.

2.5. Cálculos das relações e índice de qualidade

– Índice de Robustez (IR): foi determinado pela razão entre altura (cm) e Diâmetro do Colo (mm) das mudas, cujos valores foram expressos sem unidades;

– Relação entre a Massa Seca do Sistema Radicial e a Massa Seca da Parte Aérea (RMSR/MSPA): determinada através da divisão dos valores obtidos da Massa Seca do Sistema Radicial pela Massa Seca da Parte Aérea, os valores foram expressos sem unidades;

– Índice de Qualidade de Dickson (IQD): é dado através de uma fórmula balanceada que apresenta variáveis morfológicas como: Massa Seca Total (MST), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca Das Raízes (MSR), Altura Da Parte Aérea (ALT) e Diâmetro De Colo (DC). Segundo Dickson et al. (1960), essas variáveis são distribuídas na seguinte fórmula:

$$IQD = \frac{MST(g)}{\frac{H(cm)}{DC(mm)} + \frac{MSPA(g)}{MSR(g)}} \quad (1)$$

2.6. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), em seguida foi aplicado o teste F a 1% e a 5% de probabilidade para as médias entre os clones e a regressão para as concentrações de PBZ. A regressão foi estabelecida pelo método dos polinômios ortogonais, em que foram ajustados modelos considerando os valores do coeficiente de determinação ($R^2 \geq 50\%$) e o comportamento biológico. Todas as análises foram realizadas pelo software SAEG versão 9.1. No entanto, considerando a independência da análise de regressão, quando possível, foi ajustado o modelo para explicar as tendências de comportamento das concentrações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características morfológicas

Verificou-se diferenças entre os clones AEC 1528 e AEC 144 apenas para a Altura da Parte Aérea (ALT), Número de Folhas (NF) e Área Foliar (AF). Para as concentrações do PBZ, foram observadas diferenças para todas as variáveis de crescimento, bem como para os índices analisados. A interação entre clones e concentrações de PBZ ocorreu apenas para as variáveis ALT, AF e IR (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância referente às características de Altura da Parte Aérea (ALT), Diâmetro de Caule (DC), Número de Folhas (NF), Área Foliar (AF), Índice de Robustez (IR), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca do Sistema Radicial (MSR), Massa Seca Total (MST), relação entre a Massa Seca do Sistema Radicial e a Massa Seca da Parte Aérea (RMSR/MSPA) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), avaliadas 60 dias após aplicação do regulador.

FV	GL	Quadrados Médios				
		ALT	DC	NF	AF	IR
Clone (C)	1	18,892**	0,074ns	681,863**	11961,222**	0,555ns
Concentração (D)	4	151,232**	0,253**	54,482**	4180,272**	6,386**
C vs D	4	7,747**	0,900ns	3,763ns	729,070*	0,888**
Bloco	3	4,692*	0,392ns	8,565ns	722,890ns	0,297ns
Erro	27	1,377	0,049	6,059	261,599	0,145
CV (%)	39	5,42	6,11	11,14	10,66	6,37

FV	GL	Quadrados Médios				
		MSPA	MSR	MST	RMSR/MSPA	IQD
Clone (C)	1	0,124ns	0,085ns	0,400ns	0,100ns	0,009ns
Concentração (D)	4	0,705**	0,592**	2,087**	1,150**	0,028**
C vs D	4	0,163ns	0,083ns	0,462ns	0,100ns	0,006ns
Bloco	3	0,099ns	0,489**	1,233**	0,167ns	0,036**
Erro	27	0,063	0,071	0,252	0,130	0,005
CV (%)	39	12,81	24,07	21,10	55,39	17,52

Onde: FV = Fonte de Variação; GL= Grau de Liberdade; ns = não significativo pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ** = significativo a 1 %, pelo teste F.

Os efeitos generalizados das concentrações de PBZ foram relacionados à sensibilidade dos clones em estudo e à uniformidade de contato entre as raízes e o regulador, condicionados pelo baixo volume do substrato no qual este foi aplicado.

Segundo Shao et al. (2013), quando o PBZ é aplicado via substrato/solo constituído de um agente retentor, o efeito do regulador se prolonga, por consequência, afetando todas as variáveis de crescimento. Além disso, o PBZ se torna mais efetivo quando aplicado no sistema radicial, pois é translocado diretamente para os pontos de crescimento, através do xilema (BLANK et al., 2009; OCHOA et al., 2009).

3.1.1. Altura da parte aérea (ALT)

Foi observado que a Altura da Parte Aérea (ALT) do clone AEC 144 se manteve superior ao clone AEC 1528 até a concentração de 30 ppm de PBZ, entretanto, nas concentrações de 45 e 60 ppm de PBZ, foi verificado que o clone AEC 144 sofreu uma maior inibição, ocorrendo uma homogeneidade dos valores entre os clones (Tabela 2).

Tabela 2 – Altura da Parte Aérea (ALT) (cm) de mudas em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, dentro de cada concentração de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Concentração	ALT (cm)	
	AEC 1528	AEC 144
0	27,42B	30,83A
15	20,77B	22,64A
30	18,56B	21,52A
45	18,19A	18,65A
60	18,60A	19,51A
Média	20,98B	22,35A

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

A relação entre ALT e as concentrações de PBZ, foram caracterizadas por modelo quadrático com maiores valores determinados para a testemunha (27,03 e 30,20 cm, respectivamente). As menores alturas (17,62 e 18,70 cm para os clones AEC 1528 e AEC 144, respectivamente) foram induzidas pelas concentrações de 42,94 e 47,01 ppm de PBZ, correspondente a 34,8 e 38,0% de decréscimos em relação à testemunha (Figura 2).

Pardos et al. (2005), testando a aplicação no solo de diferentes concentrações de PBZ em mudas de *Quercus suber* L., observaram que o regulador inibiu em 40% na ALT, quando comparado à testemunha na concentração de 25 ppm de PBZ.

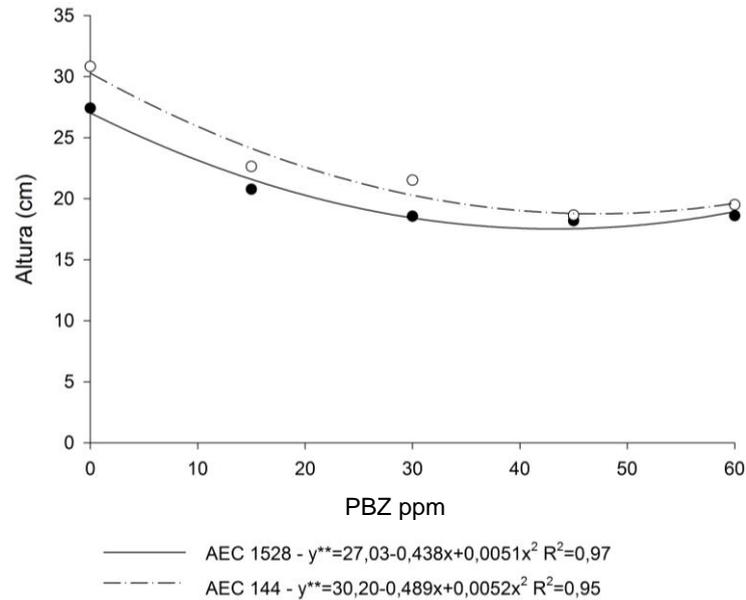


Figura 2 – Altura (cm) de mudas em função das concentrações de PBZ dentro dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

A inibição da ALT é a principal alteração promovida pelo PBZ, sendo ocasionada pela inibição da biossíntese da GA1 (giberelina biologicamente ativa), responsável diretamente pelo crescimento dos internódios (TAIZ e ZEIGER, 2013). Em estudo utilizando reguladores de crescimento como o PBZ, cloreto de chlormequat e prohexadiona-Ca em mudas de *Eucalyptus nitens*, observou-se que a inibição da ALT foi relacionada à diminuição da GA1 e GA20 em 83% nos tecidos apicais (WILLIAMS et al., 1999).

A utilização do PBZ em viveiros florestais pode proporcionar a modulação no ritmo de crescimento com o intuito da adequação aos padrões de desenvolvimento das mudas e também interferir no planejamento do plantio das mesmas, em campo (MALULEQUE, 2014). Segundo Landis et al. (2010), a ALT pode inferir sobre o sucesso do crescimento inicial após o plantio, porém, isoladamente pode ser inconsistente para tal prognóstico.

Segundo Sturion et al. (2000), mudas de eucalipto com padrão de qualidade são aquelas que apresentam ALT que varia entre 15 e 25 cm. Para o presente estudo, quando as mudas foram submetidas ao PBZ, estas se mantiveram no padrão de qualidade, fato não observado para o controle, sem regulador.

3.1.2. Diâmetro do Colo (DC)

Não foi observada diferença no Diâmetro do Colo (DC) entre os clones estudados (Figura 3A). Verificou-se que o DC das mudas submetidas à PBZ foram inferiores à testemunha, sendo ajustado o modelo polinomial quadrático para essa relação (Figura 3B). Os pontos de máximo e mínimo ocorreram nas concentrações de 0 e 33,4 ppm de PBZ (3,9 e 3,34 mm, respectivamente), e a partir do ponto de mínima houve tendência à elevação no DC das mudas de eucalipto até a máxima concentração de PBZ estudada (Figura 3B).

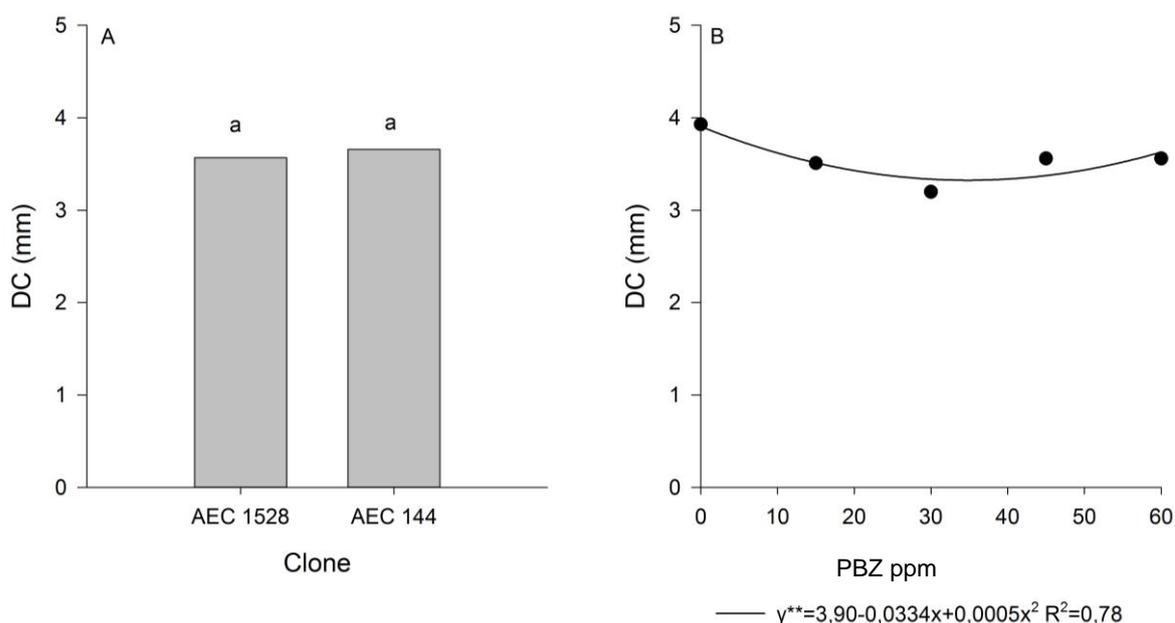


Figura 3 – Diâmetro do Colo (DC) de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

A redução de DC, induzida pelo PBZ, neste estudo, foi de 14,4% em relação à testemunha, resultado este corroborado por Maluleque (2014), que observou que o PBZ inibiu 13,5% do DC em mudas *Toona ciliata*. Segundo Mauriat e Moritz (2009), este efeito está relacionado à ação das giberelinas no processo de xylogenesis, bem como no alongamento das fibras do xilema. Logo, o bloqueio da síntese de giberelina provocado pelo PBZ inibe, naturalmente, o processo de desenvolvimento e lignificação do xilema, conseqüentemente, reduzindo o desenvolvimento do DC.

Mesmo que o PBZ, em todas as concentrações testadas neste estudo, tenha promovido a redução do DC das mudas, segundo Lopes (2004), mudas de eucalipto com padrão de qualidade devem apresentar DC acima de 2 mm, ou seja, mesmo ocorrendo redução, ainda assim o produto não afetou a qualidade das mudas. Entretanto, Landis et al. (2010) afirmaram que embora o DC seja considerado uma das mais importantes variáveis para estimar a sobrevivência de mudas de espécies florestais em campo, não existe um consenso sobre as dimensões adequadas.

3.1.3. Número de Folhas (NF)

Foi verificado que o Número de Folhas (NF) do clone AEC 1528 foi menor que o NF do clone AEC 144 (Figura 4A).

Para todas as concentrações estudadas, verificou-se incremento no NF quando comparado à testemunha (Figura 4B). Este resultado foi relacionado ao efeito dose-resposta ou hormese, que é caracterizado pela aplicação de baixas concentrações (sub-doses) de substâncias inibidoras que estimulam o crescimento de diversas partes da planta (CALABRESE, 2008).

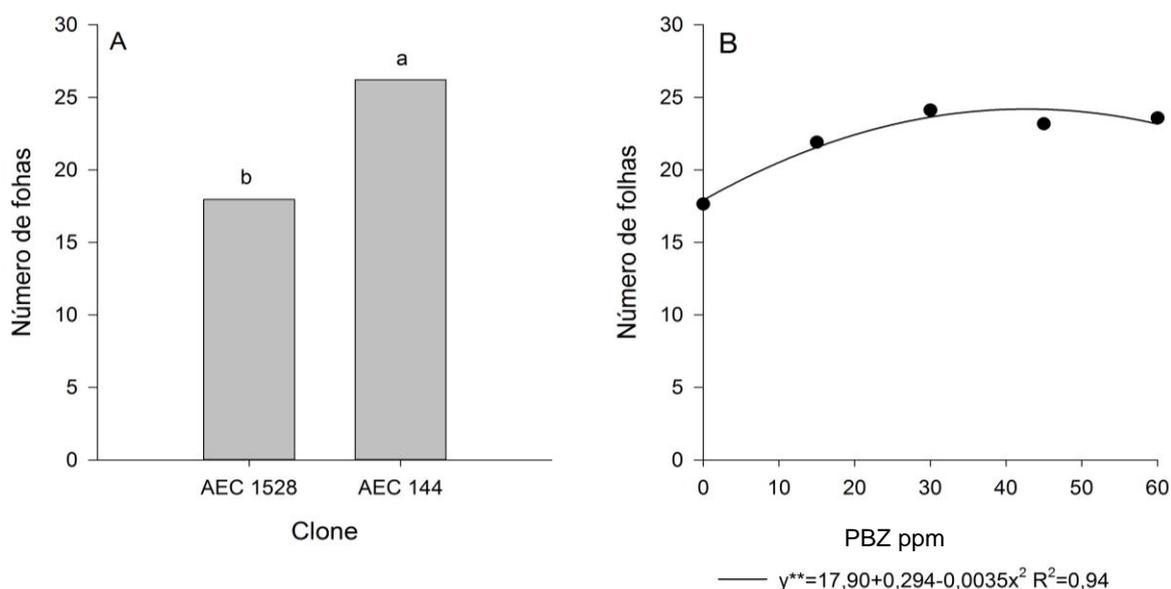


Figura 4 – Número de folhas de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

Para a relação entre NF e as concentrações de PBZ, ajustou-se uma tendência quadrática crescente para os dois clones até a concentração de 42 ppm, atingindo um valor médio estimado de 24 folhas pl^{-1} . A partir deste valor, a tendência foi de decréscimo até a concentração de 60 ppm de PBZ. O incremento no NF entre a testemunha (17,9 folhas) e o maior valor estimado (24 folhas), foi de 34% (Figura 4B).

O aumento no NF promovido pelo PBZ pode ser associado ao incremento de nitrogênio nos meristemas, elemento de bastante mobilidade no direcionamento para as folhas jovens em plantas. A elevação da concentração deste elemento nas mudas pode ser observada através do aumento do índice SPAD neste estudo (Figura 10A), pois além de indicar o conteúdo relativo de clorofila, este índice também expressa indiretamente o nível de nitrogênio nas folhas (SENA JÚNIOR et al., 2008), podendo com isso demonstrar o estado nutricional das mudas.

Mesmo ocorrendo aumento no NF para todas as concentrações de PBZ (Figura 4B), foi possível observar tendência de redução a partir do incremento máximo de folhas, o que corrobora os resultados encontrados por Navarro et al. (2009). Entretanto, Pardos et al. (2005), utilizando PBZ em mudas de *Quercus suber* L., obtiveram resultado controverso a este estudo, pois, à medida que se aumentou a concentração de PBZ, houve uma diminuição do NF.

Informações sobre o valor do padrão de qualidade ideal quanto ao NF na produção de mudas arbóreas são escassas, especificamente para o eucalipto. Entretanto, é um parâmetro muito importante, pois as folhas são as principais responsáveis pela síntese de metabólitos e realização da fotossíntese, que se trata da principal fonte de assimilados no crescimento inicial das mudas após o plantio (BELLOTE e SILVA, 2000).

3.1.4. Área Foliar (AF)

A Área Foliar (AF) do clone AEC 144 foi superior ao clone AEC 1528, nas concentrações de 0, 30 e 45 ppm de PBZ, enquanto que nas concentrações de 15 e 60 ppm de PBZ foi observada homogeneidade na AF das mudas entre os clones (Tabela 3).

