

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE, EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL E DO USO DA ÁGUA EM FAMÍLIAS DE
POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus grandis*

Carlos Eduardo Caixêta de Castro

Engenheiro Agrônomo

São Paulo – Brasil

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE, EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL E DO USO DA ÁGUA EM FAMÍLIAS DE
POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus grandis*

Carlos Eduardo Caixêta de Castro

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

São Paulo - Brasil
2017

Castro, Carlos Eduardo Caixêta de

C355a Adaptabilidade, estabilidade, eficiência nutricional e do uso da
água em famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* / Carlos
Eduardo Caixêta de Castro. -- Jaboticabal, 2017

ix, 79 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Rinaldo Cesar de Paula

Banca examinadora: Paulo Henrique Muller da Silva, Felipe
Batistella Filho, Gustavo Vitti Môro, Sergio Valiengo Valeri

Bibliografia

1. Melhoramento Florestal. 2. Déficit hídrico. 3. Adubação. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.52:582.776


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

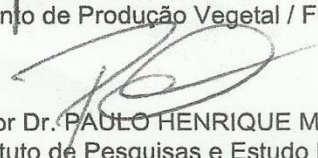
TÍTULO DA TESE: ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE, EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E DO USO DA ÁGUA EM FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus grandis*

AUTOR: CARLOS EDUARDO CAIXETA DE CASTRO

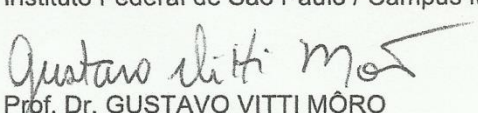
ORIENTADOR: RINALDO CESAR DE PAULA

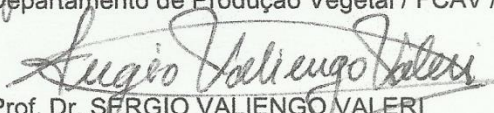
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RINALDO CESAR DE PAULA
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pesquisador Dr. PAULO HENRIQUE MULLER DA SILVA
IPEF / Instituto de Pesquisas e Estudo Florestais - Piracicaba, SP


Prof. Dr. FELIPE BATISTELLA FILHO
Instituto Federal de São Paulo / Campus Matão, SP


Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. SÉRGIO VALIENGO VALERI
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de fevereiro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Carlos Eduardo Caixêta de Castro nasceu em 9 de outubro de 1979 em Lagamar, MG. Formou-se em Educação Física pela Universidade Federal de Uberlândia no ano de 2004. Em 2010, formou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Lavras. Com bolsa de estudo da CAPES, desenvolveu estudos de pós-graduação na Universidade Federal de Lavras, obtendo o título de Mestre em Ciências com ênfase em Melhoramento Genético de Plantas no ano de 2013. Ainda em 2013, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, defendendo a tese de doutorado em fevereiro de 2017.

O Conhecimento é o mais precioso dos tesouros, porque jamais pode ser dado, nem roubado, nem consumido.

(Proverbio Sânscrito)

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, à minha família, por toda ajuda e incentivo. Ao meu falecido pai que sempre me incentivou a seguir em frente. À minha mãe que me incentiva a estudar a cada dia, às minhas irmãs, por sempre estarem ao meu lado. À minha namorada Alice, pelo amor sincero, amizade e paciência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula, pela paciência, amizade e aos ensinamentos, que contribuíram para minha formação profissional e acadêmica durante todo o período de doutoramento.

Aos amigos Marcio, João, Gabriela, Renan, Guilherme, Hudson, Lucas, Alisson Jalles, Alisson Esdras e Gustavo, pela ajuda no experimento de casa de vegetação e no Laboratório de Sementes e Melhoramento Florestal e pelo apoio e amizade verdadeira durante todos esses anos.

Aos funcionários do Horto Florestal, pelo apoio durante a implementação e condução do meu experimento. Aos meus professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) da UNESP/FCAV, por todos os conhecimentos transmitidos dentro e fora das salas de aula.

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado. E àquelas pessoas que diretamente ou indiretamente participaram do meu crescimento pessoal.

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), na pessoa do Pesquisador Dr. Paulo Henrique Muller da Silva, pela doação das sementes e disponibilização dos dados dos testes de progênies em campo.

Sumário

	Página
Resumo	ix
Abstract	x
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
Introdução	1
Revisão de Literatura	2
O Gênero <i>Eucalyptus</i>	2
Eficiência no Uso da Água	4
Potássio	5
Produtividade, Adaptabilidade e Estabilidade	6
Deficiência hídrica	7
Referências	10
CAPÍTULO 2 – Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de famílias de polinização aberta de <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes locais no Brasil	14
Introdução	16
Material e Métodos	17
Resultados e Discussão	19
Conclusões	28
Referências	29
CAPÍTULO 3 - Eficiência no uso da água e de potássio em progênies de <i>Eucalyptus grandis</i>	31
Introdução	32
Material e Métodos	33
Resultados e Discussão	37
Caracteres de crescimento e de produção de massa de matéria seca	37

Parâmetros fisiológicos	48
Características Nutricionais.....	52
Conclusão	60
Referências Bibliográficas.....	61
CAPÍTULO 4 - Considerações Finais.....	66
Referências	69

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE, EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E DO USO DA ÁGUA EM FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus grandis*

Resumo - Os programas de melhoramento florestal no Brasil têm o desafio de atender à demanda crescente por produtos madeireiros. Por outro lado, a ocorrência de secas sucessivas no Brasil vem criando uma instabilidade produtiva nas florestas plantadas. Com isto, este trabalho teve como objetivos: i) estimar parâmetros genéticos e avaliar a adaptabilidade, estabilidade e produtividade de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais no Brasil e propor estratégia de seleção para o conjunto desses locais; ii) avaliar o comportamento de uma amostra destas famílias, cultivadas em vasos em casa de vegetação, submetidas a dois regimes hídricos na presença e ausência de adubação potássica e iii) relacionar os resultados obtidos em casa de vegetação com aqueles obtidos em campo. A primeira parte do trabalho foi realizada com os dados de altura, diâmetro à altura do peito e volume de madeira, cedidos pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), provenientes de testes de 165 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* avaliados em oito locais no Brasil. Estes dados foram submetidas à análise de adaptabilidade, estabilidade e produtividade pelo método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG). Com base neste estudo, uma amostra de 15 das 165 famílias foi usada para o experimento conduzido em casa de vegetação, onde estas foram submetidas a dois regimes de irrigação, na presença e ausência de adubação potássica, avaliando-se caracteres de crescimento, nutricionais e fisiológicos. No experimento de campo, observou-se interação genótipo por ambiente, com alteração no ordenamento dos genótipos nos diferentes ambientes, conforme detectado pelo método MHPRVG comparado com as ordenações dos genótipos por local, o que indica que a seleção simultânea para todos os locais não é a melhor estratégia de melhoramento. Os locais Pratânia e Monte Dourado B podem ser utilizados para obtenção de genótipos representativos e superiores para a maior parte das regiões estudadas. No experimento em casa de vegetação, observou-se a existência de variabilidade entre as progênies de famílias de polinização aberta de *E. grandis* possibilitando a obtenção de sucesso na seleção de famílias superiores para as características de crescimento; em contrapartida existe pequena variabilidade nas progênies quanto às características fisiológicas e nutricionais, o que dificulta o sucesso na seleção. Porém, mesmo perante a baixa variabilidade genética, de uma forma geral, é possível obter ganhos com a seleção das famílias superiores. Ao associar os resultados para as 15 famílias avaliadas em comum, nos experimentos de campo e em casa de vegetação, verificou-se que as relações entre os dois experimentos são fracas, com grandes alterações na classificação das famílias de uma condição para outra, demonstrando a dificuldade de usar resultados de experimentos sob condições semicontroladas para prever o comportamento em campo.

Palavras chave: Melhoramento Florestal; déficit hídrico; adubação.

**GENOTYPE-BY-ENVIRONMENT INTERACTION AND NUTRITIONAL AND
WATER USE EFFICIENCY IN OPEN POLLINATED FAMILIES OF *Eucalyptus
grandis***

Abstract – The programs of forest improvement in Brazil have the challenge of meeting this rising demand. On the other hand, the occurrence of repeated droughts in Brazil has been creating a productive instability in commercial forests. Likewise, this work had the objective: i) estimated genetic parameters and evaluating the adaptability, stability and productivity of open-pollinated families of *Eucalyptus grandis* in different sites in Brazil, and proposing selection strategy for the set of these sites; ii) evaluating the behavior of a sample of these families, cultivated in pots at greenhouse, subject to two hydric regimes in the presence and absence of potassium fertilizations and iii) relating the results obtained in greenhouse with those obtained in the field. The first part of this work was done with height, diameter at breast height and wood volume data, provided by the Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), from tests of 165 open-pollinated families of *Eucalyptus grandis* evaluated in eight places. These data were submitted to analysis of adaptability, stability and productivity through the method of Harmonic Mean of the Relative Performance of the Genetic Values (HMRPGV). Based on this study, a sample of 15 out of 165 families was used for the experiments realized in greenhouse, where these were submitted to two irrigation regimes, in the presence and absence of potassium, evaluating the growth, nutritional and physiological traits. There was genotype by environment interaction with change in the order of genotypes in different environments as detected by the method HMRPFV compared with the order of genotypes in each site, which shows the simultaneous selection for all sites is not the best strategy of improvement. The sites Pratânia and Monte Dourado B can be used for obtaining representative and superior genotypes for most regions studied. Even with a small genetic variance when the selection was done, small gains were obtained. By associating the results to as 15 families in field and greenhouse experiments, it was verified that as relations between the two experiments are weak, with large changes in the classification of families from one condition to another, demonstrating a difficulty of using experiment results under semicontrolled conditions to predict field behavior.

Keywords: Tree breeding; Water deficit; adubation.

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

Introdução

Estima-se que nos próximos 35 anos seja necessário um incremento nas plantações de florestas no Brasil na ordem de 40%, em razão do aumento da população em conjunto com um aumento de renda *per capita*. Atualmente, as florestas plantadas no Brasil fornecem 91% de toda a demanda de madeira, ocupando apenas 0,9% do território nacional (IBA, 2016).

As mudanças climáticas têm preocupado os pesquisadores, de uma forma geral, tanto de instituições públicas quanto privadas. Sabendo que a quantidade de água disponível na natureza não se altera, o real problema é a sua qualidade e distribuição. Com isto, as empresas florestais têm trabalhado para melhorar o manejo florestal tornando este mais sustentável, com investimentos contínuos em tecnologias, para propiciar maior produtividade com menor utilização dos recursos do meio e, ou menor suplementação destes às florestas plantadas (IBA, 2016).

De maneira geral, tem-se observado redução no volume de chuvas que varia de 10% a 30% (MOLION, 2008). Contudo, esta situação é mais drástica na região Nordeste onde a escassez de água já é um problema antigo, com grandes impactos na atividade agrícola (MARENGO, 2010).

Os solos tropicais normalmente têm baixa concentração de potássio (K^+) que é disponibilizado às plantas, sendo este o segundo nutriente mais consumido na agricultura brasileira (PRADO, 2008). As raízes acumulam cerca de 16% de todo o potássio da planta, em que a concentração na célula vacuolar é 1/10 a 1/15 das encontradas no citoplasma. O potássio tem a função de ativador enzimático, onde realiza mudanças na conformação da molécula, o que ocasiona um aumento da exposição dos sítios ativos, também influenciando no turgor das células-guarda, elevando o potencial osmótico (MALAVOLTA, 2006). Segundo Cardoso et al. (2016) mudas jovem possuem uma baixa exigência nutricional nas fases jovem de crescimento. O potássio é o nutriente que proporciona maior resposta à adubação,

proporcionando maiores produtividades e respostas ao estresse hídrico (TEIXEIRA; GONÇALVES; ARTHUR JUNIOR, 2006).

As plantas possuem inúmeros mecanismos de sobrevivência a estresses, o que pode ser entendido como plasticidade fenotípica permitindo assim uma resposta frente às flutuações ambientais (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Desta forma esta pesquisa teve por objetivos: i) estimar parâmetros genéticos e avaliar a adaptabilidade, estabilidade e produtividade de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais no Brasil e propor estratégia de seleção para o conjunto desses locais; ii) avaliar o comportamento de uma amostra destas famílias, cultivadas em vasos em casa de vegetação, submetidas a dois regimes hídricos na presença e ausência de adubação potássica e iii) relacionar os resultados obtidos em casa de vegetação com aqueles obtidos em campo.

Revisão de Literatura

O Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* possui mais de 900 espécies, das quais apenas duas não têm ocorrência natural na Austrália: *Eucalyptus urophylla* que ocorre na Indonésia e *E. deglupta* que ocorre em Papua Nova Guiné. O cultivo de espécies de eucalipto espalhou-se para várias partes do mundo, sendo a Índia o país com maior área plantada, com cerca de oito milhões de hectares dos quais apenas 30% são para fins industriais (FONSECA et al., 2010). O Brasil apresentava no ano de 2015, aproximadamente 5,6 milhões de ha plantados, com uma produtividade média neste ano de 36 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, em que estas áreas estão localizadas em sua maior parte nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%), sendo que o estado do Mato Grosso do Sul nos últimos cinco anos apresentou um incremento de 450 mil hectares (IBA, 2016).

As espécies de eucalipto pertencem às Angiospermae, classe Dicotyledonea, ordem Myrtales, família Myrtaceae e gênero *Eucalyptus*. A primeira introdução com

finalidades comerciais no Brasil ocorreu por volta do século XX, o que proporcionou uma grande revolução nos plantios florestais (FONSECA et al., 2010).

O crescimento rápido da cultura do eucalipto no Brasil pode ser explicado pelo grande investimento das empresas com a finalidade de atender a demanda dos produtos silviculturais. Por exemplo, no ano de 2014 houve um aumento de 1,8% na área plantada em relação a 2013 e, em 2015, este aumento foi da ordem de 0,8% em relação ao ano de 2014. A alta produtividade das florestas plantadas pelas empresas florestais brasileiras é reconhecida mundialmente, devido a maior produtividade média anual e ao menor tempo necessário para se realizar o corte, isto é devido ao investimento contínuo em pesquisas em melhoramento genético e em manejo silvicultural, sendo que nos cinco últimos anos a produtividade aumentou 0,7% a.a. (IBA, 2016).

A madeira é obtida de duas fontes: florestas plantadas e florestas nativas. A urgência da preservação e manutenção das florestas nativas para preservar o clima e a biodiversidade, faz com que as florestas plantadas sejam ainda mais importantes para a preservação, por estas possuírem alta produtividade em um curto período de tempo evitando o corte das florestas naturais. Esses plantios, além de fornecer madeira e seus subprodutos, também ajudam no sequestro de carbono, recupera áreas ociosas e degradadas, mantendo também a biodiversidade animal (ORTIGOZA; SENNA, 2016).

Das espécies de eucalipto cultivadas no Brasil, merece destaque o *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Nativo da Austrália, com ocorrência na costa leste, ao norte de Queensland, em uma altitude que varia do nível do mar até 600 m, estão inseridas as maiores concentrações das populações, e de 500 a 1100 m nas áreas do norte. As temperaturas máximas variam de 24 a 30 °C e as mínimas de 3 a 8 °C, com precipitação entre 1000 e 3000 mm (FONSECA et al., 2010).

O *Eucalyptus grandis* possui um controle estomático eficiente quando submetidos a condições de déficit hídrico. Medidas realizadas em campo revelam que essa espécie equipara-se às espécies da Mata Atlântica quanto à evapotranspiração e ao uso de água no solo (ALMEIDA; SOARES, 2003).

Pelas suas características silviculturais, grande variabilidade genética e propriedades tecnológicas da madeira, o *E. grandis* tornou-se a espécie mais cultivada

no Brasil (MORAES, 1987), além de ser uma espécie chave nos programas de hibridação, como fonte de crescimento.

Eficiência no Uso da Água

O aumento no consumo dos produtos agrícolas no mundo está ligado a dois fatores: o crescimento da população mundial e o aumento da renda *per capita*. Contudo, a produção agrícola não tem conseguido acompanhar este crescimento (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011). Um dos aspectos que representa o aumento no consumo dos mais pobres foi a maior facilidade ao crédito onde este grupo foi responsável por 25,5% de todas as operações de crédito em 2011 (CAMPOS, 2012). A redução do número de habitantes por domicílio, a maior entrada da mulher no mercado de trabalho, e outros fatores também têm contribuído para o aumento do consumo (CAMPOS, 2012).

O fornecimento adequado de água é um dos responsáveis pela oscilação na produtividade, sendo considerado o fator de maior importância e mais limitante para a produção. Devido ao problema da crescente escassez dos recursos hídricos estima-se que um terço da população mundial viverá em regiões com deficiência hídrica nos próximos anos (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011). Com o estresse hídrico, ocorre uma redução no consumo de carbono e energia, alterando a alocação de fotoassimilados pelas plantas limitando o seu crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Cerca de 98% da água que as plantas retiram do solo é perdida para a atmosfera (GRANIER, 1985), sendo que o consumo de água das plantas tem uma variação que é devida a fatores como: a espécie; fenologia da planta; o solo e ao clima da região de cultivo ou onde a planta se encontra (TAIZ; ZEIGER, 2013). O *Eucalyptus grandis* apresenta uma alta eficiência no uso da água (282 g de água g⁻¹ biomassa seca produzida), contudo a eficiência do uso da água praticamente não é alterada quando esta é submetida a diferentes regimes de irrigação indicando que esta característica possui um controle genético ligado à espécie (SILVA et al., 2004).

O eucalipto possui mecanismos que possibilitam a economia de água, tais como a presença de tecido foliar coriáceo, alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão

raiz/parte aérea (SILVA et al., 2004). Existem evidências que o consumo de água pela cultura do eucalipto situa-se entre 800 a 1200 mm ano⁻¹ (VITAL, 2007). Segundo Rezende, Camello e Relelo (2011) o consumo de água do eucalipto é menor que o da floresta amazônica, o que pode ser comprovado pela sua menor área foliar, sendo o eucalipto uma espécie que possui uma boa eficiência na produção de biomassa.

Potássio

O contato entre as raízes e o potássio ocorre, principalmente, através da difusão que corresponde ao movimento do nutriente de uma região de maior concentração para uma de menor, sendo a sua absorção realizada através de proteínas carreadoras específicas, o que ocorre de forma ativa. Estas proteínas atravessam a camada lipídica formando um canal aquoso, este mecanismo ocorre de acordo com a cinética enzimática o que explica a competição pelo sítio ativo entre os cátions K⁺, NH₄⁺, Mg⁺² e Ca⁺². A alta concentração dos cátions NH₄⁺, Mg⁺² e Ca⁺² acabam por ocasionar a inibição competitiva com o K⁺ (MALAVOLTA, 2006). O potássio dentro das plantas está na forma do cátion K⁺ e tem como característica ser móvel na planta e devido a esta mobilidade os sintomas de sua deficiência são apresentados primeiramente em folhas velhas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O potássio é absorvido em grandes quantidades pelas raízes sendo o nutriente mais abundante nas células, atuando nas plantas no armazenamento de fotoassimilados, na conservação da água nos tecidos vegetais regulando a abertura e fechamento dos estômatos e a regulação osmótica (ANGHINONI et al., 1989; MEURER, 2006). Desempenha, também, funções de ativador enzimático, aumentando a exposição dos sítios para a ligação (MALAVOLTA, 2006).

É um dos nutrientes de maior deficiência em plantios de florestas de eucaliptos, sendo o cátion mais limitante ao crescimento desta cultura (BARROS; NOVAIS, 1999). A adubação com potássio mostra uma tendência no aumento no sentido radial das fibras do caule, com diferenças nas regiões próximas à medula e à casca, o que indica maior sustentação ao tronco nas árvores mais desenvolvidas (SETTE JÚNIOR et al., 2009). As adubações potássicas proporcionaram maior eficiência na utilização da

água, o que pode ser comprovado observando um menor índice de transpiração por unidade de área foliar. Apesar da fertilização potássica ter aumentado o consumo de água, esta prática estimulou o desenvolvimento do *Eucalyptus grandis*, aumentando a eficiência de uso de água. Isto pode ser comprovado na observação do equivalente em termos de biomassa sendo que a adubação proporcionou uma redução na exigência de água em mais de 100 l dm⁻³ (ALMEIDA, 2009).

Produtividade, Adaptabilidade e Estabilidade

A condução de experimentos em múltiplas localidades nos programas de melhoramento é uma prática comum, o que resulta no aparecimento da interação genótipo com os ambientes, a qual é decorrente de um desempenho diferenciado de cada genótipo por local (RAMALHO et al., 2012). Estas alterações são ocasionadas devido ao genótipo condicionar as respostas fisiológicas e bioquímicas perante as alterações nos ambientes que as cultivares estão inseridas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O conhecimento da natureza desta interação é de suma importância para a tomada de decisão em um programa de melhoramento. Isto porque, a utilização de um grande número de ambientes ocasiona um maior número de casos da interação complexa, que tem como característica a inversão de comportamento dos genótipos nos ambientes (RAMALHO et al., 2012). Assim, é interessante que os genótipos tenham adaptabilidade, que por sua vez é a capacidade que um material tem de resposta a melhorias no ambiente em que o mesmo se encontra, e estabilidade, que pode ser representada como a capacidade do genótipo de manter seu comportamento previsível frente às mudanças no ambiente (CRUZ; REGAZZI, 1997; RESENDE, 2002).