Tabela 3 – Área Foliar (cm²) de mudas em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 dentro de cada concentração de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Concentração	AF (cm ²)	
	AEC 1528	AEC 144
0	162.04B	214.22A
15	140.29A	155.30A
30	128.44B	185.55A
45	119.89B	149.06A
60	121.40A	140.86A
Média	134.41B	169.00A

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

O efeito diferenciado das concentrações de PBZ para os clones foi verificado quando a AF foi analisada, sendo delineado um modelo quadrático para o clone AEC 1528 e linear para o AEC 144. Entretanto, mesmo ocorrendo comportamento diferenciado entre os clones, as testemunhas de ambos foram superiores no incremento da AF, quando comparadas às mudas tratadas com PBZ (Figura 5).

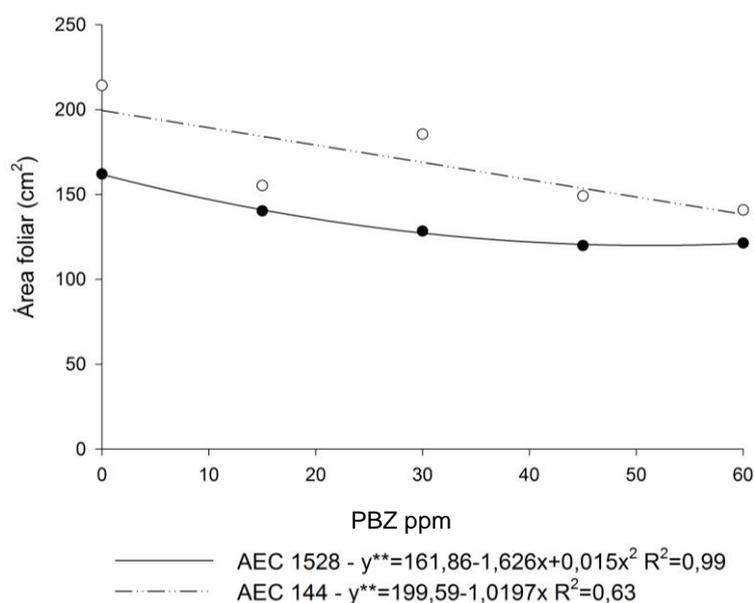


Figura 5 – Área Foliar (cm²) de mudas em função das concentrações de PBZ dentro dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Foi ajustada uma tendência quadrática decrescente para a AF do clone AEC 1528 até a concentração de 54,2 ppm de PBZ, com um valor estimado de 117,79 cm², e posterior acréscimo até a concentração 60 ppm de PBZ. Para o clone AEC

144, ajustou-se uma tendência linear decrescente da AF até a concentração máxima de 60 ppm de PBZ (138,4 cm²) (Figura 5).

Quando comparados à testemunha, a AF do clone AEC 144 sofreu a maior inibição, cerca de 30,6%, em relação ao clone AEC 1528 (27%), quando submetidos ao PBZ (Figura 5). A inibição de AF provocada pelo PBZ, segundo Liyembani e Taylor (1989), não foi inesperada, pois a giberelina, alvo do PBZ, é um hormônio essencial para a expansão foliar. Quando ocorre a inibição da síntese das giberelinas pelo PBZ, há uma elevação da biossíntese de ácido abscísico nas células, hormônio que inibe a expansão celular (RADEMACHER, 2015).

AF é um parâmetro filotécnico muito importante para todas as culturas, pois, trata-se de um indicador direto da capacidade fotossintética de uma planta, além de ser relevante para avaliações nutricionais e nas relações solo-água-planta (MAGALHÃES, 2013). Sua importância na avaliação da qualidade de mudas pode ser comprovada por Rudeck et al. (2013), que ao estudar a influência da AF do *Eucalyptus grandis* com outras variáveis, observou alta correlação com a maioria das variáveis avaliadas. Entretanto, não se observa a utilização desta variável na avaliação de qualidade de mudas de eucalipto, apesar de ser, do ponto de vista operacional dos viveiros, um método rápido, simples e não-destrutivo (RUDECK et al., 2013).

É importante ressaltar que o tamanho individual de folhas também é um fator de importância para a qualidade de mudas. Para o presente estudo, foi verificado que o PBZ induz a ocorrência de folhas de menor tamanho (dados não mostrados).

Este efeito (folhas de menor tamanho) é benéfico para as mudas, pois promove a elevação da condutividade hidráulica, por aumentar a densidade de nervuras e menor ocorrência de cavitação, fato verificado por Nardini et al. (2014) e Mauri (2015), em estudos realizados em cafeeiros arábica.

3.1.5. Índice de Robustez (IR)

Não ocorreram diferenças entre os clones no Índice de Robustez (IR) para todas as concentrações testadas de PBZ (Tabela 4).

Tabela 4 – Índice de Robustez (IR) de mudas em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 dentro de cada concentração de PBZ, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Concentração	IR	
	AEC 1528	AEC 144
0	6.80A	8.04A
15	6.10A	6.24A
30	5.47A	5.92A
45	4.92A	5.43A
60	5.32A	5.45A
Média	5.85 ^a	6.09 ^a

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

Para o estudo de IR das mudas em função das concentrações de PBZ, delineou-se tendências quadráticas para ambos os clones, em que as maiores médias foram observadas para a testemunha (6,87 e 7,9 para os clones AEC 1528 e AEC 144, respectivamente). Os menores valores estimados (5,07 para o clone AEC 1528 e 5,34 para o clone AEC 144) foram verificados nas concentrações estudadas, de 50,71 e 48,18 ppm de PBZ, respectivamente (Figura 6).

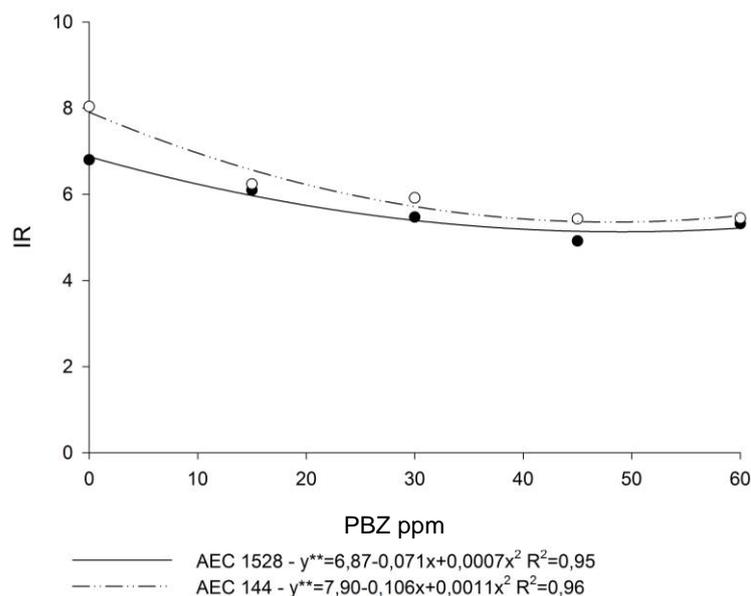


Figura 6 – Índice de Robustez de mudas em função das concentrações de PBZ dentro dos clones de eucalipto, AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Observa-se na Figura 6 que o PBZ reduziu o IR do clone AEC 1528 em 26,2% na concentração de 50,71 ppm, enquanto que no clone AEC 144 houve uma

redução de 32,4% na concentração de 48,18 ppm, quando comparados às testemunhas. Os resultados deste estudo demonstraram que a aplicação do PBZ foi benéfica para as mudas de ambos os clones, pois segundo Ferraz e Engel (2011), quanto menor o valor do IR, menos estioladas serão as mudas, proporcionando com isso o aumento da capacidade de estabelecimento e sobrevivência das mudas em campo.

Entretanto, Gomes et al. (2002) estabeleceram que os valores ideais de IR para mudas de eucalipto devem estar entre 6 e 10. Relacionando esta informação com os resultados encontrados neste estudo, verifica-se um IR adequado nas testemunhas de ambos os clones. Para o clone AEC 1528, foram observado valores ideais de IR até a concentração de 14,26 ppm de PBZ, enquanto que no clone AEC 144, até a concentração de 23,8 ppm de PBZ.

A inibição promovida pelo PBZ no IR das mudas foi atribuída principalmente pela ação deste regulador na altura das mudas, que variou entre 34% e 38% nos clones quando comparados à testemunha, já que o PBZ promoveu uma inibição de apenas 14% no DC (Figuras 2 e 3).

Maluleque (2014), utilizando as mesmas concentrações de PBZ através da imersão em mudas de *Toona ciliata*, obteve também uma redução no IR, porém, com maior amplitude de variação (entre 2,1 a 2,8) nos clones estudados.

3.1.6. Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), do Sistema Radicial (MSR) e Total (MST)

Não foi observada diferença entre os clones em todas as variáveis de acúmulo de massas, (Figura 7A), entretanto, verificou-se o efeito das concentrações de PBZ para as variáveis analisadas, sendo ajustado o modelo polinomial quadrático com tendências iniciais de decréscimos e posteriores acréscimos. No presente estudo, observou-se que o menor acúmulo da MSPA (2,63g), MSR (0,86g) e MST (2,68 g) das mudas, ocorreu nas concentrações de 50,66 ppm, 33,7 ppm e 39,25 ppm de PBZ, resultando em taxas 32,14%, 29,37% e 31,46%, respectivamente, quando comparadas à testemunha. Foi observado também, que para todas as concentrações utilizadas de PBZ, os acúmulos de massas foram inferiores à testemunha (Figura 7B).

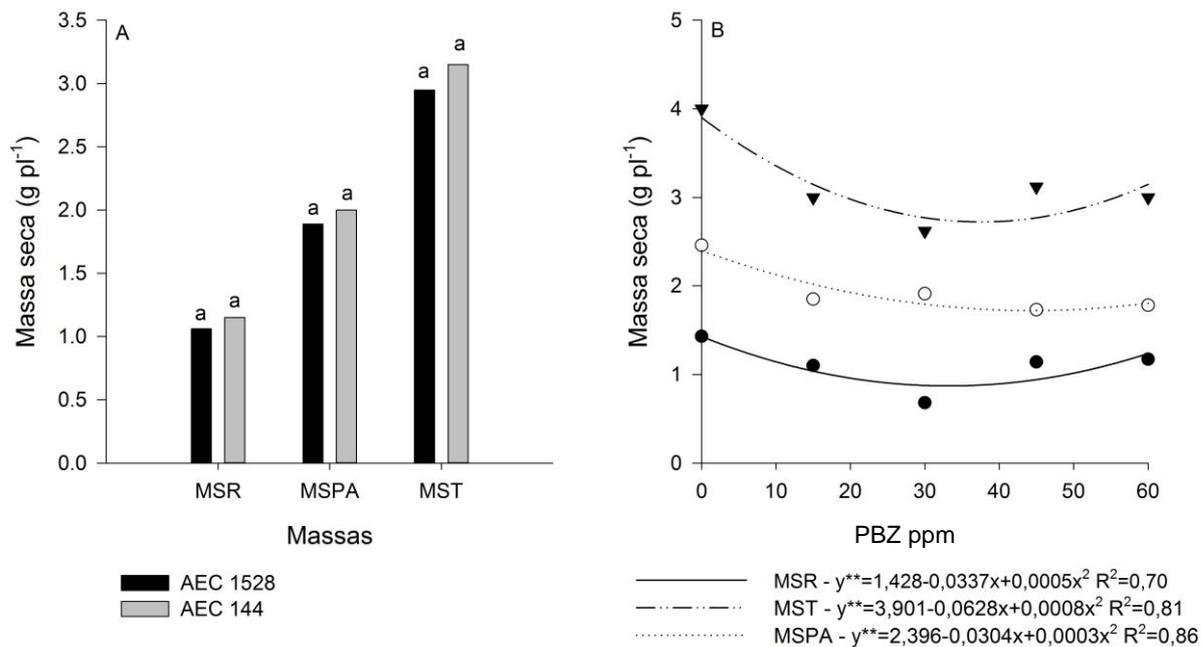


Figura 7 – Massas Secas da Parte Aérea (MSPA), da Raiz (MSR) e Total (MST) de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

Segundo Azevedo (2003), quantificar o Acúmulo de Matéria Seca se torna imprescindível para a avaliação de qualidade de mudas, entretanto, a determinação dessa variável, na maioria dos viveiros comerciais, não é praticada, visto que este é um parâmetro destrutivo e que necessita de estufa.

O maior efeito inibitório promovido pelo PBZ na MSPA está relacionado, de acordo com Ochoa et al. (2009), à maior sensibilidade e acúmulo de PBZ nesta parte das mudas. Os autores observaram uma inibição de 51% na MSPA das mudas de *Nerium oleander* L., na utilização do PBZ, quando comparadas à testemunha.

Bellote e Silva (2000) relacionam o acúmulo da MSPA com o número e morfologia da folha. No entanto, neste trabalho, a inibição da MSPA promovida pelo PBZ foi relacionada às reduções na ALT, DC e AF, pois, o NF foi incrementado em todas as concentrações testadas do inibidor.

Segundo Paiva e Gomes (1993), a MSPA é um parâmetro bastante útil para a avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais. Trata-se de uma variável que indica rusticidade, desempenho inicial pós-plantio e a capacidade de sobrevivência das mudas em campo (GOMES e PAIVA, 2004).

Ochoa et al. (2009), utilizando PBZ em mudas de *Nerium oleander L.*, observaram uma inibição de 46% na MSR quando comparadas à testemunha. Segundo Pardos et al. (2005), este efeito inibitório promovido pelo PBZ, pode estar relacionado ao contato direto entre o PBZ e as raízes, devido à aplicação via solo ou pela intensa inibição que o regulador promove na parte aérea das plantas. Outro fato é que devido ao PBZ inibir a síntese das giberelinas, ocorre a potencialização da síntese de citocininas endógenas (ABU-MURIEFAH, 2015), e o aumento da concentração deste hormônio nos tecidos radiculares reduz a MSR (RIEFLER et al., 2006).

Mesmo não sendo de uso prático em viveiros comerciais por ser uma variável destrutiva, a MSR é muito importante para a avaliação da qualidade de mudas, pois a formação do sistema radicial vigoroso é preponderante para a adaptação das mudas às diversas condições de campo (FREITAS et al., 2009).

Os resultados da MSR obtidos no presente estudo, tanto na testemunha, quanto nas concentrações de PBZ, foram superiores ao estabelecido por Mafia et al. (2005) como o ideal para o plantio de mudas de eucalipto no campo, pois, segundo estes autores, 0,55 g de raiz é o peso adequado para a retirada das mudas do viveiro.

A inibição ocasionada pelo PBZ na MST foi relacionada à eficácia desse regulador no retardo do crescimento e diminuição no acúmulo de massa em várias partes das mudas. A mesma observação foi feita por Pardos et al. (2005), que verificaram uma inibição generalizada no Acúmulo de Massa Seca, provocada pelo PBZ em mudas de *Quercus suber L.*

Não são encontrados na literatura valores ideais de MST que indicam a qualidade de mudas, entretanto, trata-se de um parâmetro indicativo da capacidade de resistência das mudas em condições de campo (GOMES e PAIVA, 2004).

3.1.7. Relação entre a Massa Seca do Sistema Radicial/Massa Seca da Parte Aérea (RMSR/MSPA)

Para a Relação entre a Matéria Seca do Sistema Radicial/Massa Seca da Parte Aérea (RMSR/MSPA), não foi observada diferença entre os clones estudados (Figura 8A). Entretanto, as concentrações de PBZ influenciaram esta variável, onde

foi ajustado um modelo polinomial quadrático para a tendência verificada. Os pontos de mínimo e máximo para esse parâmetro ocorreram nas concentrações de 25,75 e 60 ppm de PBZ com 0,47 e 0,71 da RMSR/MSPA nas mudas. A partir do ponto de mínima, há uma tendência de elevação na RMSR/MSPA das mudas de eucalipto até a máxima concentração de PBZ (Figura 8B). Maluleque (2014), aplicando PBZ em mudas de *Toona ciliata*, obteve valores que variaram de 0,65 e 0,96 nesta relação.

A maior inibição promovida pelo PBZ foi de 22,2%, enquanto que o maior acúmulo foi de 17,5%, quando comparados à testemunha. Observou-se que a partir da concentração de 51,5 ppm ocorreu acréscimo na RMSR/MSPA até 60 ppm de PBZ, quando comparado à testemunha (Figura 8B).

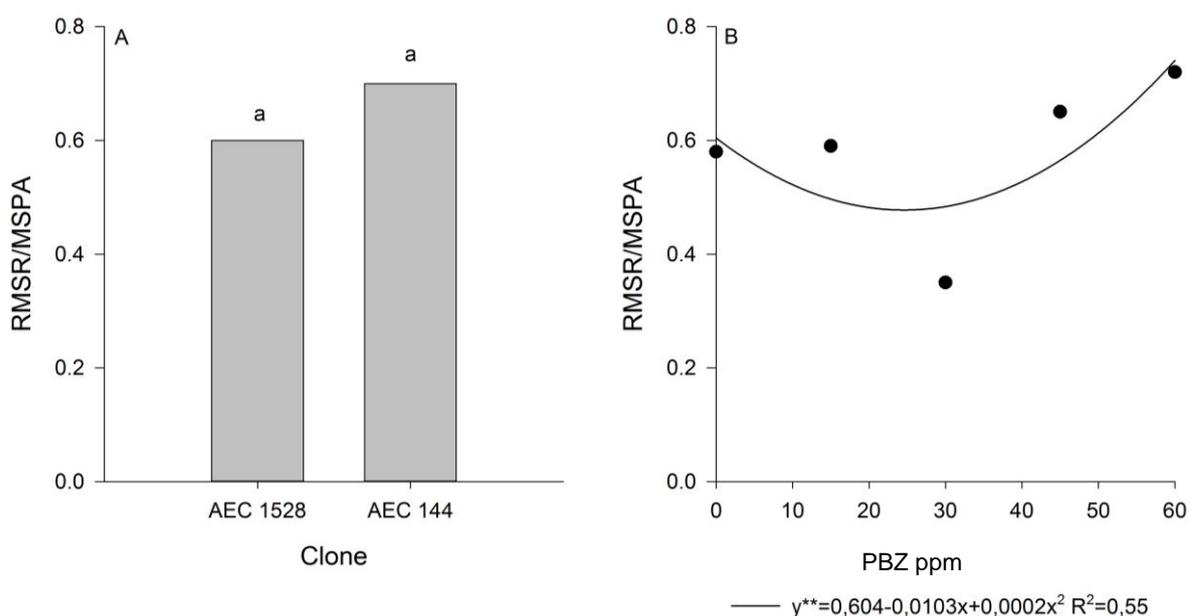


Figura 8 – Relação entre a massa seca do sistema radicial/massa seca parte aérea (RMSR/MSPA) em mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

A inibição inicial da RMSR/MSPA foi relacionada à maior sensibilidade da MSR às concentrações iniciais de PBZ, pois a máxima inibição da MSR ocorreu na concentração de 33,7 ppm, enquanto que a MSPA foi inibida em seu ponto máximo em 50,66 ppm de PBZ. Esse declínio inicial também pode ser observado quando se compara a inibição promovida pelo PBZ na MSR e na MSPA, na concentração de 22,75 ppm, mínimo estimado da relação, pois é possível verificar um retardo no

acúmulo da MSR de 37,5 % enquanto que na MSPA, foi de apenas 24,46 %, quando comparadas às testemunhas (Figura 7B).

A tendência de crescimento da RMSR/MSPA foi relacionada à maior capacidade de acúmulo da MSR, a partir da máxima inibição, quando comparada à acumulação da MSPA. Nota-se na Figura 7B que, a partir do mínimo estimado, a MSR sofreu um acúmulo de 0,32 g, enquanto que a MSPA acumulou apenas 0,16 g, elevando, deste modo, a RMSR/MSPA.

Segundo Mafia et al. (2005), o ideal é aumentar os valores resultantes desta relação, posto que no plantio os baixos valores na RMSR/MSPA comprometem a estabilidade das mudas em campo, tornando-as susceptíveis ao tombamento.

3.1.8. Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

A diferença entre os clones não foi observada neste parâmetro qualitativo (Figura 9A). O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi afetado apenas pelas concentrações de PBZ, e foi ajustado o modelo polinomial quadrático para a tendência verificada (Figura 9B).

Os pontos de mínimo e máximo para esse parâmetro ocorreram nas concentrações de 28,5 e 60 ppm, com 0,34 e 0,44. A partir do ponto de mínima há uma tendência de elevação no IQD das mudas de eucalipto até a máxima concentração de PBZ estudada (Figura 9B).

A inibição máxima promovida pelo PBZ foi de 18,7%, enquanto que o aumento do IQD em relação à testemunha foi de 4,31%. Verificou-se que a partir da concentração de 57 ppm de PBZ, ocorreu acréscimo no IQD quando comparado à testemunha (Figura 9B).

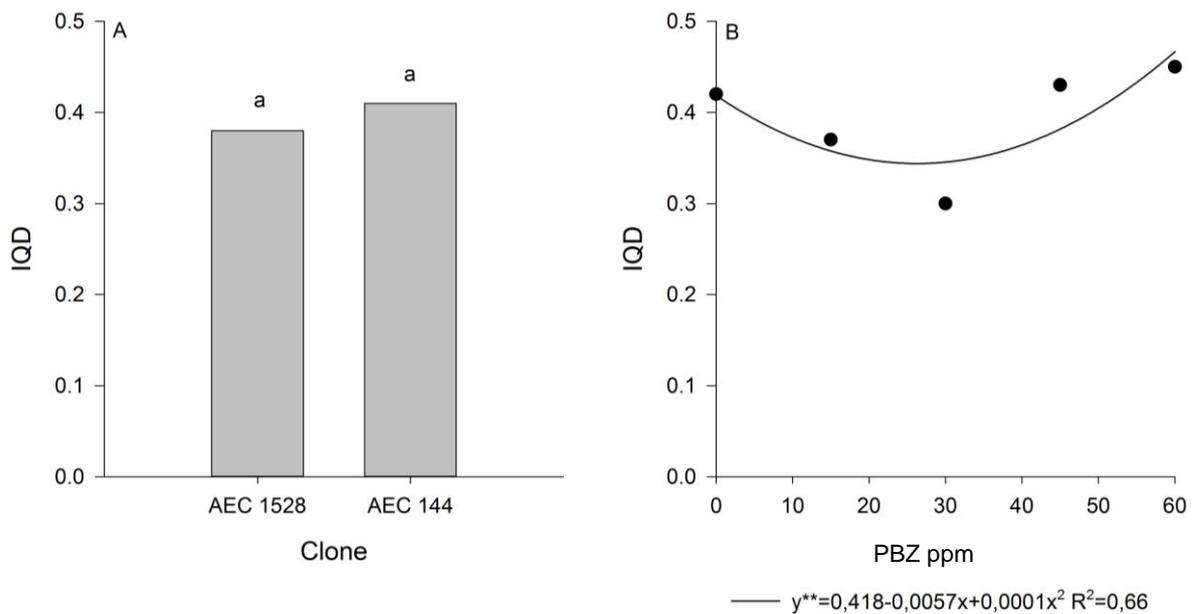


Figura 9 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

No geral, os valores encontrados de IQD, em mudas, variam a depender do manejo adotado nos viveiros, do tipo de substrato, volume dos recipientes e do tipo e idade das espécies que serão utilizadas (GOMES et al., 2013). Com isso, Maluleque (2014) encontrou valores superiores de IQD que variaram entre 2,5 e 3,2, utilizando PBZ, porém, em mudas de *Toona ciliata*. Segundo Gomes e Paiva (2011), quanto maior o valor do IQD melhor será o padrão de qualidade das mudas produzidas.

3.2. Características fisiológicas

Para as características fisiológicas, foram verificadas interações entre os clones e as concentrações de PBZ apenas em duas variáveis, na concentração de CO₂ na câmara subestomática (*C_i*) e na condutância estomática (*G_s*). Não foi observado efeito do fator clone em nenhuma das variáveis estudadas, entretanto, para as concentrações testadas de PBZ, foi constatado efeito no índice SPAD e na eficiência de carboxilação (*A/C_i*) (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância referente às variáveis fisiológicas do índice SPAD (SPAD), temperatura foliar (T_{if}), concentração de CO₂ na câmara subestomática (C_i), transpiração (E), condutância estomática (G_s), fotossíntese líquida (A), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência de carboxilação (A/C_i) avaliadas 60 dias após aplicação do regulador.

FV	GL	Quadrados Médios			
		SPAD	T_{if}	C_i	E
Clone (C)	1	9,487ns	8,1ns	256,71ns	0,4ns
Concentração (D)	4	71,635**	4,4ns	256,12ns	0,71ns
C vs D	4	19,813ns	5,35ns	2738,28**	0,09ns
Bloco	3	4,956ns	111,2**	2870,15**	3,56**
Erro	27	8,470	3,43	411,93	6,059
CV (%)	39	7,48	5,86	7,26	18,8

FV	GL	Quadrados Médios			
		G_s	A	A/E	$A/C_i \times 10^{-4}$
Clone (C)	1	0,03ns	5,62ns	0,43ns	0,73ns
Concentração (D)	4	0,06ns	5,54ns	0,23ns	0,95*
C vs D	4	0,11*	1,56ns	0,12ns	0,49ns
Bloco	3	0,24**	35,7**	8,47**	0,42ns
Erro	27	0,04	3,62	0,51	0,31
CV (%)	39	37,54	16,79	20,37	20,37

Onde: FV = Fonte de Variação; GL= Grau de Liberdade; ns = não significativo pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; ** = significativo a 1 %, pelo teste F.

3.2.1. Índice SPAD

Não foi verificada diferença entre os clones estudados no índice SPAD (Figura 10A). Para a relação entre o índice SPAD e as concentrações de PBZ, foi ajustado um modelo polinomial quadrático (Figura 10B). O índice SPAD, nas mudas, foi elevado até a concentração de 47,03 ppm de PBZ, atingindo um valor médio estimado de 41,22. A partir dessa concentração, a tendência foi de decréscimo, entretanto, todas as concentrações testadas de PBZ proporcionaram um índice SPAD superior à testemunha (Figura 10B).

Ainda em comparação à testemunha, foi possível observar que o PBZ promoveu um aumento de 20,7% no índice SPAD das mudas em ambos os clones estudados (Figura 10B), na concentração de 47,03 ppm de PBZ.

Segundo Chaney (2005), a elevação do índice SPAD pela utilização do PBZ ocorreu devido à redução da biossíntese de giberelina, resultando no aumento da síntese de clorofila nas folhas.

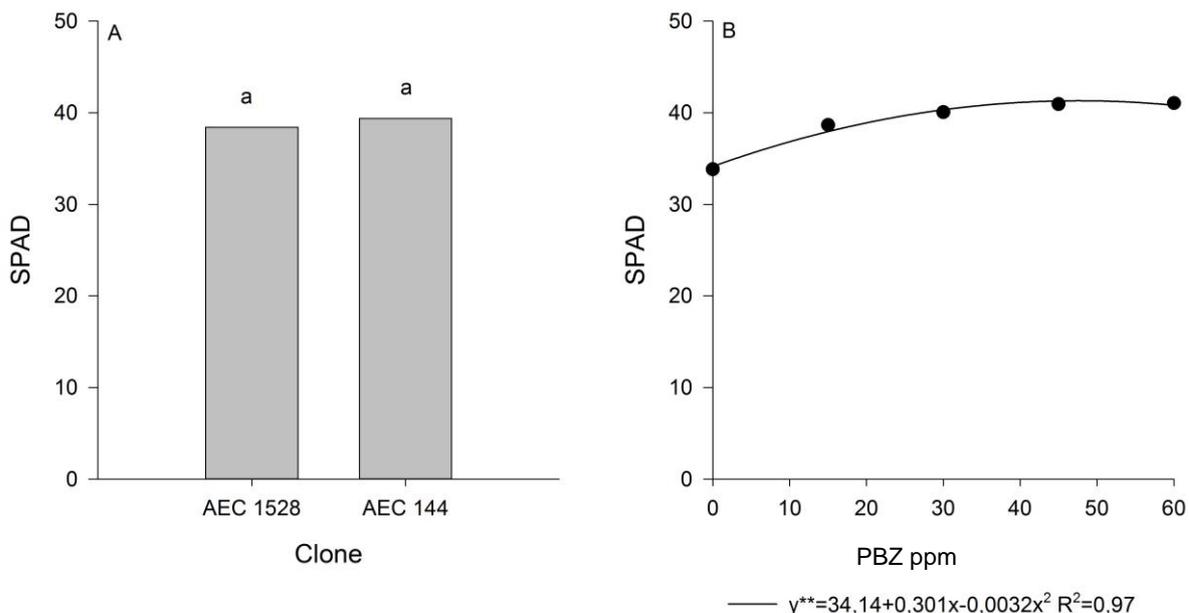


Figura 10 – Índice SPAD de mudas dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (A) e em função das concentrações de PBZ (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

Além disso, a redução da área foliar da parte aérea associada ao aumento do número de folhas, implica na ocorrência da maior densidade de cloroplastos por unidade de área, resultando em maior intensidade de coloração verde da folha. O aumento da tonalidade verde, decorrido da utilização de PBZ, também pode ter ocorrido pelo fato deste regulador estimular a síntese de citocinina endógena, que aumenta a diferenciação de cloroplastos, favorecendo a síntese e a manutenção da clorofila (FLETCHER et al., 2000).

Moraes et al. (2012), estudando a aplicação de biorreguladores vegetais em *Eucalyptus grandis*, obtiveram como resultado da aplicação do PBZ um aumento do índice SPAD, de acordo com o acréscimo nas concentrações do regulador (100, 200 e 300 ppm de PBZ).

Segundo Mendonça et al. (2010), este índice pode ser utilizado como indicador de estresse. Entretanto, não se observa a utilização para a avaliação de qualidade de mudas em viveiros comerciais, por isso, não se tem valores predefinidos a serem utilizados nas avaliações de mudas.

3.2.2. Temperatura da folha (T_{lf})

Não foi observada para esta variável uma tendência entre as concentrações utilizadas de PBZ (Figura 11A). Verificou-se também que a temperatura foliar manteve-se homogênea para os dois clones avaliados (Figura 11B).

Com a aplicação de PBZ, a temperatura foliar se eleva devido à dissipação na forma de calor do excesso de energia luminosa absorvida, resultante da elevação dos teores de clorofila, entretanto, mesmo que neste estudo a aplicação de PBZ tenha elevado os valores do índice SPAD (Figura 10A), não foi verificado aumento da temperatura foliar (Figura 11A). Outro efeito que pode ter influenciado na estabilidade térmica das folhas foi a elevação das taxas de transpiração foliar resultante da aplicação de PBZ, pois, segundo Latimer (1992), o aumento da transpiração pode mitigar a elevação da temperatura das folhas (Figura 11A).

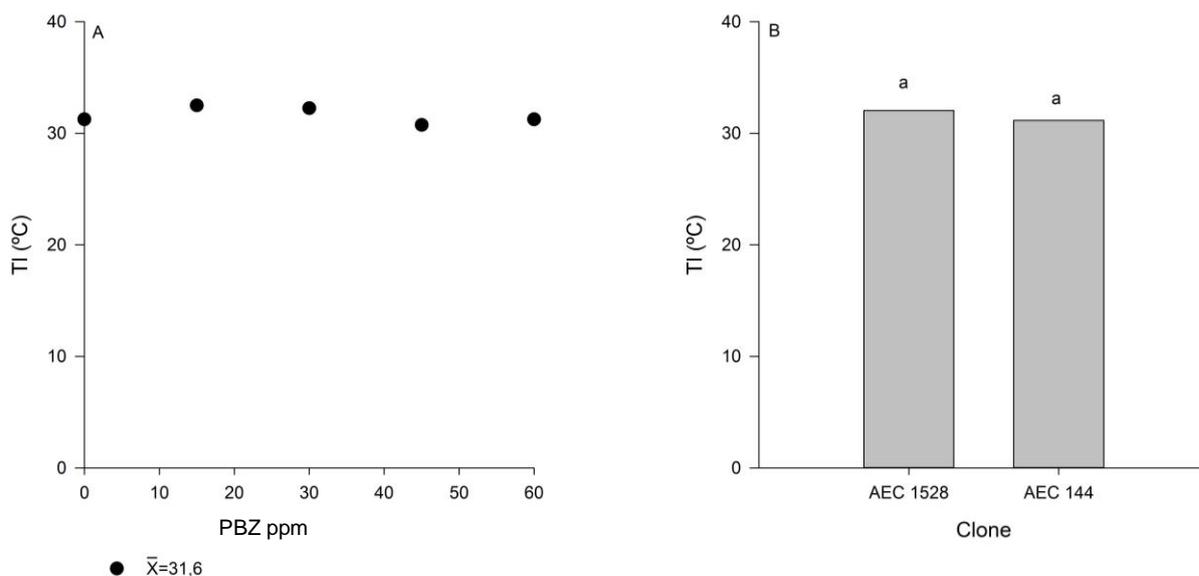


Figura 11 – Temperatura da folha (T_{lf}) em função das concentrações de PBZ (A) e clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 DAA. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

3.2.3 Concentração de CO_2 na câmara subestomática (C_i)

Trata-se de uma variável definida pelo balanço entre o influxo e efluxo de CO_2 na câmara subestomática (MACHADO et al., 2005). Para o estudo do

desdobramento das concentrações de PBZ para os dois clones testados, foram observadas flutuações indefinidas, porém, quando comparado à testemunha, o comportamento dos dois clones foi divergente. Para o clone AEC 1528, observou-se que a aplicação de PBZ reduziu os valores da concentração de CO₂ na câmara subestomática (*C_i*), enquanto que para o clone AEC 144, foi verificada elevação dos valores desta variável (Figura 12A), ambos em comparação à testemunha (Figura 12A).

O aumento promovido pelo PBZ nos valores da *C_i* foi relacionado por Tekalign e Hammes (2004) ao aumento de clorofilas e redução da relação clorofila a/b em plantas de batata. Segundo Castro et al. (2009) e Zhou e Han (2005), esta alteração na relação clorofila a/b aumenta o fluxo de CO₂ para o interior da folha, elevando os valores da *C_i*. Entretanto, Rodrigues et al. (2013) não observaram diferenças na concentração interna de CO₂, quando mudas clonais de *Toona ciliata* foram submetidas à PBZ.