O sucesso em um programa de melhoramento florestal está ligado à realização de uma seleção de genótipos superiores com acurácia seletiva o que implica na estimação dos componentes de variâncias (FONSECA et al., 2010). Desta forma o procedimento estatístico que melhor estima a acurácia seletiva é o BLUP (Melhor Predição Linear Não-Viciada), o que permite a utilização simultânea de experimentos instalados em vários locais. A ótima estimação dos componentes de variância é realizada pelo método REML (Máxima Verossimilhança Residual Imparcial) em

situações de delineamentos não ortogonais e dados desbalanceados (VIANA; RESENDE, 2014).

O método da Média Harmônica das Performances Relativas dos Valores Genéticos (MHPRVG) proporciona um avanço devido à utilização dos métodos dos modelos mistos (VERARDI et al., 2009). Este método, usado para seleção, tem por base três atributos produtividade, estabilidade e adaptabilidade. O mesmo tem como característica tratar os efeitos genotípicos como aleatórios; fornecer a estabilidade e adaptabilidade genotípica; possibilitar trabalhar com bancos de dados desbalanceados, realizando análises em delineamentos não ortogonais, lidando com heterogeneidade de variâncias; os erros dentro de locais são correlacionados; os valores genéticos são livres de instabilidade; o número de ambientes não é um problema; a estabilidade e adaptabilidade pode ser avaliada na seleção de genótipos dentro de progênies e os resultados são gerados na escala do atributo que está sendo analisado (CARBONELL et al., 2007).

A avaliação simultânea utilizando a MHPRVG deve ser preferida nos programas de melhoramento florestal devido esta metodologia proporcionar a combinação das características de interesse avaliadas (SANTOS et al., 2013).

Deficiência hídrica

O déficit hídrico é o principal fator abiótico que influencia o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Ocasionalmente ocasiona diversas alterações fisiológicas como a redução do potencial hídrico, desidratação celular, fechamento dos estômatos, redução da expansão celular, cavitação entre outros (TAIZ; ZEIGER, 2013). Os principais fatores que determinam as taxas transpiratórias são a área foliar e a condutância estomática, sendo que a redução da área foliar leva a uma menor interceptação de radiação, condicionando uma menor taxa de fotossíntese. Por sua vez, uma redução na condutância estomática leva a menor entrada de CO₂ para a parte interna do cloroplasto, ocasionando uma redução da taxa fotossintética, resultando em um menor acúmulo de biomassa pelo vegetal (FRITSCH NETO; BORÉM, 2011).

Os programas de melhoramento voltados para áreas com deficiência hídrica são pautados em aumentar a eficiência no uso da água. Isto pode ser conseguido

através da redução da condutância estomática ou através do aumento da capacidade fotossintética ou associando os dois parâmetros. Contudo, quando se reduz a condutância estomática há um menor fluxo de CO₂ para dentro das folhas, o que proporciona menor acúmulo de matéria seca, o que torna a redução da condutância estomática difícil de ser trabalhada em programas de melhoramento que tem como interesse o aumento de produtividade (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011).

Assim, a maior dificuldade do melhoramento de plantas é promover um aumento da capacidade fotossintética em condições de baixa condutância estomática (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011). Indicadores fisiológicos podem ser utilizados para realizar a seleção proporcionando condições para o sucesso do estabelecimento das plantas no campo, a exemplo das estimativas da eficiência no uso da água (EUA) e da eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i) (SANTOS; GONÇALVES; FELDPAUSCH, 2006). A diferença entre eles é que a EUA corresponde à razão entre a fotossíntese líquida (A) e a transpiração (E) e a eficiência intrínseca do uso da água trata-se de uma razão entre a fotossíntese líquida (A) e a condutância estomática (g_s) (VELLINI et al., 2008). Com isto existe uma relação entre menores valores de E e g_s com a identificação de genótipos adaptados a uma menor disponibilidade de água no solo (FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012).

Os genótipos tolerantes à seca têm maior estabilidade de produção, contudo, geralmente têm um potencial produtivo baixo, devido à baixa condutância estomática e a baixa transpiração (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011). A alta condutância estomática indica maior consumo de água, e baixa eficiência na utilização (FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015). A capacidade de resposta à perda de água é dada pelo fechamento dos estômatos que é modulado pelas células-guarda (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os estudos em eucaliptos sobre transpiração foram primeiramente realizados na França em meados de 1881, que já observaram que a redução na transpiração de *E. globulus* era devido a uma camada cerosa. Existe uma variação grande na taxa de transpiração nas diversas espécies de eucalipto (LIMA, 1996). Quando sob déficit hídrico, plantas de eucalipto apresentaram redução da condutância estomática como resposta a este estresse (FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015; TATAGIBA; PEZZOPANE; DOS REIS, 2008), e boa eficiência no controle estomático (LIMA,

1996). Esta é identificada como sendo a primeira característica fisiológica ativada para mitigar a deficiência hídrica (CHAVES, 1991).

As respostas fisiológicas encontradas por diversos autores possibilitam a identificação de genótipos promissores tolerantes ao déficit hídrico (TATAGIBA; PEZZOPANE; DOS REIS, 2015; VELLINI et al., 2008), sendo que existe variabilidade genética no controle do crescimento e da fisiologia do eucalipto sob estresse (VELLINI et al., 2008).

Referências

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica). **Revista Árvore**, Viçosa, 2003. 159-170 p.

ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. f. -Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, 2009.

ANGHINONI, I.; VOLKART, C.; FATTORE, N.; ERNANI, P. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 355-361, 1989.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; VENEGAS, V. H. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**, Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, Viçosa, 1999. p. 303-309.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 171-180, 2012.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. D. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 193-201, 2007.

CARDOSO, A. A. D. S.; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; DA SILVA JÚNIOR, C. H.; VENTURIN, N. Respostas nutricionais de mudas de sumaúma à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica: **Científica**, São Paulo, 2016. 421-430 p.

CHAVES, M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1-16, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Ed. Viçosa, UFV, 1997. 585 p.

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

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. D. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da amazônia em área degradada e submetidas à adubação: **Ciência Florestal**, Santa Maria, 2012. 397-405 p.

FONSECA, S. M. D. F.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético de eucalipto**. Ed. UFV, Viçosa, 2010. p. 55-60.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Editora UFV, Viçosa, 2011. 126-135 p.

FRITSCHÉ NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Editora UFV, Viçosa, p. 40-43, 2011.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. In: **Annales des Sciences forestières**, 1985EDP Sciences, p. 193-200.

IBA. **Relatorio IBÁ 2016**. Brasília. Industria Brasileira de Árvores 2016. 6-15 p.

LIMA, W. D. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo 1996. p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 193-222 p.

MARENCO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil**. Parcerias estratégicas. Brasília 2010. 149-176 p.

MEURER, E. Potássio. In. **Nutrição mineral de plantas**. . Viçosa Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 281-298 p.

MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos: **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 3, p.117-128. 2008.

MORAES, M. D. **Varição genética da densidade básica da madeira em progênies de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento**. 1987. 115 f. (Mestrado Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo Piracicaba (Mestrado

Ciencias Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba 1987.

ORTIGOZA, F. D. S. S.; SENNA, R. J. Caracterização do segmento de florestas plantadas de eucalipto em Mato Grosso do Sul: **Revista de Política Agrícola**. Brasília, p. 74-89, 2016.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. 161-180 p.

RAMALHO, M.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA. Lavras Ed. UFLA, 2012. p. 156 – 180.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Informação Tecnológica : Embrapa Florestas, 2002. p. 58 – 60.

REZENDE, L. V. B.; CAMELLO, T. C. F.; REBELO, L. P. O eucalipto resseca o solo? Mito ou verdade?: **Revista Internacional de Ciências**. Rio de Janeiro, p. 19-38, 2011.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptability for *Eucalyptus* multi species hybrids in the State of Rio Grande do Sul: **Revista Árvore**. Viçosa, p. 759-769, 2013.

SANTOS, U. M.; GONÇALVES, J. F.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 226, n. 1, p. 299-309, 2006.

SETTE JÚNIOR, C. R.; FILHO, M. T.; SANTOS DIAS, C. T.; CHAGAS, M. P.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill, aos 24 meses de idade: **Floresta**, Curitiba, p.535-546, 2009.

SILVA, W. D.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A. D.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária: **Floresta**, Curitiba, p. 325-335, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In. **Fisiologia vegetal**. 5. Porto Alegre, Artmed, 2013. p. 754-757. ISBN 978-85-363-2795-2.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 2008.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F. Fotossíntese em *eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas/photosynthesis in *eucalyptus* under different environmental conditions: **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, 2015. 336 p.

TEIXEIRA, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo: **Revista Ceres**, Viçosa, 2006. 662-671 p.

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F. D.; ALVES, P. L. D. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. D. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação: **Revista Árvore**, Viçosa, p. 651-663, 2008.

VERARDI, C. K.; RESENDE, M. D. V. D.; COSTA, R. B. D.; GONÇALVES, P. D. S. Adaptability and stability of rubber production and selection in rubber tree progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2009. 1277-1282 p.

VIANA, A. P.; RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras**, Rio de Janeiro, Interciência, 2014. 47-49 p.

VITAL, M. H. Impacto ambiental de florestas de eucalipto: **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 235-276, 2007.

CAPÍTULO 2 – Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais no Brasil¹

Adaptability, stability and productivity of open pollinated families of *Eucalyptus grandis* in different environments in Brazil

RESUMO - Os programas de melhoramento de florestal no Brasil visam proporcionar um incremento na produtividade para atender a demanda crescente por madeira. O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos, adaptabilidade e estabilidade de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais no Brasil e propor estratégias de seleção para os ambientes. Foram avaliadas 165 progênies de polinização aberta em oito ambientes, em idades variando de 36 a 51 meses. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 165 progênies, no espaçamento de 3,0 x 2,0 m, com parcelas lineares de 5 ou 6 plantas, e repetições variando de 4 a 8 conforme o local. Foram tomados os dados de altura total e diâmetro a altura do peito, e a partir destes foi calculado o volume de madeira por árvore. Os resultados evidenciam a ocorrência de interação genótipo por ambiente, com alteração no ordenamento dos genótipos nos diferentes ambientes, conforme detectado pelo método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) comparado com as ordenações dos genótipos por local. Assim, a seleção simultânea para todos os ambientes não é a melhor estratégia de melhoramento, sugerindo-se o zoneamento ou estratificação ambiental e escolhendo-se um ambiente representativo para cada subconjunto de locais estudados. Desta forma, os locais Pratânia e Monte Dourado B podem ser utilizados para obtenção de genótipos representativos e superiores para a maior parte das regiões estudadas.

Palavras chave: Melhoramento florestal; MHPRVG, correlação.

ABSTRACT - The forest breeding programs in Brazil has an important challenge, which is to provide an increase in yield to meet the expected demand. The objective of this study was to estimate genetic parameters and the stability of open-pollinated families of *Eucalyptus grandis* in different environments in Brazil, and also for propose selection strategies for the environments. It was evaluated 165 open-pollinated progenies in 8 environments, at age 36 and 51 months. Experimental design was randomized complete block design with 165 progenies planted in the spacing of 3.0 x 2.0 meters, with linear plots of 5 or 6 plants, and repetitions ranging from 4 to 8 depending on the location. Traits measured were: height, diameter at breast height,

¹ Artigo redigido segundo as normas da revista *Scientia Forestalis*

and from these two traits was calculated the volume. Results showed genotype-by-environment, showing change in the ordering of Harmonic Mean of the Relative Performance of the Genetic Values (HMRPGV) method compared with the ordering by environments. Thus, simultaneous selection for all sites is not the best strategy. The sites of Pratânia and Monte Dourado B may be used for representative genotypes for most of the regions studied.

KEYWORDS: Tree breeding, MHPRVG, correlation.

Introdução

As florestas plantadas no Brasil fornecem 91% de toda a madeira consumida, apesar de ocuparem apenas 0,9% do território nacional. Nos próximos 35 anos, devido ao aumento previsto da população e o incremento da renda *per capita* e considerando a atual produtividade do eucalipto no Brasil, estima-se que o acréscimo da área plantada deva ser da ordem de 40% (IBA, 2016).

Desde o início, os programas de melhoramento florestal buscam a melhoria na qualidade da madeira aliada a um aumento de produtividade (ODA; MENCK; VENCOVSKY, 1989). No período de 1970 a 2008, estima-se que o melhoramento genético do eucalipto proporcionou um ganho de produtividade de 5,7% ao ano. Porém, nos últimos anos, esses ganhos têm sido cada vez menores, atingido 0,3% ao ano, no período de 2008 a 2014 (IBA, 2016).

Os ganhos esperados com o melhoramento de *Eucalyptus* não têm sido observados nas florestas comerciais, fato que pode ser atribuído, dentre outros aspectos, à interação genótipo por ambiente (ODA; MENCK; VENCOVSKY, 1989), que se refere à mudança observada no fenótipo em decorrência da interação dos diferentes ambientes com os genótipos (RAMALHO et al., 2012) e ao déficit hídrico, que vem ocorrendo nestas regiões onde o cultivo de eucalipto já é realizado há muitos anos e em regiões em que as empresas vêm buscando áreas para realizar novos plantios como o norte de Minas Gerais (MOLION, 2008; NASCIMENTO, 2016).

Nos programas de melhoramento, são testados vários genótipos (famílias de polinização aberta ou controlada, híbridos e clones, dentre outros) em diferentes locais ao longo do tempo, possibilitando assim a manifestação e a quantificação da interação genótipo por ambiente. A magnitude da interferência desta interação no ganho realizado com a seleção de genótipos superiores deverá ser estimada, para possibilitar a aferição da sua força sobre o ganho com a seleção, comprovando a confiabilidade dos genótipos selecionados (ROSADO et al., 2012).

No melhoramento de espécies perenes, uma das limitações enfrentadas relaciona-se aos longos ciclos das espécies. Assim, o tempo gasto para avaliar os genótipos em testes genéticos, recombinar os genótipos superiores e avançar as gerações é extenso e o processo torna-se oneroso. Desta forma, a avaliação deve ser realizada criteriosamente para a obtenção de dados confiáveis e os métodos de

análise dos dados devem proporcionar elevada acurácia (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005).

Neste sentido, o método dos modelos mistos tem sido muito usado em espécies perenes como eucalipto, pois o BLUP (“Best Linear Unbiased Prediction”) dos valores genéticos maximiza a acurácia seletiva (GARCIA; NOGUEIRA, 2005). O uso do procedimento Reml/Blup (Máxima Verossimilhança Residual ou Restrita/Melhor Predição Linear Não - Viciada) permite analisar dados desbalanceados com a melhor acurácia seletiva, possibilitando avaliar indivíduos através dos anos e locais (VIANA; RESENDE, 2014).

O método da MHPRVG (Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos) realiza a seleção simultaneamente para as características produtividade, estabilidade e adaptabilidade, apresentando vantagens, tais como analisar os efeitos genotípicos como aleatórios e assim fornecer a adaptabilidade e a estabilidade genotípica, aceita delineamentos não ortogonais e dados desbalanceados, permite lidar com a heterogeneidade de variâncias, possibilita a consideração dos erros correlacionados dentro de locais, e não apresenta limitação quanto ao número de ambientes (CARBONELL et al., 2007).

Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e avaliar a adaptabilidade e estabilidade de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais no Brasil e propor estratégia de seleção para os locais.

Material e Métodos

Foram avaliados testes de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em oito locais (Tabela 1), com idade variando de 36 a 51 meses. Estes testes fazem parte da rede experimental, coordenada pelo Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal (PCMF), do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF).

Tabela 1 - Características dos locais de condução dos experimentos de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* implantados em 2008/2009.

Local (Estado/Idade/Local)	Repetição x Plantas	Clima ¹	Solo	Textura	T.M.A (°C)	P.M.A (mm)
----------------------------	---------------------------	--------------------	------	---------	---------------	---------------

Itamarandiba (MG/48/L1)	4 x 6	Cwa ²	LVA ⁴	Argilosa	22,5	1100
Monte Dourado A (PA/36/L2)	4 x 6	Ama ³	LA ⁵	Argilosa	26,8	2300
Monte Dourado B (PA/36/L3)	4 x 6	Ama	LA	Argilosa	27,2	2100
Monte Dourado E (PA/46/L4)	4 x 6	Ama	LU ⁶	Argilosa	26,4	2000
Pratânia (SP/48/L5)	4 x 6	Cwa	PVd ⁷	Média	21,0	1361
Anhembi (SP/36/L6)	4 x 6	Cwa	RQ ⁸	Arenosa	21,8	1300
Capão Bonito B (SP/36/L7)	4 x 6	Cwa	LVd ⁹	Argilosa	20,1	1210
Lençóis Paulista (SP/51/L8)	8 x 5	Cwa	LVd	Média	21,0	1350

¹ - Classificação do clima, segundo Koeppen-Geiger. T.M.A. - temperatura média anual (°C); P.M.A. - precipitação pluviométrica média anual (mm). ² - Clima Subtropical Húmido. ³ - Clima Tropical de Inverno Seco. ⁴ - Latossolo Vermelho-amarelo. ⁵ - Latossolo Amarelo. ⁶ - Latossolo Variação Una. ⁷ - Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico. ⁸ - Neossolo Quartzarênico. ⁹ - Latossolo Vermelho Distrófico.

Todas as famílias foram encaminhadas às empresas participantes, para que instalassem o teste em suas áreas experimentais. O delineamento experimental usado foi de blocos casualizados, com 165 famílias de progênies de polinização aberta de *E. grandis*, no espaçamento de 3,0 x 2,0 m, com quatro repetições e parcelas lineares de seis plantas, exceto na localidade de Lençóis Paulista (L8), em que foram usadas oito repetições de cinco plantas. Todas as famílias foram cedidas por diferentes empresas e fazem parte dos programas de melhoramento conduzidos individualmente pelas mesmas, portanto, representam bem a base genética da espécie no país. A instalação dos testes nos diferentes locais foi realizada nos anos de 2008/2009 (Tabela 1) e seguiram procedimentos próprios de cada empresa no que se refere ao preparo do solo, adubação de plantio, tratamentos culturais, dentre outros. Nas avaliações foram tomados os dados de altura total (ALT, m), diâmetro a altura do peito (DAP, m), e a partir destes foi calculado o volume individual com casca (VOL, m³) em que foi usando o fator de forma 0,42.

Foi observada a existência de heterogeneidade dos resíduos entre os ambientes devido às diferentes épocas de avaliação (idade). Para solucionar isto foi calculado o incremento médio anual (IMA) para as três características estudadas. Foram realizadas as análises individuais por ambiente e conjunta, considerando-se os oito locais de experimentação. Para a análise por ambiente foi usado o seguinte modelo estatístico (RESENDE, 2006):

$$Y = Xb + Za + Wc + e \quad [1] \quad \text{em que:}$$

Y: é o vetor dos dados fenotípicos (Altura, DAP e IMA - Volume);

b: é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

a: é o vetor dos efeitos genéticos aditivos (assumidos como aleatórios);
 c: é o vetor dos efeitos de parcela;
 e: é o vetor de resíduos (aleatórios).

De posse dos dados transformados, estes foram analisados com base no procedimento Reml/Blup. Para o estudo da interação genótipo x ambiente, utilizou-se o método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) adotando-se o modelo abaixo (RESENDE; DUARTE, 2007; RESENDE, 2007).

$$Y = Xr + Zg + Wp + Ti + e \quad [2] \quad \text{em que:}$$

Y: é o vetor de dados fenotípicos (Altura, DAP, IMA - Volume);

r: é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

g: é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios),

p: é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios);

i: é o vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios);

e: é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas dos modelos 1 e 2 representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos (RESENDE, 2007). Devido o experimento ser desbalanceado realizou-se a análise de Deviance ao invés do teste de F usado na ANOVA. Para obtenção das deviances foi rodado o modelo completo e com a eliminação de cada causa de variação, e depois subtraindo os valores obtidos para testar o efeito de cada fator da fonte de variação. Os efeitos foram testados pelo teste de χ^2 (VIANA; RESENDE, 2014).

De forma complementar, obtiveram-se os ganhos em cada local (seleção direta por local) e com base na seleção praticada por meio da MHPRVG, com respostas em cada local (seleção indireta). Para isto foi adotada a seleção de 25 progênies, o que corresponde aproximadamente a uma intensidade de seleção de 15%. Todas as análises estatísticas foram processadas no programa Selegen (RESENDE; DUARTE, 2007), usando-se o modelo 1, para as análises por local e o modelo 51 para a análise envolvendo os oito locais.

Resultados e Discussão

A variação nas idades de avaliação (Tabela 1), compreendida entre 36 e 51 meses, juntamente com as variâncias de diferentes magnitudes observadas entre os locais, justifica a padronização dos dados, o que proporciona uma redução da heterogeneidade das variâncias entre os locais (JÚNIOR et al., 2011).

Pela análise de Deviance (Tabela 2), observou-se que os efeitos de genótipos, parcela e a interação genótipo por ambiente (GxA) foram significativos a 1% para os três caracteres. Diante disto, pode-se inferir que as estimativas dos componentes referentes aos efeitos de genótipos, parcela e da interação genótipo por ambiente, são diferentes de zero (AZEVEDO et al., 2015; VIANA; RESENDE, 2014).