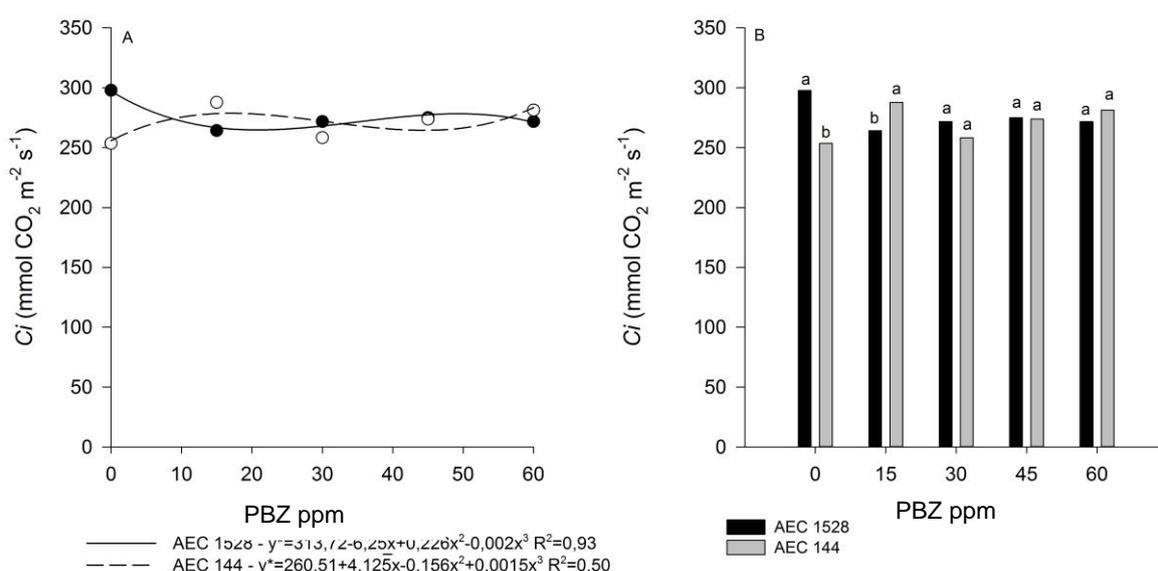


Figura 12 – Concentração de CO₂ (*C_i*) na câmara subestomática de mudas de clones de eucalipto em função das concentrações de PBZ 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

O efeito contrastante entre os clones foi evidenciado na concentração de 15 ppm de PBZ. Para as concentrações superiores (30, 45 e 60 ppm de PBZ), o padrão da *C_i* foi constante entre os clones (Figura 12B). A homogeneidade observada entre

os clones em concentração superior a 15 ppm de PBZ foi atribuída a alterações nos tecidos foliares, caracterizadas por folhas coriáceas e rígidas (MORAES et al., 2012).

3.2.4 Transpiração (*E*)

Foi ajustado um modelo cúbico para a relação entre a transpiração (*E*) foliar e as concentrações de PBZ, sendo os valores das plantas tratadas sempre superiores à testemunha (o aumento máximo na taxa de transpiração foi de 27,1%, verificado na concentração de 19,1 ppm de PBZ pl^{-1} , Figura 13A). As taxas da *E* mantiveram-se constantes para os dois clones avaliados (Figura 13B).

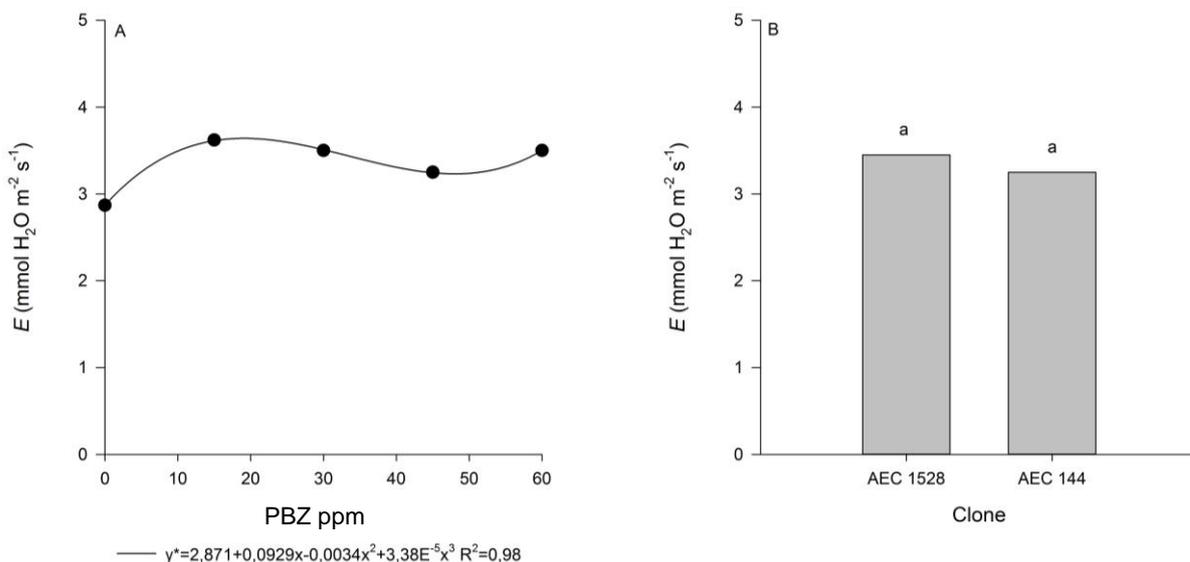


Figura 13 – Transpiração (*E*) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, na figura B, não diferem entre si, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

A aplicação de PBZ nas plantas geralmente está relacionada à redução das taxas da *E*, devido à elevação da biossíntese de ABA, resultando em menor condutância estomática (*G_s*) (JALEEL et al., 2008). Entretanto, no presente estudo, o PBZ elevou os valores de *G_s* apenas do clone AEC 144 em relação à testemunha (Figura 14A) e, conseqüentemente, elevou a *E*. A elevação da *E* também foi associada às alterações morfológicas na parte aérea das mudas, especificamente pela redução da área foliar individual. A redução do tamanho individual das folhas é uma característica relacionada à maior condutância hidráulica, que ocorre devido à

maior densidade de venação nas folhas e à menor incidência de cavitação no xilema (NARDINI et al., 2013; MAURI, 2015).

3.2.5 Condutância estomática (Gs)

No presente trabalho, foi verificada a interação entre os clones e as concentrações de PBZ, sendo possível definir um modelo quadrático para a relação entre a condutância estomática (Gs) e as concentrações deste retardador apenas para o clone AEC 144. Para este clone, todos os valores de Gs mantiveram-se superiores à testemunha, sendo observada máxima de elevação (113% em relação à testemunha) para a concentração de 30,8 ppm de PBZ (Figura 14A).

Quando os clones foram avaliados sem a aplicação do regulador, foi verificado maior Gs para o clone AEC 1528 em relação ao clone AEC 144 (Figura 14B). Entretanto, semelhantemente ao observado para Ci (Figura 13B), para a concentração de 15 ppm de PBZ, os valores de Gs do clone AEC 144 foram superiores aos observados para o clone AEC 1528 (Figura 14B). Em concentrações superiores (30, 45 e 60 ppm de PBZ), houve homogeneidade de Gs para os dois clones (Figura 14B).

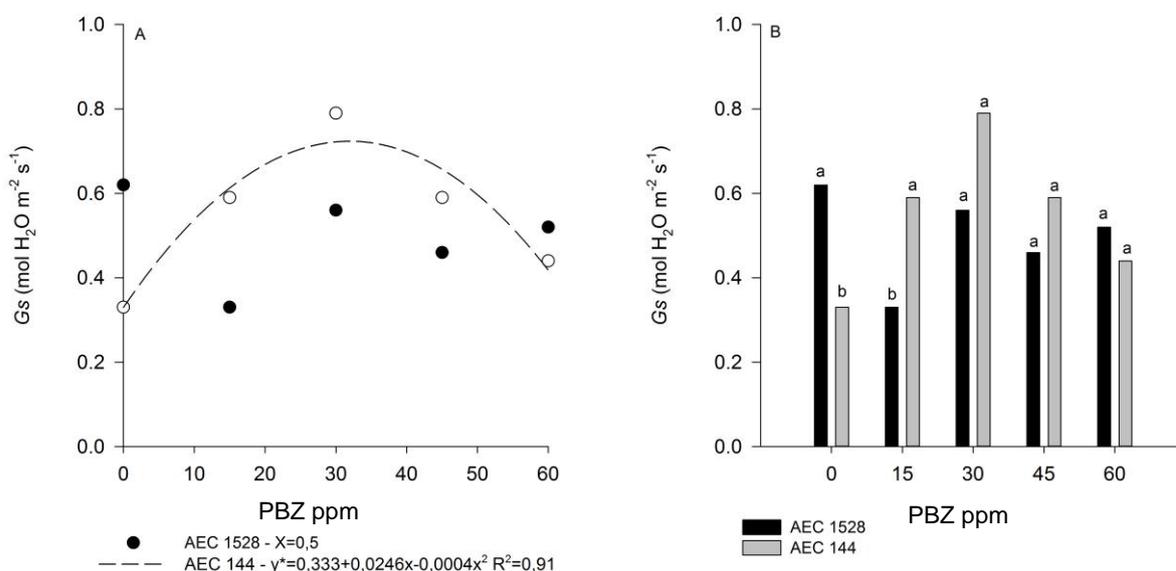


Figura 14 – Condutância estomática (Gs) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

Vários são os fatores que afetam G_s , entre eles, a densidade estomática, disponibilidade hídrica, a concentração de CO_2 , a temperatura e a intensidade da radiação luminosa (MARRICHI, 2009). Contudo, em estudos realizados por Auras (1997), verificou-se que embora a aplicação do PBZ tenha elevado o índice e a densidade estomática, tanto na face adaxial quanto na abaxial das folhas, não houve alteração da condutância estomática. Rodrigues et al. (2013) também não observaram efeitos diferenciados de G_s em mudas de *Toona ciliata* submetidas às aplicações de PBZ, mas os autores observaram diferenças entre os clones estudados.

Para o presente estudo, a maior disponibilidade hídrica induzida pela elevação da condutividade hidráulica foi relacionada às alterações morfológicas (menor área foliar individual), resultando em elevação de G_s .

3.2.6 Fotossíntese líquida (A)

Foi ajustado um modelo polinomial de segunda ordem crescente para a fotossíntese líquida (A) nas mudas de eucalipto tratadas com PBZ (Figura 15A). Maiores valores na A foram verificados para a concentração de 39,8 ppm de PBZ, com incremento de 20,6% em relação à testemunha (Figura 15A).

A partir do ponto de máximo, verificou-se um leve decréscimo na taxa fotossintética, no entanto, essa foi sempre superior à testemunha para todas as concentrações estudadas. Não foram observadas diferenças entre os clones para este parâmetro (Figura 15B).

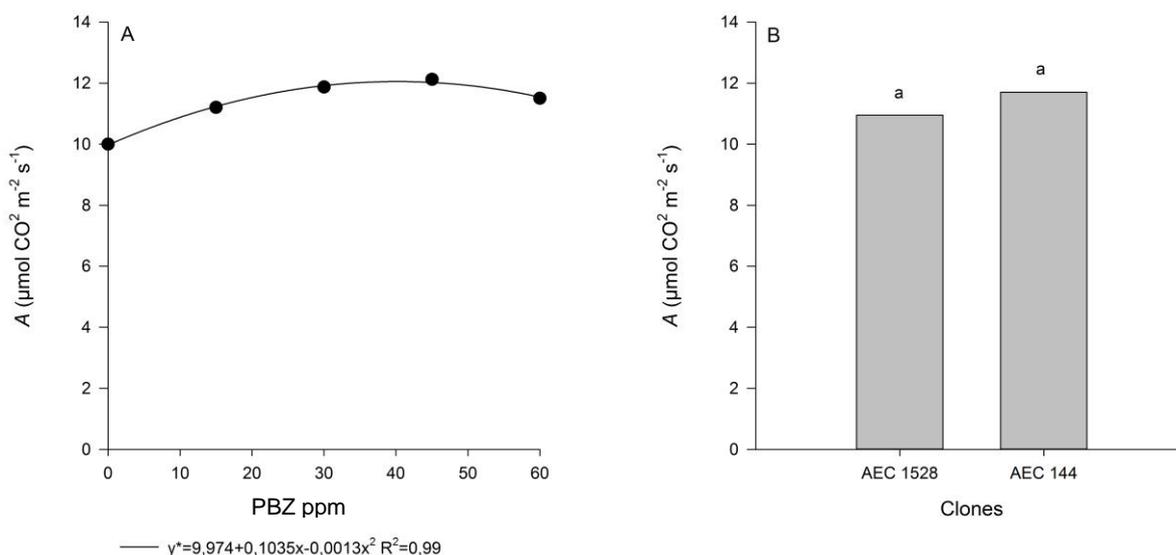


Figura 15 – Fotossíntese líquida (A) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

A aplicação de PBZ afetou a fotossíntese na fase fotoquímica e bioquímica. Muitos são os relatos que atestam que sob a aplicação de PBZ, ocorre maior eficiência dos sistemas anti-oxidativos das plantas, restringindo a ação de radicais livres e elevando a eficiência da cadeia transportadora de elétrons das lamelas cloroplastídicas (HONORATO JÚNIOR et al., 2015; ELANCHEZHIAN et al., 2015).

Outro efeito da aplicação de PBZ no aumento da A, é que este eleva a eficiência carboxilativa potencializando as reações da fase bioquímica, principalmente as relacionadas à carboxilação mediada pela Rubisco, reduzindo a fotorrespiração (CRIADO et al., 2009). Harmath et al. (2014) só observaram reduções na fotossíntese líquida quando utilizaram concentrações de 2500 até 5000 ppm de PBZ, ou seja, apenas em altas concentrações.

3.2.7 Eficiência de uso da água (A/E)

A eficiência de uso da água (A/E) foi afetada apenas pelas concentrações de PBZ, todavia, não houve diferença entre clones para essa variável (Figura 16A e B). Trata-se de uma variável que expressa a efetividade de uma planta na fixação de carbono em relação ao vapor d'água liberado pela transpiração (DONATO et al., 2013).

Foi ajustado um modelo cúbico para as concentrações de PBZ, no qual se verificou uma redução entre a testemunha e a concentração de 14 ppm de PBZ. A partir deste ponto, ocorreu uma elevação nessa variável até a máxima concentração estimada de 47 ppm de PBZ (Figura 16A). Mesmo Delias (2013) relatando que o eucalipto já possui intrinsecamente altos valores na A/E, neste estudo, foi possível observar um aumento de 2,7% nessa variável, em comparação à testemunha (Figura 16A). Donato et al. (2013) afirmaram que o aumento da eficiência de uso da água é preponderante para reduzir o desperdício de recurso utilizado pelos atuais sistemas de irrigação.

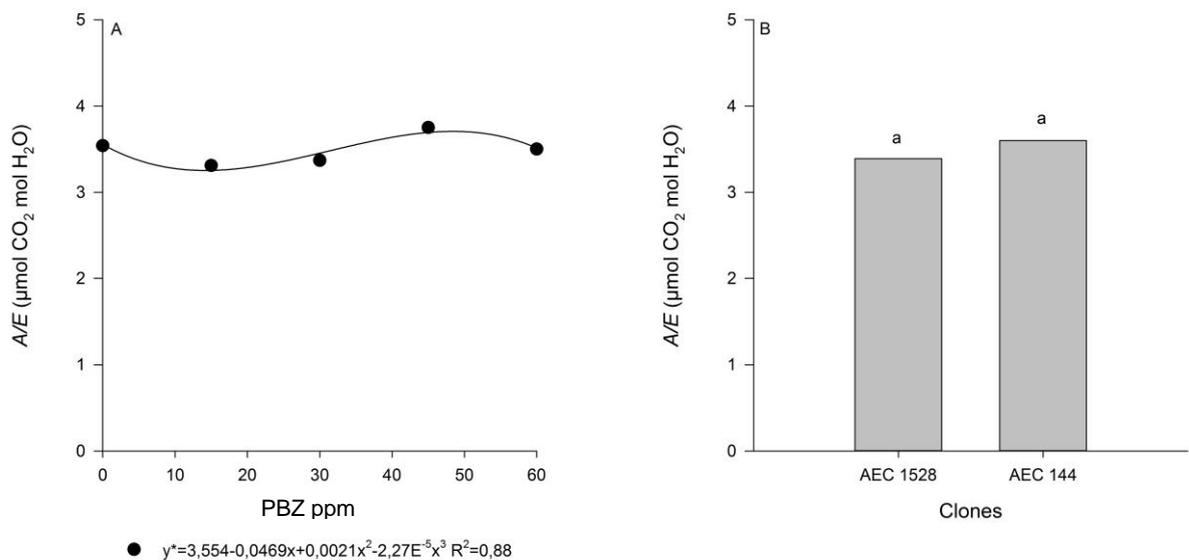


Figura 16 – Eficiência de uso da água (*A/E*) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

Assim como a *C_i*, a *A/E* também é uma variável dependente de fatores abióticos, principalmente quando está relacionada à deficiência hídrica (OMETTO et al., 2003). Outro fator que influencia na eficiência de uso da água é a abertura estomática, pois quanto mais tempo os estômatos permanecem abertos, maior a absorção de CO₂ para ser utilizado no processo fotossintético, no entanto, maior será a transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2004; MACHADO et al., 2010).

3.2.8 Eficiência de carboxilação (*A/C_i*)

A eficiência da carboxilação (*A/C_i*) das plantas pode expressar a velocidade com que o CO₂ fixado é metabolizado (BARBOSA, 2014) e é delimitada pela razão entre a fotossíntese líquida e a concentração interna CO₂ (MACHADO et al., 2005).

Para este parâmetro, foi ajustado um modelo polinomial de segunda, em função das concentrações de PBZ, no qual foi observado um incremento de 26,7% em relação à testemunha, na concentração de 41,6 ppm de PBZ (Figura 17A). A partir dessa concentração, houve um leve decréscimo na *A/C_i* até a concentração máxima, no entanto, essa foi sempre superior à testemunha para todas as

concentrações estudadas (Figura 17A). Não foram verificadas diferenças entre os clones para esta variável (Figura 17B).