Tabela 2 - Análise de deviance, segundo o método Modelo 51 do software Selegen, para as características incremento médio volumétrico anual em volume (IMA-VOL; m³ árvore⁻¹ ano⁻¹), diâmetro a altura do peito (IMA-DAP; cm árvore⁻¹ ano⁻¹) e altura comercial (IMA-ALT, m árvore⁻¹ ano⁻¹) em famílias de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais.

Efeito	Deviance		
	IMA-VOL	IMA-DAP	IMA-ALT
Genótipos	295717,03**	227410,10**	228034,89**
Parcela	295358,72**	227289,92**	227861,29**
Interação GxA	295472,81**	227498,91**	228091,06**
Modelo completo	295363,34	227277,75	227840,84

Qui- quadrado tabelado: 6,63 para os níveis de significância de 1%.

** : significativo (p < 0,01).

As estimativas das variâncias genótípicas ($\hat{\sigma}_g^2$), para os três caracteres avaliados (Tabela 3), são de magnitude semelhante, considerando as respectivas escalas, podendo-se inferir que o controle genético dos mesmos é similar. Este fato é confirmado pelos valores semelhantes de herdabilidade de média de progênies ($\hat{h}_{m,g}^2$), variando de 0,8600 para IMA-VOL a 0,8723 para IMA-ALT (Tabela 3). No entanto, as herdabilidades restritas em nível de plantas individuais (\hat{h}_a^2) variaram de 0,0484 (IMA-DAP) a 0,0607 (IMA-ALT), evidenciando maior eficiência com a seleção com base no valor genético de famílias em detrimento do valor individual, como relatado em outros estudos com espécies de *Eucalyptus* (PUPIN et al., 2015; ROSADO et al., 2009; SOUZA et al., 2011).

Tendo em vista as altas magnitudes das herdabilidades médias de progênies ($\hat{h}_{m,g}^2$) fica evidenciada a existência de variabilidade entre as famílias de *E. grandis* o que proporciona boa probabilidade de sucesso na seleção de genótipos e famílias

superiores (Tabela 3). O coeficiente de variação experimental foi mais elevado para volume em comparação com DAP e altura, porém, ainda estão adequados para condições de campo com *E. grandis* (MORAES et al., 2015; ROCHA et al., 2007). Além disso, os coeficientes de determinação dos efeitos de parcelas (R^2_{parc}) não foram significativos para IMA-VOL e IMA-DAP, e para IMA-ALT ficaram dentro dos limites aceitáveis para bons experimentos (Tabela 3), evidenciando baixa influência ambiental dentro de parcelas e elevada precisão experimental (STURION; RESENDE, 2011).

Tabela 3 - Estimativa de parâmetros genéticos de 165 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais, segundo o modelo 51 do software Selegen, para o incremento médio anual em volume (IMA-VOL, m³ árvore⁻¹ ano⁻¹), diâmetro a altura do peito (IMA-DAP, cm árvore⁻¹ ano⁻¹), altura comercial (IMA-ALT, m árvore⁻¹ ano⁻¹).

Estimadores	IMA-VOL	IMA-DAP	IMA-ALT
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0001	0,0641	0,0843
$\hat{\sigma}_{par}^2$	0,0004	0,0203	0,0348
$\hat{\sigma}_{gxa}^2$	0,0002	0,0573	0,0755
$\hat{\sigma}_e^2$	0,0027	1,1841	1,1937
$\hat{\sigma}_f^2$	0,0032	1,3258	1,3882
\hat{h}_a^2	0,0599	0,0484	0,0607
R^2_{parc}	0,0135	0,0153	0,0251
R^2_{gxa}	0,0699	0,0432	0,0544
\hat{h}_{mg}^2	0,8600	0,8595	0,8723
\hat{r}_a^2	0,9273	0,9271	0,9339
r_{gxlloc}	0,4615	0,5281	0,5274
CV_g	17,10	6,81	6,60
CV_e	27,62	12,55	11,00
Média	0,0804	3,72	4,40

$\hat{\sigma}_g^2$ - variância genotípica; $\hat{\sigma}_{par}^2$ - variância ambiental entre parcelas; $\hat{\sigma}_{gxa}^2$ - variância da interação genótipo x ambiente; $\hat{\sigma}_e^2$ - variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ - variância fenotípica individual; \hat{h}_a^2 - herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos valores genotípicos totais; R^2_{parc} - coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; R^2_{gxa} - coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; \hat{h}_{mg}^2 - herdabilidade da média de progênies; \hat{r}_a^2 - acurácia de seleção de progênies; r_{gxlloc} - correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes; CV_g - coeficiente de variação genotípica; CV_e - coeficiente de variação residual; Média geral.

Tomando-se por base a herdabilidade da média de genótipos (\hat{h}_{mg}^2) e acurácia de seleção de genótipos (\hat{r}_a^2) para inferir sobre a precisão do modelo, pode-se considerar que este é adequado para as características avaliadas (ALMEIDA FILHO et al., 2014). As acurácias (Tabela 3) observadas são superiores a 92%, indicando

alta precisão experimental, o que possibilita a seleção dos genótipos superiores com segurança (RESENDE; DUARTE, 2007). Como são famílias de polinização aberta, a seleção para o conjunto dos diferentes locais deve se basear na média das progênies, com propagação clonal das mesmas, estabelecendo-se um pomar clonal de sementes. Assim, neste caso, a \hat{h}_{mg}^2 é a mais importante, pois a unidade de seleção e de interação genótipo por ambiente se faz com base na média das progênies, pois em famílias de polinização aberta, cada planta apresenta uma constituição genética particular.

A correlação genotípica do desempenho das progênies nos vários ambientes ($r_{g \times loc}$) foi relativamente baixa (Tabela 3), denotando a existência de interação genótipos por ambientes, fato já atestado pela análise de Deviance (Tabela 2). Além disso, a correlação genotípica considerando a relação dois a dois entre os locais (Tabela 4) variou de 0,053 (L3 e L8) a 0,961 (L2 e L3) para IMA-VOL, de 0,026 (L3 e L6; L4 e L5) a 0,959 (L2 e L3) para IMA-DAP e de 0,051 (L3 e L7) a 0,930 (L5 e L6) para IMA-ALT. Desta maneira, há locais com alta correlação genotípica, alguns com magnitude moderada e outros com baixa correlação entre si. Com base nestes resultados, essa interação é do tipo complexa, ou seja, a seleção simultânea das progênies para os vários locais, provavelmente, não é a melhor estratégia para se obter ganhos satisfatórios em todos os ambientes estudados, posto que há alterações expressivas na classificação dos genótipos superiores frente às variações ambientais.

A partir da comparação entre a seleção pelo método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) e a seleção direta por local (Tabela 5) pode-se observar que esta proporciona maiores estimativas de ganhos que a primeira. Isto se deve à ocorrência de interação significativa entre as famílias e os diferentes locais estudados, pelas baixas estimativas de $r_{g \times loc}$, considerando a análise conjunta e diferenças nas magnitudes de correlações genotípicas entre locais. Nestes casos, a MHPRVG proporciona uma redução na produtividade relativa dos genótipos, os quais nem sempre são os mais produtivos em todos os locais.

Desta forma, a eficiência da seleção pela MHPRVG, comparativamente à seleção por local, variou de 19% (L3) a 79,9% (L8) para IMA-VOL; de 26,35% (L4, L4) a 87,52% (L7) para IMA-DAP e de 35,62% (L4) a 84,45% (L7) para IMA-ALT. O número de progênies em comum, considerando-se a seleção por local e pela

MHPRVG, variou de 6 (L3, L4) a 16 (L8) para o volume, de 6 (L3, L4) a 15 (L7) para DAP e de 8 (L3) a 16 (L6, L7) para altura (Tabela 5).

Assim, o local L3 (Monte Dourado B) foi o que mais contribuiu para a interação genótipo por ambiente, seguidos dos locais L2 e L4 (Monte Dourado, A e E), penalizando a eficiência da seleção pela MHPRVG com menor número de progênies selecionadas em comum com a seleção por local. Estes resultados possibilitam verificar a existência de instabilidade dos genótipos através dos locais, sendo que a seleção a partir da MHPRVG penaliza esta instabilidade e capitaliza a capacidade de resposta à melhoria do ambiente (CARBONELL et al., 2007). Por outro lado, os locais L5 (Pratânia), L6 (Anhembi), L7 (Capão Bonito B) e L8 (Lençóis Paulista) capitalizaram a interação genótipos por ambiente, proporcionando maiores expectativas de eficiência da seleção pela MHPRVG e as maiores coincidências entre as progênies selecionadas por local com a seleção pela análise conjunta pelo método MHPRVG.

A partir da seleção baseada na MHPRVG, foram identificadas as 25 melhores famílias para cada um dos três caracteres separadamente (Tabela 6). Pequenas alterações ocorreram entre as 25 famílias superiores para cada um dos caracteres, sendo 18 o número de famílias coincidentes para as três características dentre as 25 selecionadas. As famílias 6, 73, 98, estão entre as 25 melhores apenas para o volume e DAP. A família 9 se encontra entre as 25 superiores apenas para volume e altura, sendo que, as famílias 51 e 130 foram selecionadas apenas para DAP e altura. As famílias 7, 12 e 148 foram selecionadas apenas para volume, e a 69 e 79 foram selecionadas apenas para DAP, e as famílias 9, 28, 50 e 165 apenas para altura das plantas.

Tabela 4 - Herdabilidade ao nível de média de famílias de polinização aberta para cada local (diagonal principal), relacionando-se dois a dois (acima da diagonal principal) e correlações genótípicas entre famílias e locais, dois a dois (entre parênteses), em testes de famílias de polinização aberta em *Eucalyptus grandis* para o incremento médio anual de volume (IMA-VOL, m³ árvore⁻¹ ano⁻¹), diâmetro a altura do peito (IMA-DAP, cm árvore⁻¹ ano⁻¹) e altura total (IMA-ALT, m árvore⁻¹ ano⁻¹).

Locais		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
L1	IMA-VOL	0,480	0,310 (0,373)	0,421 (0,556)	0,261 (0,311)	0,373 (0,324)	0,455 (0,437)	0,392 (0,329)	0,252 (0,196)
	IMA-DAP	0,484	0,313 (0,381)	0,333 (0,402)	0,264 (0,302)	0,395 (0,363)	0,433 (0,406)	0,293 (0,221)	0,371 (0,310)
	IMA-ALT	0,553	0,349 (0,374)	0,454 (0,538)	0,483 (0,614)	0,453 (0,384)	0,414 (0,367)	0,316 (0,231)	0,469 (0,422)
L2	IMA-VOL		0,511	0,674 (0,961)	0,519 (0,663)	0,195 (0,164)	0,303 (0,284)	0,271 (0,221)	0,122 (0,089)
	IMA-DAP		0,447	0,641 (0,959)	0,539 (0,752)	0,158 (0,137)	0,285 (0,261)	0,202 (0,156)	0,122 (0,089)
	IMA-ALT		0,589	0,593 (0,717)	0,521 (0,626)	0,353 (0,295)	0,401 (0,364)	0,328 (0,253)	0,248 (0,192)
L3	IMA-VOL			0,444	0,656 (0,936)	0,153 (0,131)	0,070 (0,061)	0,158 (0,128)	0,071 (0,053)
	IMA-DAP			0,419	0,593 (0,866)	0,149 (0,134)	0,030 (0,026)	0,044 (0,033)	0,095 (0,071)
	IMA-ALT			0,583	0,562 (0,717)	0,291 (0,247)	0,068 (0,055)	0,071 (0,051)	0,243 (0,198)
L4	IMA-VOL				0,562	0,049 (0,038)	0,105 (0,089)	0,101 (0,075)	0,098 (0,070)
	IMA-DAP				0,564	0,032 (0,026)	0,059 (0,047)	0,041 (0,029)	0,063 (0,044)
	IMA-ALT				0,500	0,181 (0,139)	0,229 (0,190)	0,104 (0,070)	0,471 (0,423)
L5	IMA-VOL					0,718	0,758 (0,863)	0,780 (0,867)	0,805 (0,841)
	IMA-DAP					0,693	0,797 (0,943)	0,789 (0,857)	0,834 (0,896)
	IMA-ALT					0,774	0,831 (0,930)	0,822 (0,851)	0,753 (0,739)
L6	IMA-VOL						0,684	0,760 (0,844)	0,729 (0,728)
	IMA-DAP						0,700	0,799 (0,873)	0,789 (0,814)
	IMA-ALT						0,736	0,856 (0,940)	0,690 (0,650)
L7	IMA-VOL							0,548	0,759 (0,765)
	IMA-DAP							0,576	0,814 (0,810)
	IMA-ALT							0,777	0,716 (0,648)
L8	IMA-VOL								0,773
	IMA-DAP								0,797
	IMA-ALT								0,840

L1 - Itamarandiba (48); L2 - Monte Dourado A (36); L3 - Monte Dourado B (36); L4 - Monte Dourado E (46); L5 - Pratânia (48); L6 - Anhembi (36); L7 - Capão Bonito B (36); L8 - Lençóis Paulista (51). Os números entre parênteses referem-se às idades de avaliação dos testes em cada um dos locais.

Tabela 5. Estimativas de ganhos genéticos, com base na seleção por local e pela Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) na análise conjunta dos 8 locais, pela seleção das 25 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* para o incremento médio anual de volume (IMA-VOL, m³ árvore⁻¹ ano⁻¹), diâmetro a altura do peito (IMA-DAP, cm árvore⁻¹ ano⁻¹) e altura (IMA-ALT, m ano⁻¹ árvore⁻¹).

Caracteres	Parâmetros	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
IMA-VOL	Seleção por Local	0,0117	0,0105	0,0075	0,0092	0,0582	0,0437	0,0437	0,0690
	Seleção MHPRVG	0,0057	0,0028	0,0014	0,0022	0,0414	0,0297	0,0310	0,0551
	Eficiência da Seleção MHPRVG	48,33	26,83	19,00	23,52	71,21	67,85	70,96	79,90
	Nº de progênies em comum	11	7	6	6	14	11	13	16
IMA-DAP	Seleção por Local	0,2736	0,2653	0,2376	0,2726	0,9969	0,9684	1,2670	0,8466
	Seleção MHPRVG	0,1165	0,0767	0,0662	0,0718	0,7974	0,6802	1,1089	0,6754
	Eficiência da Seleção	42,60	28,90	27,87	26,35	79,99	70,24	87,52	79,78
	Nº de progênies em comum	10	7	6	6	14	10	15	12
IMA-ALT	Seleção por Local	0,3258	0,4648	0,4332	0,2737	1,2209	1,2773	1,4925	0,7468
	Seleção MHPRVG	0,1701	0,2112	0,2036	0,0975	0,9750	1,0766	1,2605	0,5321
	Eficiência da Seleção	52,22	45,43	46,99	35,62	79,86	84,29	84,45	71,25
	Nº de progênies em comum	10	10	8	10	11	16	16	15

L1 - Itamarandiba (48); L2 - Monte Dourado A (36); L3 - Monte Dourado B (36); L4 - Monte Dourado E (46); L5 - Pratânia (48); L6 - Anhembi (36); L7 - Capão Bonito B (36); L8 - Lençóis Paulista (51).

Estas famílias, por sua vez, apresentam alguma particularidade específica. Dentre as progênies selecionadas com base na MHPRVG, algumas se destacaram por também terem sido superiores em pelo menos 7 dos 8 ambientes de experimentação, a exemplo da família 2, para volume e para DAP, e a 15 e 131 para ALT (Tabela 6). Estas famílias demonstram, portanto, boa plasticidade e merecem atenção especial pela regularidade de comportamento em diferentes ambientes.

Tabela 6 - Adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG) para o incremento médio anual de volume (IMA-VOL, $m^3 \text{ árvore}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), diâmetro a altura do peito (IMA-DAP, $cm \text{ árvore}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e altura (IMA-ALT, $m \text{ árvore}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nas 25 famílias superiores para cada caráter, avaliados em 165 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, em 8 locais, com idades entre 36 e 51 meses.

Classificação	IMA-VOL			IMA-DAP			IMA-ALT		
	Família	MHPRVG	Nova Média	Família	MHPRVG	Nova Média	Família	MHPRVG	Nova Média
1	13 (4) ¹	1,281	0,1029	14 (5)	1,112	4,13	15 (7)	1,130	4,97
2	5 (5)	1,275	0,1025	2 (7)	1,104	4,11	152 (4)	1,128	4,96
3	21 (4)	1,273	0,1023	21 (4)	1,104	4,10	13 (5)	1,125	4,94
4	152 (5)	1,265	0,1017	5 (5)	1,103	4,10	2 (6)	1,123	4,94
5	2 (7)	1,264	0,1016	152 (5)	1,102	4,10	5 (5)	1,121	4,93
6	30 (2)	1,255	0,1009	13 (2)	1,095	4,07	30 (3)	1,119	4,92
7	14 (4)	1,228	0,0987	163 (4)	1,089	4,05	14 (4)	1,113	4,89
8	131 (4)	1,224	0,0984	15 (5)	1,088	4,05	131 (7)	1,111	4,88
9	139 (4)	1,205	0,0969	106 (2)	1,088	4,04	21 (2)	1,110	4,88
10	143 (4)	1,193	0,0959	139 (4)	1,086	4,04	19 (6)	1,097	4,82
11	106 (2)	1,190	0,0957	131 (6)	1,086	4,04	104 (5)	1,095	4,81
12	19 (4)	1,183	0,0951	143 (3)	1,083	4,03	51 (3)	1,095	4,81
13	104 (2)	1,178	0,0947	6 (4)	1,077	4,01	143 (4)	1,094	4,81
14	17 (4)	1,176	0,0946	73 (2)	1,075	4,00	139 (4)	1,090	4,79
15	163 (4)	1,167	0,0939	104 (2)	1,074	3,99	106 (2)	1,088	4,78
16	98 (1)	1,165	0,0937	30 (2)	1,071	3,98	17 (5)	1,088	4,78
17	12 (2)	1,162	0,0934	17 (3)	1,071	3,98	9 (4)	1,086	4,78
18	9 (4)	1,159	0,0931	98 (3)	1,069	3,97	28 (2)	1,086	4,78
19	15 (6)	1,158	0,0931	19 (2)	1,068	3,97	163 (4)	1,085	4,77
20	6 (4)	1,152	0,0926	29 (3)	1,065	3,96	107 (2)	1,084	4,77
21	7 (2)	1,150	0,0925	79 (3)	1,064	3,96	50 (2)	1,084	4,76
22	29 (2)	1,149	0,0924	51 (2)	1,064	3,96	10 (3)	1,082	4,76
23	73 (2)	1,147	0,0922	10 (3)	1,062	3,95	29 (3)	1,077	4,74
24	10 (3)	1,144	0,092	130 (2)	1,061	3,95	165 (5)	1,076	4,73
25	148 (2)	1,142	0,0918	69 (2)	1,060	3,94	130 (3)	1,075	4,73

¹ – valor entre parênteses refere-se ao número de ambientes em que a progênie aparece entre as 25 superiores.

Apesar da MHPRVG proporcionar eficiência seletiva baixa para alguns dos 8 ambientes (Tabela 5), deve-se considerar que a grande vantagem da mesma é que as progênies superiores apresentam boa adaptabilidade, estabilidade genotípica e, portanto, capazes de manterem bom desempenho em diferentes ambientes. Contudo para alguns locais (L5, L6, L7 e L8), a eficiência da MHPRVG é alta, provavelmente devido à interação predominante simples desses quatro locais com os demais.

A expectativa de ganhos com a seleção das 25 melhores famílias com base na MHPRVG é de 14,20% em volume, de 6,00% para DAP e de 7,50% para ALT, considerando-se o desempenho médio das 165 famílias nos oito locais, o que demonstra o potencial das mesmas para plantios em diferentes regiões edafoclimáticas do Brasil.

Se o interesse for transformar os testes de progênies em Pomar de Sementes por Muda (PSM), a melhor estratégia é selecionar com base nos valores genéticos dos indivíduos em cada local. Neste caso deve ser utilizada a adaptabilidade e estabilidade específica para cada um dos locais estudados. Contudo, se o interesse for obter uma fonte de sementes de *E. grandis*, com boa adaptação, estabilidade e produtividade num conjunto de ambientes, a melhor estratégia é selecionar com base na MHPRVG. Nesta situação, pode-se adotar uma das duas estratégias: i) clonar as progênies selecionadas e constituir um Pomar de Sementes Clonal (PSC), por exemplo, num único ambiente e este ser a fonte fornecedora de sementes ou ii) desbastar um dos testes de progênies, localizado num ambiente com alta correlação genótipo por local ($r_{g,loc}$), portanto representativo dos demais locais ou de um conjunto de locais específicos, transformando-o num PSM.