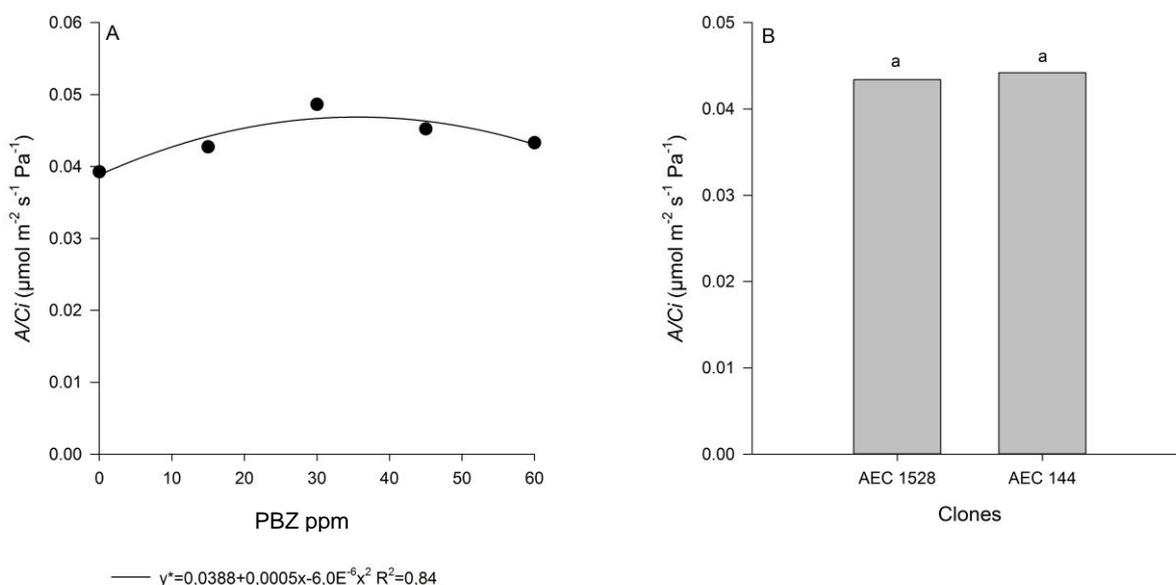


Figura 17 – Eficiência de carboxilação (A/C_i) em função das concentrações de PBZ (A) e em função dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144 (B), 60 dias após a aplicação por imersão. Vitória da Conquista - BA, 2016.

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

O aumento verificado na A/C_i foi relacionado, sobretudo, ao incremento na A (Figura 15A), visto que o efeito do PBZ na C_i promoveu comportamentos distintos nos dois clones, tanto no acúmulo quanto no decréscimo (Figura 12A).

Fisiologicamente, esse acréscimo na A/C_i pode ser atribuído ao PBZ por este regulador promover o aumento da síntese de citocininas endógenas (FLETCHER et al., 2000), pois, segundo Criado et al. (2009), aplicações exógenas desse regulador foram responsáveis pelo aumento da atividade da enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase (Rubisco), otimizando a eficiência de carboxilação.

3.3. Interação entre as características fisiológicas (Correlação de Pearson)

Todas as correlações verificadas para a testemunha foram mantidas para as mudas de eucalipto submetidas à aplicação de PBZ (Tabela 6) (correlações negativas entre T_{if} e C_i , T_{if} e G_s , T_{if} e A/E e T_{if} e correlações positivas entre C_i e G_s e A com A/C_i). Tanto para plantas controle como para plantas tratadas com PBZ, nenhuma correlação foi mantida com índice SPAD (Tabela 6).

Para as plantas controle, o único fator de impacto sobre A/E foi a T_{if} , embora não tenha sido verificado efeito direto da T_{if} sobre A e sobre E . Ainda que a eficiência de utilização da água (A/E) envolva a relação entre A e E , a correlação positiva entre A/E e A e a correlação negativa entre A/E e E só foi manifestada para as mudas tratadas com PBZ (Tabela 6). Nas plantas submetidas às maiores concentrações do PBZ, a redução do acúmulo de massa e a elevação da relação entre o Peso de Massa Seca da Raiz em relação ao Peso de Massa Seca da Parte Aérea, pode ter contribuído para a expressão direta de A e E sobre A/E (Tabela 6).

Tabela 6 – Coeficientes de correlação de Pearson (r) relativos à temperatura da folha (T_{if}), concentração de CO_2 na câmara subestomática (C_i), transpiração (E), condutância estomática (G_s), fotossíntese líquida (A), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência de carboxilação (A/C_i), em mudas dos clones AEC 1528 e AEC 144, 60 dias após a aplicação do regulador, Vitória da Conquista, Bahia, 2016.

Sem aplicação do PBZ (testemunha)							
Características	C_i	E	G_s	A	A/E	A/C_i	SPAD
T_{if}	-0,7762*	0,547	-0,8075*	-0,5741	-0,9683**	-0,2078	-0,0112
C_i		-0,393	0,9583**	0,3407	0,6497	-0,1562	-0,2099
E			-0,2222	0,3332	-0,5393	0,5431	0,0839
G_s				0,5771	0,7156	0,1140	-0,0614
A					0,6108	0,8751**	0,2027
A/E						0,3165	0,0680
A/C_i							0,3149
Com aplicação do PBZ							
T_{if}	-0,9383**	0,8768**	-0,7630*	-0,7692*	-0,9484**	-0,4303	-0,5229
C_i		-0,8023*	0,7392*	0,6118	0,8195*	0,1980	0,2922
E			-0,4996	-0,4601	-0,8084*	-0,1137	-0,5850
G_s				0,8316**	0,7981*	0,5853	0,4063
A					0,889**	0,8939**	0,6001
A/E						0,6358	0,7094
A/C_i							0,5616

Onde: **- significativo a 1% ($p \leq 0,01$) e *- significativo a 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste F.

A aplicação de PBZ nas mudas de eucalipto potencializou todas as correlações, principalmente as que envolveram a E , A e A/E . Para a A/E e a T_{if} , foi mantida correlação com todas as características analisadas, com exceção da A/C_i e SPAD. Quando foi analisada a A , observou-se que não ocorreu correlação com o SPAD, C_i e E (Tabela 6).

Latimer (1992) relatou que a temperatura foliar se mostrou elevada em mudas de tomateiro tratadas com PBZ via foliar (90 ppm), este aumento foi relacionado a uma menor condutância estomática e alterações da anatomia foliar (camada de cera mais espessa). Para as plantas submetidas ao PBZ, as correlações manifestadas para a temperatura foliar foram definidas pela integração de efeitos contrastantes do

regulador em elevar a concentração de pigmentos cloroplastídicos e reduzir o tamanho do limbo foliar.

A maior concentração de clorofila em plantas tratadas com PBZ resulta em aumento da absorção de luz e, como forma de dissipação de excesso dessa energia, eleva a liberação de calor. A aplicação de PBZ também foi relacionada à redução da área do limbo foliar, fato que contribui para a diminuição da espessura da camada limítrofe da folha, intensificando a sua capacidade de dissipação térmica e a fluência de vapor d'água e CO₂ na interface folha-atmosfera. A partir do diferencial da magnitude entre estes dois processos contrastantes, foram potencializadas as correlações envolvendo a temperatura da folha, fotossíntese líquida e a transpiração.

A transpiração (E) está diretamente relacionada à diferença de concentração de vapor d'água entre a planta e a atmosfera e inversamente associada à resistência estomática e à resistência imposta pela camada limítrofe. A elevação de calor e a redução da camada limítrofe resultante da aplicação de PBZ elevam o potencial de difusão do vapor d'água na câmara subestomática, intensificando os processos de difusão dos gases para a atmosfera.

De modo semelhante ao vapor d'água, embora com menor impacto, a elevação calorífica do limbo também aumenta o potencial difusivo do CO₂ do interior da câmara subestomática para a atmosfera. Este fato potencializou a correlação negativa entre T_{if} e A , e na correlação positiva entre T_{if} e E , pois, A e E envolvem movimentos de orientação contrários aos das moléculas de CO₂ e de vapor d'água.

Para plantas tratadas com PBZ, foi manifestada correlação positiva entre A e G_s , devido ao fato deste regulador potencializar a capacidade carboxilativa relacionada à atividade da Rubisco. G_s é influenciado pela fotossíntese, pois os fotoassimilados contribuem para a redução do potencial hídrico das células guarda, resultando na turgescência e abertura dos estômatos. Este efeito da fotossíntese potencial líquida em G_s prevaleceu, mantendo a correlação positiva entre G_s e A/E . Outro fato importante a ser ressaltado é o de que a aplicação de PBZ pode resultar em elevação dos níveis de prolina, contribuindo também, para a redução do potencial hídrico das células guarda (ROSELI et al., 2012; PARVIN et al., 2015). Navarro et al. (2007) verificaram que a aplicação de PBZ induz a um controle estomático mais eficiente que afeta negativamente a fotossíntese, mas permite

atingir melhor status hídrico das plantas. Entretanto, para o presente estudo, o efeito do PBZ em elevar A e assim, resultar em elevação de G_s , parece ter sido mais evidente que os efeitos de PBZ em restringir G_s , ocasionando a diminuição de A .

Para plantas tratadas com PBZ, foi verificada correlação negativa entre E e C_i (Tabela 6). Gopi et al. (2009) verificaram que em plantas de *Amorphophallus campanulatus* tratadas com PBZ (20 mg l⁻¹), ocorreu simultaneamente a redução de E e elevação de C_i , relacionando o efeito do regulador à maior eficiência do fechamento estomático. Entretanto, novamente, a correlação positiva somente foi verificada entre C_i e G_s , não sendo constatada correlação entre E e G_s , para plantas tratadas ou controle.

4. CONCLUSÕES

O efeito das concentrações de PBZ foi mais contundente que o fator clone para a morfofisiologia das mudas de eucalipto.

O PBZ promoveu a redução de todas as características morfológicas avaliadas, com exceção do número de folhas, para o qual foi verificada a elevação dos valores.

O número de folhas foi a característica morfológica que manteve a diferença entre os clones sob aplicação de PBZ, ocorrendo menores valores para o clone AEC 1528 em relação ao clone AEC144.

O PBZ promoveu inibição nas variáveis da Altura da Parte Aérea e no Diâmetro do Colo, contudo, por ter sido mais efetivo em retardar a altura da parte aérea, o regulador favoreceu o Índice de Robustez dos dois clones testados na fase de rustificação.

Mesmo o PBZ inibindo o acúmulo de massas dos dois clones em todas as concentrações utilizadas, o índice dado pela relação entre a Massa Seca da Raiz e a Massa Seca da Parte Aérea foi influenciado positivamente em concentrações superiores a 51,5 ppm.

A utilização de PBZ influenciou positivamente no Índice de Qualidade de de Dickson a partir da concentração de 57 ppm.

A aplicação do PBZ beneficiou a capacidade fotossintética das mudas de eucalipto devido à elevação no índice SPAD, fotossíntese líquida e a capacidade de carboxilação.

A aplicação do PBZ favoreceu a qualidade das mudas de eucalipto na fase de rustificação, constituindo-se em um regulador com elevado potencial de utilização em viveiros comerciais.

REFERÊNCIAS

- ABRAF – Associação Brasileira de produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico 2013: ano base 2012, 142 p. Disponível em: <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- ABU-MURIEFAH, S. S. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. **International Journal of Advanced Research in Biological Sciences**, v. 2, n. 7, p. 81-93, 2015.
- AURAS, N. E. **Efeitos do paclobutrazol sobre morfologia e anatomia foliar, crescimento de parte aérea, distribuição de biomassa e trocas gasosas em girassol**. Viçosa-MG: UFV, 1997, 88 p. Tese (Doutorado Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa.
- AZEVEDO, M. I. R. **Qualidade de mudas de cedro-rosa (*Cedrela Fissilis* vell) e de Ipê amarelo (*Tabebuia serratifolia* (vahl) wich) produzidas em diferentes substratos e tubetes**. Viçosa-MG: UFV, 2003, 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.
- BANINASAB, B.; GHOBADI, C. Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 30, n. 2, p. 213-219, 2011.
- BARBOSA, G. M. **Caracterização morfofisiológica de clones de mandioca em Cândido Sales-Ba**. Vitória da Conquista-BA: UESB, 2013, 140 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.
- BELLOTE, A. J. F.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 135-166.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BLANK, A. F.; PAULA, J. W. A.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; MOREIRA, M. A. Utilização de paclobutrazol em vetiver na produção de mudas e seu efeito em plantas no campo. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 4, p. 425-430, 2009.

CALABRESE, E. J.; BLAIN, R. B. Hormesis and plant biology. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 1, p. 42-48, 2008.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: Estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009, 234 p.

CHANEY, W. R. **Growth retardants: a promising tool for managing urban trees**. West Lafayette: Purdue University, 2005, 6 p.

CRIADO, M. V.; CAPUTO, C.; ROBERTS, I. N.; CASTRO, M. A.; BARNEIX, A. J. Cytokinin induced changes of nitrogen remobilization and chloroplast ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 16, p. 1775-1785, 2009.

DAVIS, T. D. Regulation of tree growth and development with triazole compounds. **Journal of Arboriculture**, v. 17, n. 6, p. 167-170, 1991.

DELIAS, D. S. **Características biométricas, trocas gasosas e atividade do sistema antioxidante de plantas de eucalipto durante o crescimento inicial**. Pelotas-RS: UFPel, 2013, 72 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas.

DESTEFANO, D. A.; GRYBAUSKAS, A. P.; SHERALD, J. L.; MOMEN, B.; HUANG, Q.; SULLIVAN, J. H. Effect of the growth regulator paclobutrazol on growth of the bacterial pathogen *Xylella fastidiosa*. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 33, n. 4, p. 246-252, 2007.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F.; MARQUES, P. R. R.; ARANTES, A. M.; SANTOS, M. R.; OLIVEIRA, P. M. Ecofisiologia e eficiência de uso da água em bananeira. In: REUNIÃO INTERNACIONAL DA ASSOCIAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO INTEGRAL DAS

MUSÁCEAS (Bananas e Plátanos), 20, 2013, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABANORTE, 2013.

DWIVEDI, S. K.; KUMAR, S. Effect of paclobutrazol on photosynthesis and expression of pyrroline-5-carboxylatesynthase in contrasting wheat genotypes under water deficit stress condition. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 1, p. 1-8, 2016.

ELANCHEZHIAN, R., HARIS, A. A., KUMAR, S., SINGH, S. Positive impact of paclobutrazol on gas exchange, chlorophyll fluorescence and yield parameters under submergence stress in rice. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 2, p. 111-115, 2015.

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de Eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. Vitória da Conquista-BA: UESB, 2012, 113 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L. VAR. *stilbocarpa* (hayne) lee et lang.), Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e Guarucaia (*Paraptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FLETCHER, R. A.; GILLEY, A.; SANKHLA, N.; DAVIS, T. D. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticultural Reviews**, v. 24, p. 55-138, 2000.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL FILHO, R. M.; SOUZA, L. S. Efeito de deformação e poda das raízes de mudas de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Revista Floresta**, v. 39, n. 2, p. 355-363, 2009.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de**

dosagens de N-P-K. Viçosa-MG: UFV, 2001, 112 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

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

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada.** 3.ed. Editora UFV, Viçosa, 2004, 116 p.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada.** 1.ed. Editora UFV, Viçosa, 2011, 116 p.

GOPI, R.; JALEEL, C. A.; AZOOZ, M. M.; PANNEERSELVAM, R. Photosynthetic Alterations in *Amorphophallus campanulatus* with Triazoles Drenching. **Global Journal of Molecular Sciences**, v. 4, n. 1, p. 15-18, 2009.

HARMATH, J.; SCHMIDT, G.; FORRAI, M.; SZABÓ, V. Influence of some growth retardants on growth, transpiration rate and CO₂ fixation of *Caryopteris incana* 'Heavenly Blue'. **Folia Oecologica**, v. 41, n. 1, p. 24-33, 2014.

HONORATO JÚNIOR, J.; ZAMBOLIM, L.; AUCIQUE-PÉREZ, C. E.; RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A. Photosynthetic and antioxidative alterations in coffee leaves caused by epoxiconazole and pyraclostrobin sprays and *Hemileia vastatrix* infection. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 123, p. 31-39, 2015.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERALTECHNICAL REPORT RM-200, 1, 1990, Roseburg. **Proceedings...** FortCollins: USDA, 1990, p. 218-222.

JALEEL, C. A.; SANKAR, B.; MURALI, P. V.; GOMATHINAYAGAM, M.; LAKSHMANAN, G. M. A.; PANNEERSELVAM, R. Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus*; impacts on ajmalicine accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 62, n. 1, p. 105-111, 2008.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **The container tree nursery manual: Seedling processing, storage, and outplanting.** 7.ed. USDA Forest Service, Washington, 2010, 200 p.

LATIMER, J. G. Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in tomato transplant production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 2, p. 243-247, 1992.

LIYEMBANI, S.; B.H. TAYLOR. Growth and development of young peach trees as influenced by foliar sprays of paclobutrazol or XE-1019. **Horticultural Science**, v. 24, n. 1, p. 65-68, 1989.

LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** Botucatu-SP: UNESP, 2004, 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista.

MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S.; FREITAS, F. C. L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; SIQUEIRA, L.; FERREIRA, E. M.; LEITE, H. G.; CAVALLAZZI, J. R. P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 947-953, 2005.

MAGALHÃES, G. C. **Desempenho de clones de eucalipto nas condições edafoclimáticas de Vitória da Conquista – BA.** Vitória da Conquista-BA: UESB, 2013, 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

MALULEQUE, I. F. **Qualidade de mudas e produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) tratadas com**

paclobutrazol. Lavras-MG: UFLA, 2014, 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. Piracicaba-SP:USP, 2009, 104 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo.

MAURIAT, M.; MORITZ, T. Analyses of GA20ox- and GID1-over-expressing aspen suggest that gibberellins play two distinct roles in wood formation. **The Plant Journal**, v. 58, n.1, p. 989-1003, 2009.

MAURI, R. **Interação entre parâmetros hidráulicos e fotossintéticos em *Coffea* spp**. Viçosa-MG: UFV, 2015, 34 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G. Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 255-267, 2010.