Contudo, dadas as baixas estimativas de correlação entre pares de locais, sugere-se a adoção de zoneamento ou estratificação de ambientes (locais) de forma a se obter locais representativos de um subconjunto destes, em que as estimativas de correlação entre pares de locais possam ser otimizadas. Diante do exposto, o local 5 (L5 - Pratânia) apresentou correlação genotípica de 0,863, 0,943 e 0,930 respectivamente para volume, DAP e altura das árvores com o local 6 e alta correlação genotípica com os locais 7 e 8 (Tabela 4). Pratânia, conforme citado anteriormente, também está entre os locais que apresentam alta eficiência da seleção pela MHPRVG

e elevadas coincidências entre as famílias selecionadas por local com a seleção pelo método da MHPRVG. Pratânia poderia ser o local escolhido como fornecedor de sementes representativas em termos de adaptação, estabilidade e produtividade para os locais 6 (L6 - Anhembi), 7 (L7 - Capão Bonito B) e 8 (L8 - Lençóis Paulista). Por outro lado, o local 5 apresenta baixas correlações genotípicas com os demais locais sugerindo que as sementes oriundas de Pratânia, certamente não seriam as de maiores valores genotípicos em Itamarandiba (L1), Monte Dourado A, B e E (L2, L3 e L4 respectivamente).

O local 3 (L3 - Monte Dourado B) é o que apresentou maiores correlações genotípicas com os locais 1 (L1 - Itamarandiba), 2 (L2 - Monte Dourado A) e 4 (L4 - Monte Dourado E) para as três características avaliadas (Tabela 4). A estratégia com redução de esforços necessários para avaliações e seleção de genótipos superiores, seria a escolha das progênies por meio da MHPRVG com posterior clonagem e escolha de Monte Dourado B (L3) como local fornecedor de sementes para Itamarandiba (L1), Monte Dourado A e E (L2, e L4 respectivamente).

Tendo em vista os resultados obtidos no presente estudo, a interação genótipo x ambiente entre os locais avaliados dificulta a escolha de um único local representativo na constituição de um Pomar de Sementes Clonal (PSC) e fornecedor de sementes para novos locais. No entanto, pode-se utilizar dois locais a fim de obter genótipos superiores e representativos para várias regiões.

Conclusões

1. A interação genótipo por ambiente é expressiva, prejudicando a eficiência da seleção simultânea para todos os locais por meio do método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) das progênies, considerando os oito locais estudados.

2. Como estratégia de melhoramento recomenda-se o zoneamento ou estratificação ambiental, de forma a obter locais representativos para um subconjunto de locais. Desta forma, pode-se adotar Pratânia e Monte Dourado B como ambientes representativos do grupo de locais estudados para seleção de genótipos superiores de *E. grandis*.

Referências

- ALMEIDA FILHO, J. E. D.; TARDIN, F. D.; RESENDE, M. D. V. D.; GRANATO, Í. S. C.; MENEZES, C. B. D. Genetic evaluation of grain sorghum hybrids in Brazilian environments using the REML/BLUP procedure. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 146-150, 2014.
- AZEVEDO, L. P. A.; COSTA, R. B.; MARTINEZ, D. T.; DE ARRUDA TSUKAMOTO FILHO, A.; BRONDANI, G. E.; BARETTA, M. C.; AJALA, W. V. Seleção genética em progênes de "*Eucalyptus camaldulensis*" em área de cerrado matogrossense. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 2001-2006, 2015.
- CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. D. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 193-201, 2007.
- IBA. **Relatorio IBÁ 2016**. Brasilia Industria Brasileira de Árvores. 2016. 6-15 p.
- JÚNIOR, J. E. P.; STURION, J. A.; DE RESENDE, M. D. V.; JÚNIOR, P. R. Avaliação simultânea de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de *Eucalyptus grandis* em distintos ambientes do estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasilia, n. 53, p. 79, 2011.
- MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 3, p. 117-128, 2008.
- MORAES, C. B.; BRIZOLLA, T. F.; TEIXEIRA, L. G.; ZIMBACK, L.; TAMBARUSSI, E. V.; CHAVES, R.; DE MORAES, M. L. T.; MORI, E. S. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção de árvores de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 623-629, 2015.
- NASCIMENTO, F. R. D. Os semiáridos e a desertificação no Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 9, n. 2, p. 7-25, 2016.
- ODA, S.; MENCK, A.; VENCOSKY, R. Problemas no melhoramento genético clássico do eucalipto em função da alta intensidade de seleção. **IPEF: Instituto de pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 41-42, p. 8-17, 1989.
- PUPIN, S., ARIELEN VIRGÍNEA DE ARAÚJO; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; DA SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênes de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 1-7, 2015.

RAMALHO, M.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA. 2012. 365-456 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras, Ufla, 2005. p.50-80.

RESENDE, M. D. Selegen-Reml/Blup: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. **Embrapa Florestas**, Colombo, p. 120-125, 2007.

RESENDE, M. D. V. **O software selegen-Remal/Blup**. 1. Campo Grande, Copyright 2006. p. 122-135.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, Goiania, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. D. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando Reml/Blup e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 964-971, 2012.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JÚNIOR, M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

SOUZA, C. S.; FREITAS, M. L. M.; DE MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, p. 847-856, 2011.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 1, n. 50, p. 1-8, 2011.

VIANA, A. P.; RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras 1**. Rio de Janeiro Interciência, 2014. p. 47-49.

CAPÍTULO 3 - Eficiência no uso da água e de potássio em progênies de *Eucalyptus grandis*

Resumo – O melhoramento florestal no Brasil tem passado pelo desafio de atender a crescente demanda de derivados dos produtos florestais, diante da perspectiva de seca nas regiões produtoras de madeira. Perante isto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação, sob dois regimes hídricos na presença e ausência de adubação com potássio. Foram usadas 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, na ausência e na presença de adubação com potássio ($200 \text{ mg dm}^{-3} \text{ KCl}$), sob dois regimes de irrigação (sem e com restrição hídrica). O experimento foi implantado no delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com cinco repetições de duas plantas por parcela. Observou-se a existência de variabilidade entre as progênies de famílias de polinização aberta de *E. grandis* possibilitando a obtenção de sucesso na seleção de famílias superiores para as características de crescimento. Em contrapartida existe pequena variabilidade nas progênies quanto às características fisiológicas e nutricionais, o que dificulta o sucesso na seleção. Mesmo perante a baixa variabilidade genética, de uma forma geral, é possível obter ganhos com a seleção das famílias superiores.

Palavras chave: Eficiência na utilização de água; eficiência nutricional, melhoramento Florestal; modelos mistos, Blup.

Efficiency of water and potassium use in progenies of *Eucalyptus grandis*

Abstract – The Forest improvement in Brazil has been going through the challenge of meeting the rising demand for forest products derivatives at the drought perspective in producing regions. In view of this, the objective of this work was to evaluate the behavior of open-pollinated families of *Eucalyptus grandis*, in greenhouse, under two hydric regimes in the presence and absence of fertilization with potassium. Fifteen open-pollinated families of *Eucalyptus grandis* were used, in the presence and absence of fertilization with potassium ($200 \text{ mg dm}^{-3} \text{ KCl}$), under two irrigation regimes (without and with water restriction). The experiment was implemented in a randomized complete block design, in a subdivided plot scheme, with five replications of two plants per plot. The existence of variability between progenies of open-pollinated families of *E. grandis* was observed, enabling high probability of success in the selection of better families and genotypes for the characteristics of vegetative growth. On the other hand, there is a small variability in progenies which makes the success in selection for physiological characteristics difficult. Even with a small genetic variance when the selection was done, small gains were obtained. **Keywords:** Efficiency in water use; Forest improvement; BLUP.

Introdução

A produtividade das florestas de *Eucalyptus* no Brasil é a maior do mundo, com incremento médio de $36,70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IBA, 2016). Esta produtividade é devido aos ganhos obtidos por meio dos programas de melhoramento genético e as melhorias dos tratamentos silviculturais (LEITE, 2005; STAPE, 2005).

As florestas plantadas no Brasil fornecem 91% de toda a madeira consumida, apesar de ocuparem apenas 0,9% do território nacional. Nos próximos 35 anos, devido ao aumento previsto da população e o incremento da renda *per capita*, e considerando a atual produtividade do eucalipto no Brasil, estima-se que o acréscimo da área plantada deva ser da ordem de 40% (IBA, 2016).

A disponibilidade de água aliada aos nutrientes no solo são os fatores de maior importância para a manutenção da produtividade das florestas (BARROS; COMERFORD, 2002). Desta forma, para que o setor florestal consiga sustentar a produtividade almejada, estes fatores devem ser fornecidos adequadamente para que os processos fisiológicos ocorram de forma adequada e se obtenha a produtividade necessária (RYAN et al., 2010).

No Brasil vem ocorrendo uma redução nas chuvas que variam de 10% a 30%, e na região central isto se tem intensificado (MOLION, 2008). Contudo, estes impactos são mais dramáticos na região Nordeste onde a escassez de água já é um problema antigo (MARENGO, 2010). Desta forma, empresas florestais têm trabalhado para melhorar o manejo florestal tornando este mais sustentável, com investimentos contínuos em tecnologias, para propiciar maior produtividade com menor utilização dos recursos (IBA, 2016).

A deficiência hídrica provoca alterações fisiológicas em plantas de eucalipto na transpiração, condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida e concentração interna de CO_2 (FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015), dentre vários outros caracteres. Em condições de campo, a deficiência hídrica após o plantio e nos primeiros meses da implantação florestal pode comprometer não somente o crescimento inicial (SILVA et al., 2004), mas a sobrevivência e produtividade final da floresta. Por outro lado, o eucalipto apresenta alguns mecanismos para a economia

de água, tais como a presença de tecido foliar coriáceo, alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão raiz/parte aérea (SILVA et al., 2004).

O potássio é um elemento essencial aos vegetais, sendo indispensável em vários processos, como na fotossíntese e na respiração. O controle da abertura e fechamento dos estômatos é mediado pelo potássio, regulando a manutenção de água na planta (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). O potássio também atua em funções pouco compreendidas, como é observado em plantas bem supridas que apresentarem maior tolerância ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2013). O íon K^+ está envolvido no transporte de fluidos do floema, com a turgescência das células estomáticas e crescimento celular, também atuando como um ativador enzimático (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação, sob dois regimes hídricos na presença e ausência de adubação com potássio.

Material e Métodos

Para este estudo foram amostradas 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, pertencentes à rede experimental coordenada pelo Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal (PCMF), sob responsabilidade do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). A partir da análise de adaptabilidade, estabilidade e produtividade para volume de madeira (m^3), pelo método da Média Harmônica da Performance Relativa do Valor Genético - MHPRVG, aplicado aos dados de testes conduzidos em oito locais, com idade entre 36 e 51 meses (Capítulo 2), as 165 famílias de polinização aberta foram divididas em 3 grupos: alta, média e baixa produtividade, adaptabilidade e estabilidade. Em cada um desses grupos foram amostradas cinco famílias, a partir de sementes remanescentes dos testes iniciais, conforme a disponibilidade destas. Destas sementes foram produzidas mudas que foram usadas no experimento de casa de vegetação, descrito a seguir.