MORAES, C. B.; ZIMBACK, L.; UESUGI, G.; GUERRINI, I. A.; MORI, E. S. Alterações morfológicas em *Eucalyptus* sob a aplicação de biorreguladores. **Revista do Instituto Florestal**, v. 24, n. 2, p. 251-257, 2012.

NARDINI, A.; ÖUNAPUU-PIKAS, E.; SAVI, T. When smaller is better: leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. **Functional Plant Biology**, v. 41, n.9, p. 972-982, 2014.

NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; MORTE, A.; BAÑÓN, S. The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 3, p. 362-371, 2009.

NEGISHI, N., OOISHI, M. KAWAOKA, M. O. Chemical screening for promotion of adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*. **BMC. Proceedings...**, 5, Suppl.7, p. 139, 2011.

OCHOA, J.; FRANCO, J. A.; BAÑÓN, S.; FERNÁNDEZ, J. A. Distribution in plant, substrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized *Nerium*

oleander L. seedlings. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 3, p. 621-628, 2009.

OMETTO, J. P. H. B.; EHLERINGER, J. R.; MARTINELLI, L. A.; BERRY, J.; FLANAGAN, L.; DOMINGUES, T. F.; HIGUCHI, N. Variação temporal do isótopo estável do carbono em material arbóreo em florestas da região Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA, 4, 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio Claro: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Viveiros florestais**. Viçosa-MG: UFV, 1993, 56 p.

PARDOS, J. A.; CALAMA, R.; MONTERO, G. Growth of container-grown Cork Oak seedlings as affected by foliar and soil application of paclobutrazol. **HortScience**, v. 40, n. 6, p. 1773-1776, 2005.

PARVIN, S.; JAVADI, T.; GHADERI, N. Proline, protein, RWC and MSI contents affected by paclobutrazol and water deficit treatments in Strawberry cv. Paros. **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 48, n 1, p. 107–114, 2015.

POTTS, B. M.; MCGOWEN, M. H.; WILLIAMS, D. R.; SUITOR, S.; JONS, T. H.; GORE, P. L.; VAILLANCOURT, R. E. Advances in reproductive biology and seed production systems of *Eucalyptus*: the case of *Eucalyptus globulus*. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 145-154, 2009.

RADEMACHER, W. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 1, p. 845-872, 2015.

RIEFLER, M.; NOVAK, O.; STRNAD, M.; SCHMULLING, T. Arabidopsis cytokinin receptor mutants reveal functions in shoot growth, leaf senescence, seed size, germination, root development, and cytokinin metabolism. **The Plant Cell**, v. 18, p. 40-54, 2006.

RODRIGUES, L. C. A.; MALULEQUE, I. F.; ROSADO, S. C. S.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. Taxa fotossintética de quatro clones de *Toona ciliata* expostos ao paclobutrazol. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 22, 2013, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2013.

ROSELI, A. N. M.; YING, T. F.; RAMLAN, M. F. Morphological and Physiological Response of *Syzygium myrtifolium* (Roxb.) Walp. to Paclobutrazol (Respon

Morfologi dan Fisiologi *Syzygium myrtifolium* (Roxb.) Walp. Terhadap Paklobutrazol). **Sains Malaysiana**, v. 41, n. 10, p. 1187-1192, 2012.

RUDEK, A.; GARCIA, F. A. O.; PERES, F. S. B. Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 3775-3787, 2013.

SENA JÚNIOR, D. G.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; KHOURY JÚNIOR, J. K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 187-195, 2008.

SHAO, W.; ZHONG, P.; ZHUANG, C.; JI, S.; SUN, C.; CHEN, C.; ZHANG, A. Regulating effect of paclobutrazol and retention agent on rice seedling quality in straw – ash substrate. **Acta Agriculturae Jiangxi**, v. 25, n. 4, p. 85-87, 2013.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A. Condutância estomática de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis*, em resposta a diferentes níveis de água no solo e de convivência com *Brachiaria brizantha* Stapf. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 339-347, 1998.

SOUZA, A. F.; ROCHA JÚNIOR, E. O.; LAURA, V. A. Índice SPAD para a estimativa do nitrogênio foliar em mudas de oito espécies florestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza. 2009.

STURION, J. A.; GRAÇA, L. R.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies de rápido crescimento por pequenos produtores**. Colombo-PR: EMBRAPA Florestas (Circular Técnica, 37), 2000, 20 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Editora Artmed, São Paulo, 2013, 954 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Editora Artmed, Porto Alegre, 2004, 719 p.

TEKALIGN, T.; HAMMES, P. S. Response of potato grown under non-inductive condition to paclobutrazol: shoot growth, chlorophyll content, net photosynthesis, assimilate partitioning, tuber yield, quality, and dormancy. **Plant Growth Regulation**, v. 43, n. 3, p. 227-236, 2004.

VILLAR-SALVADOR, P.; PUERTOLAS, J.; PENUELAS, J. Assessing morphological and physiological plant quality for Mediterranean woodland restoration projects. In: BAUTISTA, S.; ARONSON, J.; VALLEJO, V. R. (Eds.). **Land restoration to combat desertification**: innovative approach, quality control and project evaluation. Valencia: CEAM, 2009, p. 103-105.

WILLIAMS, D. R.; ROSS, J. J.; REID, J. B.; POTTS, B. M. Response of *Eucalyptus nitens* seedlings to gibberellin biosynthesis inhibitors. **Plant Growth Regulation**, v. 27, n. 2, p. 125-129, 1999.

ZHOU, Y. M.; HAN, S. J. Photosynthetic response and stomatal behaviour of *Pinus koraiensis* during the fourth year of exposure to elevated CO₂ concentration. **Photosynthetica**, v. 43, n. 3, p. 445-449, 2005.

CAPÍTULO 2:

CRESCIMENTO VEGETATIVO INICIAL DE CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL VIA SOLO

RESUMO

O eucalipto, em regiões de condições ambientais limitantes, sofre alterações abruptas em seu mecanismo morfofisiológico. Modular o ritmo de crescimento na fase inicial é uma alternativa para um melhor estabelecimento dessa cultura. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar os impactos da aplicação de diferentes concentrações de paclobutrazol (PBZ) na morfologia de dois clones de eucalipto na fase de crescimento vegetativo inicial. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando os híbridos AEC 1528 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*) e AEC 144 (híbrido espontâneo), submetidos a concentrações do PBZ de 0, 50, 100, 150 e 200 ppm de PBZ, aplicados no solo. O delineamento experimental definido foi o de blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 5X2 (concentração x clones). As mudas foram plantadas em vasos de 20 L, contendo uma planta por vaso, sendo considerada como unidade experimental. As avaliações das variáveis morfológicas ocorreram 90 dias após aplicação do PBZ. A aplicação de PBZ via solo inibiu o desenvolvimento e crescimento das mudas de clones de eucalipto para todas as concentrações estudadas. Este efeito favoreceu na relação altura/diâmetro (H/D), principalmente pela maior inibição que o PBZ promoveu na altura. O clone AEC 144 é superior ao clone AEC 1528 no Acúmulo de Massa, Número de Folhas e Área Foliar. O clone AEC 1528 foi superior na relação entre Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR), favorecendo seu desenvolvimento em regiões de déficit hídrico.

Palavras-chave: reguladores de crescimento, inibidor de giberelina, PBZ, eucalipto.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto assume no setor florestal brasileiro uma relevante importância em relação às outras espécies (MORAES et al., 2012). No ano de 2012, a área ocupada por plantios florestais, no Brasil, ultrapassava 6 milhões de hectares, onde 76,6% correspondem às áreas de plantios de *Eucalyptus* (ABRAF, 2013). Neste cenário, os híbridos do cruzamento entre *E. urophylla* x *E. grandis*, constituem 80% dos plantios clonais brasileiros (PALUDZYSZYN FILHO, 2014).

O desenvolvimento da cultura do eucalipto nas regiões Sul e Sudeste do país tem grande expressão devido às condições ambientais favoráveis e proximidade das indústrias, facilitando a logística entre o plantio, corte e comercialização dessa matéria-prima.

Com o avanço das fronteiras de florestas plantadas, regiões com características ambientais menos favorecidas têm sido exploradas com plantios de espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, para atender à demanda por produção de madeira, principalmente, destinada para fins energéticos. Para contornar as adversidades ambientais dessas regiões, a seleção de genótipos de eucalipto mais resistentes é a estratégia mais adotada, dentre as várias existentes, em especial, por empresas florestais. Entretanto, informações acerca das alterações iniciais sofridas logo após o plantio, mesmo de clones resistentes, ainda são superficialmente discutidas na literatura.

Perdas já são previstas na fase inicial de implantação, entretanto, o que se busca é reduzir o percentual de replantio, pois, segundo Mafia et al. (2005), trata-se de uma operação onerosa e a decisão de realizá-la ou não, depende de vários fatores técnicos e econômicos. Em regiões semiáridas, mesmo com a prática da irrigação inicial, devido à elevada evapotranspiração, a manutenção hídrica da planta não consegue ser otimizada, visto que a capacidade de absorção de água pelas raízes e a condutividade hidráulica dos solos são insuficientes para compensar as perdas por transpiração da parte aérea da planta (MONTEIRO, 2009).

A restrição da disponibilidade de água é um fator que altera a plasticidade fenotípica da planta, resultando em alterações morfofisiológicas, como a senescência foliar, redução de acúmulo de massa, elevação da resistência estomática e redução da capacidade fotossintética (CAVATTE, 2011). Embora essas

alterações atenuem o status hídrico da planta, quando ocorrem na fase inicial de crescimento, promovem a redução do vigor e, conseqüentemente, o potencial produtivo da madeira é restringido de modo irreversível. Uma das formas de interferir nessa interação de plasticidade fenotípica é por meio do manejo de reguladores vegetais.

Srivastava et al. (2016) relatou sobre o conceito de agricultura de baixo impacto e sustentável, em que se utiliza a aplicação exógena de baixas concentrações de reguladores de crescimento. Dentre os vários reguladores de crescimento disponíveis no mercado, pode-se destacar o paclobutrazol (PBZ), que atua principalmente na redução da taxa de crescimento e na elevação da resistência das plantas às doenças de natureza fúngica e tolerância ao estresse hídrico (CHANEY, 2005). O modo de ação do PBZ ocorre pela inibição em uma das etapas da síntese de giberelina. Essa inibição tem como consequência a alteração dos níveis de ácido abscísico, citocinina, etileno (FLETCHER et al., 2000) e auxina (DAVIS e CURRY, 1991).

Além dessas características, a aplicação desse regulador pode afetar a relação fonte dreno, intensificando o direcionamento de fotoassimilados para o sistema radicial (NIVEDITHADEVI et al., 2012), estimulando a formação de raízes adventícias (NEGISHI et al., 2011), favorecendo uma maior capacidade de absorção de água no solo pelas plantas. Outro efeito promovido pelo PBZ é a restrição do crescimento da parte aérea das plantas (PARDOS et al., 2005), resultando em menor evapotranspiração. Essa redução da superfície de transpiração da parte aérea e o aumento da superfície de absorção de água no solo favorecem a condição hídrica da planta.

As alterações promovidas pelo PBZ dependem da espécie e variedade, do estágio de desenvolvimento das plantas, bem como das concentrações e modo de aplicação do inibidor (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011). Para a cultura do eucalipto, a aplicação de PBZ reduz o período de juvenilidade e estimula a fase reprodutiva, resultando na iniciação precoce dos botões florais (MONCUR e HASAN, 1994; WILLIAMS et al., 2003; POTTS et al., 2009; MORAES et al., 2014).

Diante do exposto, esse estudo foi desenvolvido com o objetivo de verificar os impactos da aplicação de diferentes concentrações de paclobutrazol (PBZ) na morfologia de dois clones de eucalipto na fase de crescimento vegetativo inicial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O experimento foi realizado entre os meses de outubro de 2014 e janeiro de 2015, em casa de vegetação, na unidade experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, *campus* de Vitória da Conquista, estado da Bahia. O município está localizado na Região Sudoeste do estado, na microrregião do Planalto da Conquista, localizado a 900 m de altitude, 14°50' Sul e longitude 40°50' Oeste, com média de temperatura em torno dos 20,7°C. O clima regional é classificado com base no sistema Internacional de Köppen, como tropical de altitude (Cwa), de acordo com precipitação média anual de 733,9 mm.

2.2. Material utilizado, aplicação do produto e delineamento experimental

Para a realização do experimento, foram utilizadas mudas de dois clones de híbridos comercialmente conhecidos como AEC 1528 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e AEC 144 (híbrido espontâneo), produzidas no viveiro comercial Ouro Verde, localizado no município de Águas Vermelhas, MG.

Foram utilizadas mudas com 90 dias de idade, padronizadas quanto ao número de folhas, sendo selecionadas as que possuíam entre quatro e cinco pares de folhas. Essas mudas foram cultivadas em vasos com capacidade para 20 litros, contendo solo retirado da camada arável da área de pesquisa da UESB, classificado como sendo Cambissolo Háptico distrófico (VIEIRA et al., 1998), matéria orgânica de esterco de gado na proporção de 3:1, respectivamente, e adubação básica de macronutrientes, com 100 mg de N e 240 mg de P, por dm³ de solo (RAMOS et al., 2009), utilizando-se as seguintes fontes: ureia e superfosfato simples.

Para a aplicação do PBZ, foi preparada uma calda de cinco litros de água destilada para cada concentração estabelecida, sendo aplicada em volume fracionado de 500 mL por planta via solo, 15 dias após o transplântio das mudas.

O experimento foi conduzido através do delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com cinco blocos, em esquema fatorial 5x2 (concentração x clones), constituído de cinco concentrações de PBZ (0, 50, 100, 150 e 200 ppm) e

dois híbridos (clones AEC 1528 e AEC 144). A unidade experimental foi constituída por um vaso contendo uma planta, onde foi utilizado um total de 50 plantas para o ensaio.

2.3. Características morfológicas analisadas

As análises das características morfológicas ocorreram 90 dias após a aplicação do PBZ e foram avaliadas as seguintes variáveis:

- Altura de parte aérea (cm): obtida pela medição da parte basal até o ápice caulinar, utilizando-se uma régua;
- Diâmetro do caule: medido com paquímetro digital modelo DC-6, 3 cm acima do solo;
- Número de brotos laterais e número de folhas: obtidos a partir da contagem manual no momento da avaliação;
- Área foliar total da planta: após a coleta de todas as folhas das plantas avaliadas, estas foram submetidas à leitura pelo integralizador de área, modelo LI-3100, LI-COR, USA;
- Massa seca das folhas, caule e raiz: primeiramente, foram separadas a raiz, caule e folhas das plantas, que após isso, foram submetidas à secagem em estufa de circulação de ar forçado, a uma temperatura de 60°C, durante 48 horas, até atingirem massa constante e, em seguida, foram pesadas individualmente as partes (folhas, caule e raízes), em balança de precisão;
- Relação H/D: foi determinada pela razão entre altura e diâmetro do caule das plantas, cujos valores se expressam sem unidade;
- Massa seca da parte aérea: foi realizado o somatório das massas secas das folhas mais a do caule;
- Massa seca total: obtida através do somatório de todas as massas;
- Relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicial (MSPA/MSR): determinada pela divisão dos valores obtidos entre a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicial.

2.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos primeiramente à análise de variância (ANOVA). Foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para as médias dos clones e a regressão para as concentrações de PBZ. A regressão foi estabelecida pelo método dos polinômios ortogonais, em que foram ajustados modelos, considerando os valores do coeficiente de determinação ($R^2 \geq 50\%$), o comportamento biológico e a análise de variância da regressão. As análises estatísticas foram realizadas através do software SAEG versão 9.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 90 dias após a aplicação de PBZ, verificou-se o efeito de concentrações do regulador para as características morfológicas avaliadas, com exceção da Massa Seca das Folhas (MSF) e da relação entre a Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR) (Tabela 1). O efeito dos clones foi observado para o Número de Folhas (NF), Área Foliar da Copa (AF), para todas as variáveis de acúmulo de massa seca e na RMSPA/MSR. A interação entre as concentrações do regulador e os clones foi somente observada para o NF e AF (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância de dois clones de eucalipto (C) submetidos a concentrações de PBZ (D) para as variáveis de Altura da Parte Aérea (ALT), Diâmetro de Caule (DC), Número de Brotos Laterais (NBL), Número de Folhas (NF), área foliar (AF), relação altura/diâmetro (H/D), massa seca das folhas (MSF), Massa Seca do Caule (MSC), Raiz Quadrada da Massa da Parte Aérea ($\sqrt{\text{MSPA}}$), Massa Seca da Raiz (MSR), Massa Seca Total (MST) e Relação entre a Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR), avaliadas 90 dias após a aplicação do regulador.

FV	GL	Quadrados médios					
		ALT	DC	NBL	NF	AF	H/D
D	4	2540,3**	6,434**	39,52**	17049,7**	481778**	11,46303**
C	1	53,0 ns	2,509 ns	0,98 ns	248230,6**	15007350**	0,000051 ns
DXC	4	61,9 ns	0,547 ns	6,08 ns	15039,8**	1223825*	0,505204 ns
Bloco	4	130,2 ns	3,214*	37,47**	20581,4**	1305287,0*	1,107761 ns
Resíduo	36	52,3	1,088	6,9811	3086,013	440553,1	0,425199
C V (%)	49	14,5	9,9	20,7	19,1	17,0	13,9
FV	GL	Quadrados médios					
		MSF	MSC	$\sqrt{\text{MSPA}}$	MSR	MST	RMSPA/MSR
D	4	41,407 ns	883,964**	5,378**	436,587**	3081,51**	0,053 ns
C	1	270,65**	395,142**	6,636**	272,798**	2792,74**	0,181*
DXC	4	75,2838 ns	16,2665 ns	0,512 ns	52,085 ns	334,94 ns	0,046 ns
Bloco	4	105,553*	19,0384 ns	0,767 ns	16,237 ns	253,61 ns	0,031 ns
Resíduo	36	29,4298	13,6318	0,309	29,1341	137,27	0,030
C V (%)	49	16,6	21,1	7,9	15,2	13,7	12,3

Onde: FV = Fonte de Variação; GL= Grau de Liberdade; ns = não significativo pelo teste F; *= significativo a 5% pelo teste F; ** = significativo a 1 %, pelo teste F.

Para os clones AEC 1528 e AEC 144, foi delineado um modelo quadrático de segunda ordem para a relação entre concentrações de PBZ e a Altura da Parte Aérea (ALT), Diâmetro do Colo (DC), Número de Brotos Laterais (NBL), Relação Altura/Diâmetro (H/D), Massa Seca das Folhas (MSF), Massa Seca do Caule (MSC), Massa Seca das Raízes (MSR), Raiz Quadrada da Massa Seca da Parte Aérea ($\sqrt{\text{MSPA}}$) e Massa Seca Total (MST) (Figura 1 e 2).

A tendência generalizada para todas as variáveis citadas acima, foi caracterizada, inicialmente, por decréscimos, e a partir das menores concentrações estimadas, foram verificadas tendências de pequenos acréscimos até a concentração 200 ppm. Entretanto, para todas as concentrações, os valores estimados sempre se mantiveram inferiores à testemunha (Figura 1 e 2). Os pequenos acréscimos nas curvas, a partir das concentrações mínimas estimadas, foram relacionados a um acúmulo de carboidratos e minerais no período de inibição do crescimento (DAVIS, 1991). Quando o efeito do inibidor foi dissipado, tais reservas podem ter potencializado a capacidade de crescimento das plantas (Figura 1 e 2).

Quanto à variável ALT, a inibição máxima promovida pelo PBZ nas plantas, em relação à testemunha, foi de 51,67% na concentração de 140 ppm (Figura 1A). A redução na altura da parte aérea é um dos principais efeitos causados pela aplicação do PBZ, sendo associada à inibição de alongamento do caule (PARDOS et al., 2005). De acordo com Chaney (2005), a altura das plantas pode ser reduzida em até 60% quando se aplica 100 ml de PBZ por planta. Essa eficiência inibitória promovida por esse regulador, na altura de plantas, foi observada também por Hasan e Reid (1995) em *Eucalyptus globulus* e por Moraes et al. (2012) em *Eucalyptus grandis*.

O PBZ atua inibindo a biossíntese da GA 1 (giberelina biologicamente ativa), responsável diretamente pelo crescimento do caule (TAIZ e ZEIGER, 2013). Em estudo realizado com mudas de *Eucalyptus nitens*, submetidas à aplicação de PBZ, cloreto de chlormequat e prohexadiona-Ca, a eficácia relativa dos diferentes inibidores na redução de altura foi relacionada à diminuição de 83% dos níveis de GA1 e GA20 nos tecidos apicais em todas as concentrações utilizadas (WILLIAMS et al., 1999).

Para o DC, a inibição máxima promovida pelo PBZ ocorreu na concentração de 160 ppm, atingindo uma redução de 21,62% em relação à testemunha (Figura 1B), sendo a característica morfológica menos afetada por este regulador (Figura 1).

A menor eficiência do PBZ na inibição do DC pode ser relacionada à ausência de biossíntese de giberelinas no câmbio vascular (LEOPOLD e KRIEDEMANN, 1975) e pela menor expressividade do crescimento secundário do câmbio na fase de crescimento.

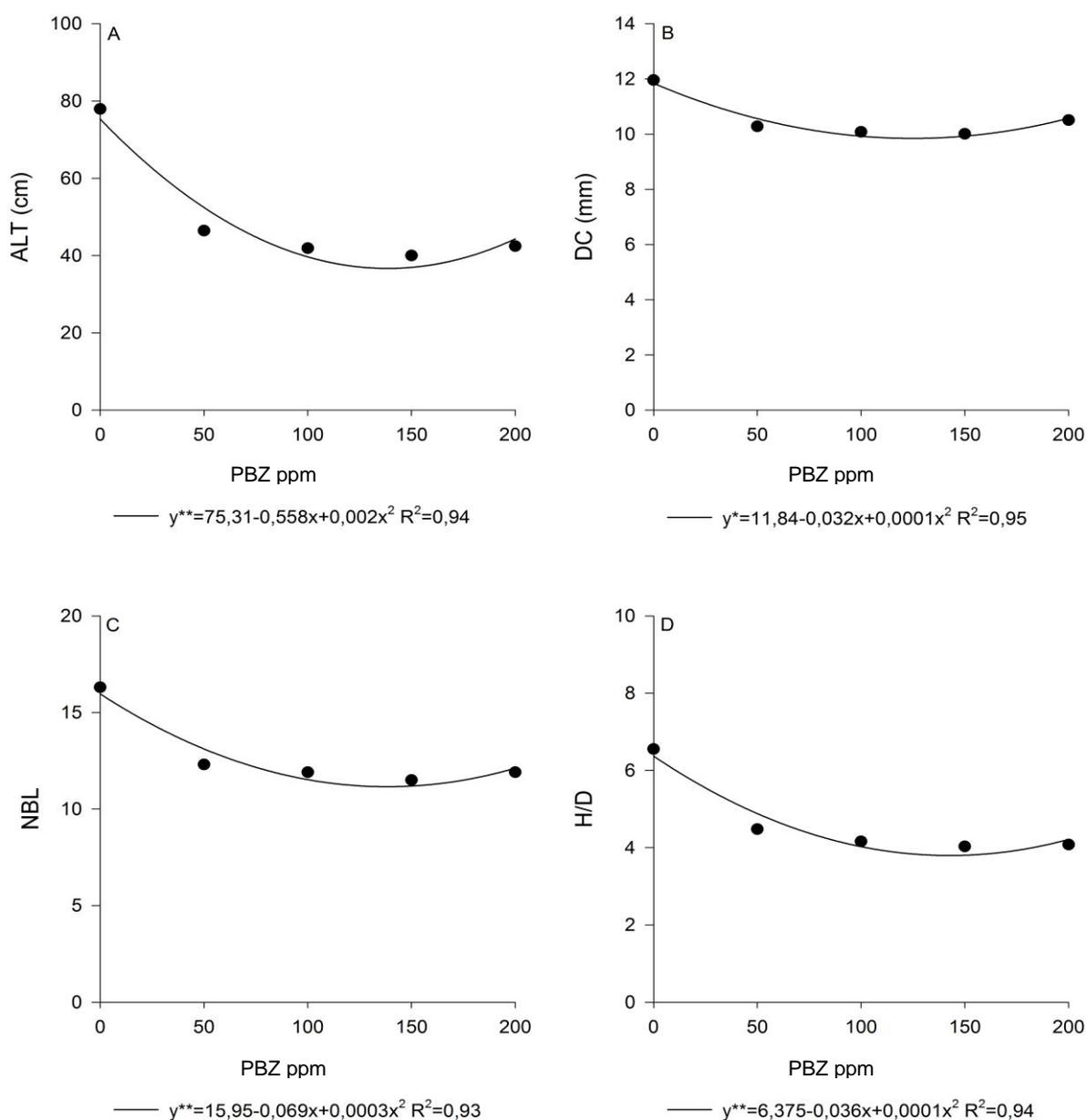


Figura 1 – Características morfológicas de Altura da Parte Aérea (ALT) (A), Diâmetro do Colo (DC) (B), Número de Brotos Laterais (NBL) (C) e Relação Altura/Diâmetro (H/D) (D) dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, 90 dias após a aplicação via solo. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Este mesmo efeito do PBZ no DC foi observado em *Pinus nigra* e *Betula papyfera* (CHORBADJIAN et al., 2011), *Eucalyptus camaldulensis* e *E. tereticornis* (VARGHESE et al., 2008) e no estágio inicial de crescimento de *Eucalyptus grandis*, (MORAES et al., 2014).

Quanto à inibição do Número de Brotos Laterais (NBL) das plantas tratadas com o PBZ em relação à testemunha, esse percentual foi de 25,24% para a concentração estimada de 116 ppm (Figura 1C).

Em trabalhos realizados em citros, a aplicação de PBZ promoveu a redução dos teores de carboidratos totais nas folhas, principalmente pela diminuição da sacarose. Embora seja classificado como um carboidrato metabólico, a sacarose foi diretamente relacionada à formação de brotos. Dessa forma, a redução de sacarose promovida pelo PBZ resultou em redução no número de brotações laterais para todas as concentrações testadas em relação à testemunha (VU e YELENOSKI, 1992; OKUDA et al., 1996).

Foi observado que para todas as concentrações testadas de PBZ, a relação H/D foi menor que a testemunha, entretanto, a máxima inibição foi alcançada na concentração estimada de 180 ppm, resultando em uma taxa inibitória de 49,18%, gerando um valor de 3,13 para essa relação (Figura 1D). O efeito ocasionado pelo PBZ nessa relação é em grande parte atribuído à maior eficiência do PBZ na inibição da ALT.

A redução da relação H/D promovida pelo PBZ é favorável em ambientes com baixos índices pluviométricos, pois, quanto menores os valores, mais robustas serão as plantas (GROSSNICKLE, 2012), podendo aumentar, por consequência, a taxa de sobrevivência em campo (VILLAR-SALVADOR et al., 2009). Entretanto, o valor verificado neste trabalho foi inferior ao intervalo ideal de 5,4 a 8,1, proposto por Trigueiro e Guerrini (2003), para *Eucalyptus*.

Quanto ao acúmulo de massas, foi verificado o efeito entre as concentrações de PBZ e a MSC, $\sqrt{\text{MSPA}}$, MSR e MST, contudo, o mesmo não foi observado na Massa Seca de Folhas (MSF) (Figura 2).

Foi adotado o modelo polinomial de segunda ordem para as variáveis de acúmulo de massas, caracterizado inicialmente por decréscimo, seguido pela elevação de valores até a concentração máxima. Entretanto, a testemunha dessas variáveis sempre se manteve superior às plantas tratadas com o PBZ (Figura 2).

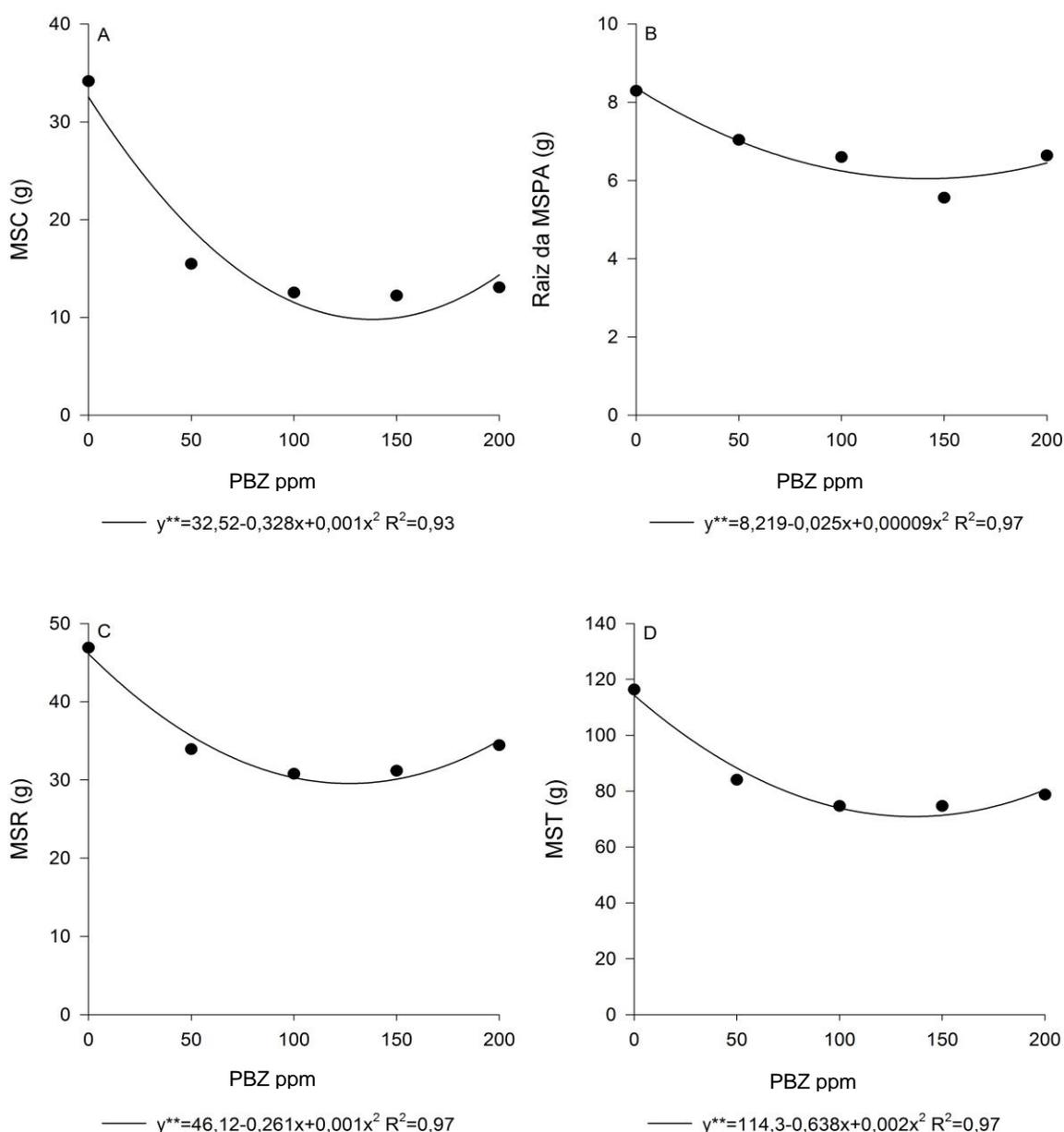


Figura 2 – Massa Seca do Caule (MSC) (A), Raiz Quadrada da Massa Seca da Parte Aérea (\sqrt{MSPA}) (B), Massa Seca da Raiz (MSR) (C) e Massa Seca Total (MST) (D) dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, 90 dias após a aplicação via solo. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Dentre as variáveis de acúmulo de massas analisadas, a MSC foi inibida em 69,29% na concentração de 137,04 ppm de PBZ, sendo esta a variável mais sensível à aplicação do inibidor (Figura 2A). Esse efeito foi relacionado à morfologia do caule, de modo que esta foi afetada pelas reduções na ALT e no DC. Outro fato importante a ser destacado é a ação que o PBZ exerce nos meristemas apicais da parte aérea, pela inibição das giberelinas, hormônios responsáveis pelo

desenvolvimento e alongamento celular (TAIZ e ZEIGER, 2013). Resultados semelhantes foram obtidos por Siqueira et al. (2008), quando utilizaram diferentes concentrações de PBZ em plantas de limão “Volkameriano”, em fase inicial de crescimento.

Para a \sqrt{MSPA} , foi encontrada uma taxa inibitória de 21,3% na concentração de 139,4 ppm de PBZ, quando comparado à testemunha (Figura 2B). Siqueira et al. (2008) encontraram uma redução de 45,25% na concentração de 193,08 ppm de PBZ em comparação à testemunha, resultado duas vezes maior do que a porcentagem de inibição verificada no presente estudo (Figura 2B).

Observou-se para a MSR uma taxa de inibição de 37,02% na concentração de 130,65 ppm de PBZ, em comparação com a testemunha (Figura 2C). Segundo Pardos et al. (2005), ainda restam dúvidas em relação à atuação do PBZ sobre o desenvolvimento radicular, pois, a inibição do crescimento destas pode ser consequência da exposição direta às concentrações de PBZ no solo ou resultado da redução do crescimento e da parte aérea das plantas.

Esses mesmos autores, estudando mudas de *Quercus suber L.*, observaram que, com o aumento da concentração de PBZ aplicado diretamente no solo, a Massa Seca da Raiz diminuiu também de forma quadrática, alcançando uma redução de 67% em relação à testemunha.

Abod e Yasin (2002), ao estudarem o efeito de PBZ em mudas de *Acacia mangium* após 12 semanas de exposição ao produto, verificaram uma redução no incremento de apenas de 12% de MSR das plantas tratadas em relação à testemunha. Outra característica observada no sistema radicial foi o engrossamento das raízes secundárias, próximo à região da coifa, para todas as concentrações utilizadas de PBZ. Este efeito foi relacionado ao redirecionamento de fotossimilados da parte aérea para essa região do sistema radicial, corroborando com observações feitas por Siqueira et al. (2008).

Quanto ao acúmulo total de massa nas plantas (MST), o PBZ, na concentração de 138,69 ppm, foi efetivo em retardar 61,28% quando comparado à testemunha (Figura 2D). A porcentagem de inibição para MST foi próxima à observada para MSC (Figura 2A e D), e esta semelhança demonstra que a MSC possui influência na fase inicial de desenvolvimento da cultura para o acúmulo de massas das plantas. Porém, Siqueira et al. (2008), relacionaram a redução da MST

à diminuição, sobretudo, da MSPA, pois este parâmetro corresponde a uma maior proporção de Matéria Seca das Plantas.

Quando se analisou o efeito dos clones para acúmulo de massas, as médias do clone AEC 144 foram superiores às médias do AEC 1528 para todas as características (Tabela 2). Esta superioridade no acúmulo de massas do clone AEC 144 foi observada em estudos realizados por Reis et al. (2014) e Pinto et al. (2011), que comparando com diversos materiais genéticos, observaram uma maior capacidade de acúmulo de massa neste clone.

Tabela 2 – Médias de Massa Seca das Folhas (MSF), Massa Seca do Caule (MSC), Massa da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raiz (MSR), Massa Seca Total (MST) e a relação entre a Massa Seca da Parte Aérea e a Massa Seca do Sistema Radicial (RMSPA/MSR) dos clones AEC 1528 e AEC 144, avaliados 90 dias após a aplicação do regulador. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Variáveis	Médias dos Clones AEC	
	1528	144
MSF	30,4B	35,1A
MSC	14,7B	20,3A
MSPA	6,7B	7,30A
MSR	33,1B	37,8A
MST	78,2B	93,1A
RMSPA/MSR	1,355B	1,47A

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

Embora o acúmulo de massa do clone AEC 1528 seja inferior quando comparado ao clone AEC 144, a menor Relação entre Massa Seca da parte Aérea em Relação à Massa Seca das Raízes (RMSPA/MSR) do clone AEC1528, favorece sua adaptação em regiões com *déficit* hídrico e solos de baixa fertilidade, pois, quanto menor for esta relação, menor a necessidade de suplementação hídrica da planta (PINTO et al., 2011).

Mesmo ocorrendo diferenças entre os clones quanto ao acúmulo de massas, as alterações causadas pelo PBZ em relação às características genéticas são pouco elucidadas pela literatura (MALULEQUE, 2014). A autora, estudando a aplicação do PBZ em três genótipos de *Toona ciliata*, verificou que as alterações causadas pelo inibidor sobre o acúmulo de massa podem estar mais associadas a fatores genéticos.

Quando se analisou o Número de Folhas (NF) e a Área Foliar (AF) de cada clone em função das concentrações de PBZ, foram verificadas diferenças de sensibilidade entre estes (Figura 3). Para o NF, tal discrepância resultou em

definição de modelos diferenciados para o clone AEC 1528 (modelo de regressão linear decrescente) e para o clone AEC 144 (modelo de regressão polinomial de segunda ordem). Para o clone AEC 144, à medida que a concentração de PBZ foi aumentando, o NF foi reduzindo, enquanto que para o clone AEC 1528, foram observados decréscimos de 0 até 128,05 ppm de PBZ e, a partir desse valor, ocorreram acréscimos até a concentração máxima de 200 ppm) (Figura 3A).

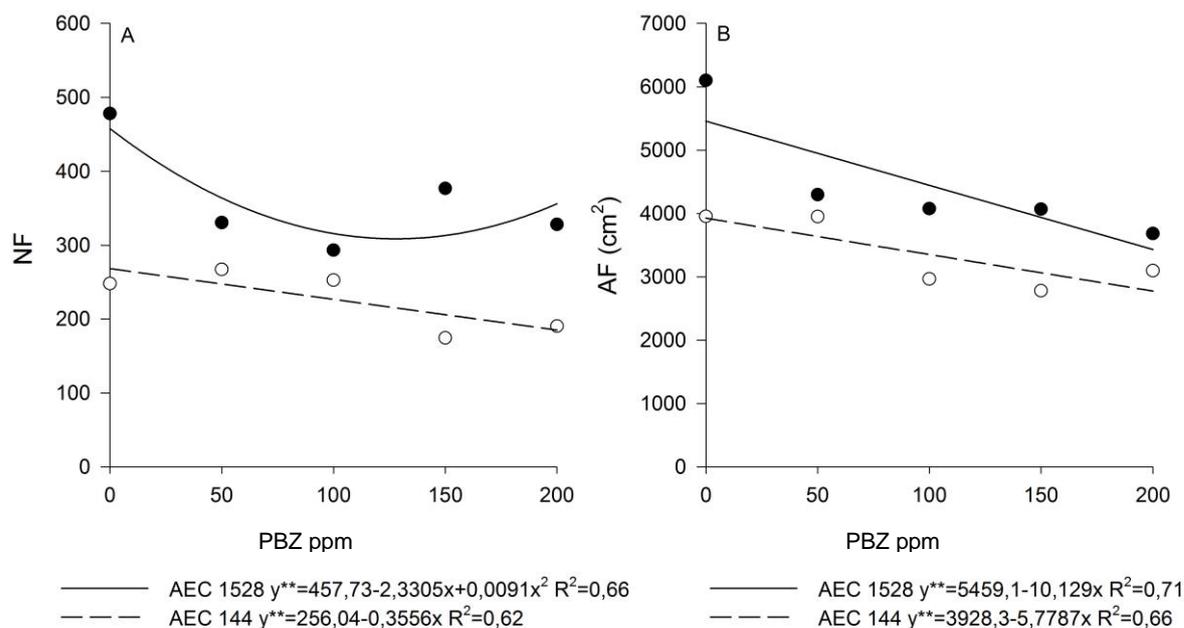


Figura 3 – Número de Folhas (NF) (A) e Área Foliar (AF) (B) dos clones de eucalipto AEC 1528 e AEC 144, em função das concentrações de PBZ, 90 dias após a aplicação via solo. Vitória da Conquista - BA, 2016.

Quando foi analisada a Área Foliar (AF), para os dois clones, foi delineado o modelo linear decrescente em função do aumento das concentrações de PBZ. Foram observadas inibições na AF de 29,4% no clone AEC 1528 e 37,1% no clone AEC144, todas estas em comparação à testemunha (Figura 3B). A maior sensibilidade ao PBZ verificada no clone AEC144 em relação à AEC1528, pode ser constatada também pelo maior valor absoluto do coeficiente angular das equações (-10,13 e -5,78, respectivamente) (Figura 3B).

O número de folhas e a área foliar individual são os fatores que mais influenciaram na AF das plantas. Quando se observou as tendências entre a AF e NF de cada clone, foi possível verificar uma diminuição no tamanho individual das folhas do clone AEC144, em concentração superiores a 128,05 ppm de PBZ, pois a

partir deste ponto, foi observado o aumento do NF enquanto que a AF continuou decrescendo em função do aumento da concentração de PBZ (Figura 3A e B).

Navarro et al. (2007) associaram a redução do NF em *Arbutus unedo* à diminuição do número de gemas, provocada pela aplicação do PBZ. Além do NF, este regulador pode induzir alterações na morfologia da folha, reduzindo a superfície de transpiração e, conseqüentemente, aumentando a tolerância a estresses ambientais (FLETCHER et al., 2000; RADEMACHER, 2015). Auras (1997) relacionou este efeito à inibição da biossíntese de giberelinas e à elevação dos níveis de ácido abscísico (ABA) pelo PBZ, resultando na inibição do crescimento das células.

Ao analisar o desdobramento do NF para os clones, observou-se superioridade do clone AEC 144 em relação ao clone AEC 1528, nas concentrações de 0, 50, 150 e 200 ppm (Tabela 3), ocorrendo a equiparação das médias apenas na concentração de 100 ppm. Essa igualdade de valores foi atribuída à redução de NF do clone AEC 144.

Para o estudo do desdobramento da AF para os clones, verificou-se maiores médias no clone AEC 144 em relação ao clone AEC 1528, nas concentrações de 0, 100 e 150 ppm, ocorrendo igualdade de valores nas concentrações de 50 e 100 ppm (Tabela 3).

Tabela 3 – Número de folhas (NF) (cm²) e área foliar (AF) dos clones AEC 1528 e AEC 144 em função das concentrações de PBZ, avaliadas 90 dias após aplicação do regulador.

Concentração (ppm)	Número de Folhas (NF)		Área Foliar (AF) (cm ²)	
	AEC 1528	AEC 144	AEC 1528	AEC 144
0	248,0B	478,2A	3956,11B	6101,24A
50	237,0B	330,6A	3951,78A	4298,56A
100	252,6A	293,2A	2966,91B	4078,70A
150	174,4B	376,8A	2780,14B	4067,98A
200	190,4B	328,2A	3097,25A	3684,27A

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

Resultados semelhantes foram verificados por Zimmerman e Stefens (1995) e Zhou et al. (2012), que ao estudarem efeitos de PBZ em *Malus domestica* e *Tectona grandis*, ficou evidenciado que o efeito do regulador está condicionado às diferenças genotípicas e de variedades. Cauvin (1991) também verificou alteração no comprimento e na largura das folhas para clones híbridos de *Eucalyptus gunnii* x

Eucalyptus grandis, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus gunnii* x *Eucalyptus dalrympleana*, após a aplicação de PBZ.

Essas diferenças entre os clones, em função das concentrações de PBZ, foram atribuídas às variações de sensibilidade que esse inibidor promove em função, principalmente, das espécies e variedades utilizadas (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011).

4. CONCLUSÕES

A aplicação de PBZ via solo inibe o crescimento de clones de eucalipto, porém, a intensificação deste efeito ocorre até a concentração de 146 ppm.

As concentrações de PBZ utilizadas promoveram menor relação H/D quando comparadas à testemunha, conseqüentemente, observou-se um aumento na robustez das plantas, o que é favorável para regiões com *déficit* hídrico.

O clone AEC 144 tem maior capacidade de acúmulo de massa, número de folhas e área foliar, em comparação ao clone AEC 1528, mesmo sob aplicação de PBZ. Entretanto, o clone AEC 1528 possui menor valor de RMSPA/MSR, indicando uma melhor distribuição de massas entre a parte aérea e o sistema radicial, sendo importante para regiões de *déficit* hídrico.

A utilização de PBZ foi benéfica como um manejo alternativo na fase inicial de estabelecimento da cultura do eucalipto, visto que modula o ritmo de crescimento de acordo com as necessidades intrínsecas de sua morfologia.

REFERÊNCIAS

- ABOD, S. A.; YASIN, S. Effects of Paclobutrazol and Daminozide on the Growth of *Acacia mangium* seedlings. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 25, n. 2, p. 143-147, 2002.
- ABRAF – Associação Brasileira de produtores de florestas plantas. Anuário Estatístico 2013: ano base 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 10 nov. 2015.
- AURAS, E. N. **Efeitos do paclobutrazol sobre morfologia e anatomia foliar, crescimento de parte aérea, distribuição de biomassa e trocas gasosas em girassol**. Viçosa-MG: UFV, 1997, 88 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa.
- CAUVIN, B. Effet du paclobutrazole sur la mise à fleurs, la croissance de clones juvéniles d'*Eucalyptus*. **Annales des Recherches Sylvicoles**, p. 71-88, 1991.
- CAVATTE, P. C. **Variações morfofisiológicas na aclimação e reaclimação à disponibilidade de luz e de água**. Viçosa-MG: UFV, 2011, 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.
- CHANEY, W. R. **Growth retardants**: a promising tool for managing urban trees. West Lafayette: Purdue University, 2005, 6 p.
- CHORBADJIAN, R. A.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. Effect of the growth regulator paclobutrazol and fertilization on defensive chemistry and herbivore resistance of Austrian Pine (*Pinus nigra*) and Paper Birch (*Betula papyrifera*). **Arboriculture and urban forestry**, v. 37, n. 6, p. 278-287, 2011.
- DAVIS, T. D. Regulation of tree growth and development with triazole compounds. **Journal of Arboriculture**, v. 17, n. 6, p. 167-170, 1991.
- DAVIS, T. D.; CURRY, E. A. Chemical regulation of vegetative growth. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 10, n. 2, p. 151-158, 1991.
- FLETCHER, R. A.; GILLEY, A.; SANKHLA, N.; DAVIS, T.D. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticultural Reviews**, v. 24, p. 55-138, 2000.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 5/6, p. 711-738, 2012.

HASAN, O, REID, J. B. Reduction of generation time in *Eucalyptus globulus*. **Plant Growth Regulation**, v. 17, p. 53-60, 1995.

LEOPOLD, C. A.; KRIEDEMANN, P. E. **Plant Growth and Development**. McGraw-Hill, New York, 1975, 545 p.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; SIQUEIRA, L.; FERREIRA, E. M.; LEITE, H. G.; CAVALLAZZI, J. R. P. Critério técnico para a determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 947-953, 2005.

MALULEQUE, I. F. **Qualidade de mudas e produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) tratadas com paclobutrazol**. Lavras-MG: UFLA, 2014, 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras.

MONCUR, M. W.; HASAN, O. Floral induction in *Eucalyptus nitens*. **Tree physiology**, v. 14, n. 11, p. 1303-1312, 1994.

MONTEIRO, J. E. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília-DF: INMET, 2009, 530 p.

MORAES, C. B.; ZIMBACK, L.; UESUGI, G.; GUERRINI, I. A.; MORI, E. S. Alterações morfológicas em *Eucalyptus* sob a aplicação de biorreguladores. **Revista do Instituto Florestal**, v. 24, n. 2, p. 251-257, 2012.

MORAES, C. B.; CARIGNATO, A.; UESUGI, G.; ABÍLIO, F. M.; PALOMINO, E. C.; MORI, E. S. Variabilidade genética e alterações morfológicas em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* sob o efeito de paclobutrazol. **Revista Científica**, v. 42, n. 4, p. 396-403, 2014.

NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J., BAÑÓN, S. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 111, n. 2, p. 133-139, 2007.

NEGISHI, N., OOISHI, M. KAWAOKA, M. O. Chemical screening for promotion of adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*. **BMC. Proceedings...** 5, Suppl.7, p. 139, 2011.

NIVEDITHADEVI, D.; SOMASUNDARAM, R.; PANNERSELVAM, R. Effect of abscisic acid, Paclobutrazol and Salicylic acid on the growth and Pigment variation in *Solanum Trilobatum* (l). **International Journal of Drug Development & Research**, v. 4, n. 3, p. 236-246, 2012.

OKUDA, H.; KIHARA, T.; IWAGAKI, I. Effects of paclobutrazol application to soil at the beginning of maturation on sprouting, shoot growth, flowering and carbohydrate contents in roots and leaves of *Satsuma mandarine*. **Journal of Horticultural Science**, v. 71, p. 785-789, 1996.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; OLIVEIRA, U. S.; SANTOS, P. E. T.; REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; LIMA, E. A. **Base de melhoramento genético de *Eucalyptus* e *Corymbia* em Rio Verde, GO**. Colombo-PR, EMBRAPA Florestas (Documentos, 271), 2014, 56 p.

PARDOS, J. A.; CALAMA, R.; MONTERO, G. Growth of container-grown Cork Oak seedlings as affected by foliar and soil application of paclobutrazol. **HortScience**, v. 40, n. 6, p. 1773-1776, 2005.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. C.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011.

POTTS, B. M.; MCGOWEN, M. H.; WILLIAMS, D. R.; SUITOR, S.; JONS, T. H.; GORE, P. L.; VAILLANCOURT, R. E. Advances in reproductive biology and seed production systems of *Eucalyptus*: the case of *Eucalyptus globulus*. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 145-154, 2009.

RADEMACHER, W. Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 1, p. 845-872, 2015.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R. M. A.; ARAÚJO, J. L.; CARVALHO, J. G. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*)

cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 57-65, 2009.

REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

SILVA, K. S.; FARIA JÚNIOR, M. J. A. Uso de Paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 539-546, 2011.

SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; BARROS, Z. J.; FERNANDES, A. R. Distribuição da massa de matéria seca em limoeiro 'Volkameriano' submetido a diferentes doses de paclobutrazol e ácido giberélico. **Revista Ceres**, v. 55, n. 6, p. 512-517, 2008.

SRIVASTAVA, A. K.; PASALA, R.; MINHAS, P. S.; SUPRASANNA, P. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating redox signaling as a possible unifying mechanism. **Advances in Agronomy**, v. 137, n. 1, p. 237-278, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Editora Artmed, São Paulo, 2013, 954 p.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, v. 64, p. 150-162, 2003.

VARGHESE, M.; RAVI, N.; KAMALAKANNAN, R.; HARWOOD, C. E. Effect of silvicultural treatments on growth, fertility and capsule traits in seedling seed orchards of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. tereticornis*. **New Forest**, v. 37, n. 1, p. 99-107, 2008.

VIEIRA, E. I.; NASCIMENTO, E. J.; PAZ, J. G. **Levantamento ultra detalhado de solos do campus da UESB em Vitória da Conquista-BA**. Vitória da Conquista - BA: UESB (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos), 1998, 37p.

VILLAR-SALVADOR, P.; PUERTOLAS, J.; PENUELAS, J. Assessing morphological and physiological plant quality for Mediterranean woodland restoration projects. In: BAUTISTA, S.; ARONSON, J.; VALLEJO, V. R. (Eds.). **Land restoration to combat**

desertification: innovative approach, quality control and project evaluation. Valencia: CEAM, 2009, p. 103-105.

VU, J.C.; YELENOSKI, G. Growth and photosynthesis of sweet orange plants treated with paclobutrazol. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 11, p. 85-89, 1992.

WILLIAMS, D. R.; ROSS, J. J.; REID, J. B.; POTTS, B. M. Response of *Eucalyptus nitens* seedlings to gibberellin biosynthesis inhibitors. **Plant Growth Regulation**, v. 27, n. 2, p. 125-129, 1999.

WILLIAMS, D. R.; POTTS, B. M.; SMETHURST, F. J. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 33, n. 1, p. 74-81, 2003.

ZHOU, Z.; LIANG, K.; XU, D.; ZHANG, Y.; HUANG, G.; MA, H. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. **New Forests**, v. 43, n. 2, p. 231-243, 2012.

ZIMMERMAN, R. H.; STEFFENS, G. L. Cultivar, planting density, and plant growth regulator effects on growth and fruiting of tissue-cultured apple trees. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 2, p. 183-193. 1995.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A diferenciação de clones está intrinsecamente relacionada ao estágio de desenvolvimento das plantas.

As aplicações do paclobutrazol via solo reduziram o acúmulo de massas tanto na fase de rustificação de mudas quanto no crescimento vegetativo inicial.

Nas fases de rustificação e crescimento vegetativo inicial, a aplicação de paclobutrazol elevou a rusticidade dos clones.

O efeito benéfico do aumento da partição entre as massas do sistema radicial e da parte aérea foi influenciado pelo paclobutrazol somente na fase de rustificação.