As mudas foram formadas no Viveiro Experimental de Plantas Ornamentais e Florestais (horto) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Câmpus de Jaboticabal. A semeadura foi realizada em 9 de junho de 2014, utilizando tubetes de 55 cm³ e substrato Plantmax Florestal® adubado conforme recomendações de Gonçalves; Raij e Gonçalves (1997). O período de formação das mudas, para posterior uso no experimento em vasos, foi de 90 dias. Durante este período as mudas recebiam irrigação, diariamente no intervalo de 7 às 19 h, mediante um sistema de aspersão durante 3 min a cada hora, com uma vazão de 7 l/m².

Os tratamentos constituíram da combinação das 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, na ausência e na presença de adubação com potássio (200 mg dm⁻³ de KCl), sob dois regimes de irrigação (1 - sem limitação na disponibilidade de água e 2 – sob estresse, obtido mediante a aplicação de ciclos de suspensão da irrigação até o aparecimento de sintomas iniciais de murcha, com posterior irrigação). O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas continham as famílias de polinização aberta combinadas com a adubação ou não com KCl, e nas subparcelas os regimes de irrigação, com cinco repetições de duas plantas por parcela. O potássio foi fornecido via cloreto de potássio, dividido em três aplicações: no plantio e após 30 e 60 dias do plantio das mudas nos vasos.

O plantio das mudas nos vasos ocorreu em 5 de setembro de 2014 quando as mudas atingiram o padrão de plantio (cerca de 25 cm de altura, 2 mm de diâmetro do coleto e pelo menos 3 pares de folhas definitivas). Foi adotado um período de 22 dias para aclimação das mudas após o transplantio nos vasos. Foram usados vasos preenchidos com 3 litros de um solo, cuja análise de fertilidade encontra-se na Tabela 1. A correção do solo foi realizada para elevar a saturação por bases para 60%, mediante a aplicação de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, na relação 3:1 (GONÇALVES; RAIJ; GONÇALVES, 1997). A adubação constou da aplicação de: 30 mg dm⁻³ de N (sulfato de amônio) subdivididos em três aplicações, 250 mg dm⁻³ P₂O₅ (superfosfato simples), 0,5 mg dm⁻³ de B (ácido bórico), 0,5 mg dm⁻³ de Cu (sulfato de cobre), 1,5 mg dm⁻³ Mn (sulfato de manganês), 0,1 mg dm⁻³ Mo (molibdato de amônio), 5,0 mg dm⁻³ Zn (sulfato de zinco). A adubação com potássio somente foi realizada nos

tratamentos correspondentes com a aplicação de 200 mg dm⁻³ de KCl, dividida em três aplicações.

Tabela 1: Caracterização química do solo usado no experimento.

pH CaCl ₂	Mo g dm ⁻³	P (Resina) mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				SB	CTC
			K	Ca	Mg	H +Al		
5,2	5	3	0,5	4	1	13	6	19
	V%		mg dm ⁻³				S-SO	
	32,4		0,12	0,5	13	2,2	0,3	

O experimento foi conduzido na área de Silvicultura, do Departamento de Produção Vegetal, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Câmpus de Jaboticabal, em casa de vegetação com pé-direito de 3,5 m, coberta com filme de plástico de 15 µm e revestida lateralmente com telas com capacidade de retenção de 30% da radiação diária. Durante o experimento foram aplicados 37 ciclos de suspensão da irrigação.

Após 52 e 81 dias do transplântio das mudas nos vasos, foram avaliadas as seguintes características: taxas de assimilação líquida (A , fotossíntese, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), usando um analisador de gás por infravermelho portátil (LCPro+, ADC Scientific) acoplado a uma fonte de luz artificial. As avaliações foram feitas sob concentração ambiente de CO_2 ($390 \pm 10 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), fluxo de fótons fotossinteticamente ativo de $1150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sob temperatura ambiente. De posse dos dados, foi quantificada a eficiência no uso de água (EUA), obtida pela razão A/E , a eficiência instantânea da carboxilação (E_iC), obtida pela razão A/C_i e a eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i), obtida pela razão A/g_s (SOUZA FERRAZ et al., 2012). As avaliações de trocas gasosas foram realizadas no período compreendido entre 7 e 10:30 h. Estas avaliações foram realizadas na terceira folha totalmente expandida, contada a partir do ápice da planta. As avaliações foram realizadas quando os tratamentos com limitação hídrica manifestavam os sintomas de murcha.

Ao final do experimento, ou seja, após 91 dias do transplântio das mudas para os vasos, foram determinados o diâmetro do coleto (mm), a altura (cm), número de

folhas, a área foliar (cm²) e a massa de matéria seca de folhas, caule e raízes (g). A altura foi determinada com régua graduada (0,1 cm), o diâmetro do coleto com paquímetro digital (0,01 mm), a área foliar com um aparelho determinador de área foliar (Li-Cor 3100) e a massa de matéria foi determinada em balança de precisão (0,0001g) após submeter o material vegetal à secagem, em estufa de circulação de ar, a 65 °C, até massa constante.

Para avaliação nutricional foram utilizadas duas repetições por tratamento, onde as raízes das duas plantas que constituíam cada parcela foram lavadas e secas em estufa e posteriormente moídas juntas. As amostras da parte aérea foram formadas de folhas, caule e galhos das duas plantas que constituíam a parcela, as quais, também, foram lavadas e secas em estufa e posteriormente moídas (MALAVOLTA, 2006). Foi determinado os teores de nitrogênio (N), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) conforme especificações constantes em Bataglia et al. (1991).

De posse dos teores de nutrientes e da massa de matéria seca em cada componente da planta (raiz e parte aérea) determinou-se o conteúdo de nutrientes e as eficiência de absorção (EA), de transporte ou translocação (ET) e a eficiência de utilização de nutrientes (EU) conforme expressões abaixo (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991; SIDDIQI; GLASS, 1981; SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994):

$$\text{Eficiência de absorção (EA)} = \frac{\text{Conteúdo do nutriente na planta}}{\text{Matéria seca de raízes}} * 100$$

$$\text{Eficiência de transporte ou translocação (ET)} = \frac{\text{Conteúdo do nutriente na parte aérea}}{\text{Conteúdo do nutriente na planta}} * 100$$

$$\text{Eficiência de utilização de nutrientes (EU)} = \frac{(\text{Matéria seca total})^2}{\text{Conteúdo do nutriente na planta}}$$

Para as análises estatísticas considerou-se um modelo misto em que as famílias de polinização aberta de *E. grandis* foram consideradas aleatórias e as doses de potássio e os regimes de irrigação fixos. Para as fontes de variação definidas como de efeito fixo foram realizadas análises de variâncias (ANAVA) e teste de Tukey para comparar as médias quanto estas foram significativas pelo teste F (FERREIRA, 2000).

Para as fontes de variação definidas como de efeito aleatório, foram realizadas análises de deviance (ANADEV), sendo o valor LRT (likelihood ratio test) = Deviance do modelo sem o referido efeito – Deviance do modelo completo. Além disso o valor LRT da significância (p-valor) é avaliado pelo teste do Qui-Quadrado com um grau de liberdade. LRT maiores que 3,84 e 6,63 são significativos ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$, respectivamente). LRT menores que 3,84 não são significativos pelo Qui-quadrado tabelado (RESENDE, 2004). Para os efeitos fixos dos modelos mistos utilizados, os cálculos de graus de liberdade do resíduo foram ajustados (KENWARD; ROGER, 1997).

Todas as análises estatísticas foram feitas utilizando o software estatístico SAS 9.4 (SAS INSTITUTE INC, 2011).

Os dados de eficiência de absorção, de translocação e de utilização de nutrientes, foram analisados pela técnica dos componentes principais, avaliando-se a importância destes caracteres para a explicação da dispersão das famílias no plano bidimensional (gráficos biplots). Tanto a análise por componentes principais quanto os gráficos biplots foram construídos no software R/RStudio utilizando como base a função `prcomp` (R CORE TEAM, 2016).

Resultados e Discussão

Caracteres de crescimento e de produção de massa de matéria seca

Há variabilidade genética entre as famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* (Tabela 2) para o de número de folhas (NF) e de massa de matéria seca total (MST) e interação significativa entre famílias x regimes de irrigação x adubação potássica para a altura de plantas (AP). Para a fonte de variação adubação somente a área foliar (AF) e a matéria seca de folhas (MSF) apresentaram diferenças significativas. Para irrigação todas as características de crescimento apresentaram diferenças significativas; a interação adubação x irrigação foi significativa apenas para o diâmetro do coleto (DC).

Os caracteres de crescimento (Tabela 3) apresentaram estimativas de herdabilidade média dos genótipos (\hat{h}_{mg}^2 (%)), consideradas como medianas (24,75

para de massa de matéria seca de raízes, MSR) a altas (91,02 para NF), e as estimativas de herdabilidade individual no sentido amplo ($\hat{h}_{in.g}^2(\%)$), têm valores considerados baixos, variando de 1,58 para MSR a 13,22 para DC (RESENDE, 1995). Estes valores observados para as herdabilidades individuais são próximos aos encontrados em outras pesquisas (GUERRA et al., 2009; SAMPAIO; RESENDE; ARAUJO, 2000). Os altos valores observados de herdabilidade média dos genótipos ($\hat{h}_{m.g}^2(\%)$) para algumas características indicam que para estas existe variabilidade entre as famílias possibilitando boa probabilidade de sucesso com a seleção das mesmas.

Os menores valores das herdabilidades individuais indicam maior eficiência para a seleção com base no valor genético de família em comparação ao valor individual (PUPIN et al., 2015; ROSADO et al., 2009). As herdabilidades medem os níveis de correspondência entre os genótipos e os fenótipos, desta forma a herdabilidade mede a confiabilidade do fenótipo como indicador do valor genético (RAMALHO et al., 2012). Levando em consideração as escalas das variáveis de crescimento, as variâncias genéticas têm valores semelhantes o que indica, também, um controle genético semelhante sobre as mesmas (Tabela 3).

Os coeficientes da variação experimental (Tabela 3) observados para a maioria dos caracteres de crescimento são considerados médios (entre 10 e 20%), exceto para número de folhas que é considerado alto (entre 20 e 30%) e para massa de matéria seca de raízes (> 30%), considerado como muito alto, conforme classificação de Pimentel Gomes (2009). Por outro lado, as estimativas dos coeficientes de variação genética foram de baixa magnitude (< 5%), à exceção do NF que foi de 14,96%. A acurácia genética na seleção de genótipos (\hat{r}_g^2) e a herdabilidade da média dos genótipos possibilitam a inferência sobre a precisão do modelo sendo este adequado para as características estudadas (ALMEIDA FILHO et al., 2014; RESENDE; DUARTE, 2007).

Os baixos valores para os coeficientes de determinação mostram pequena influência da adubação e da irrigação, mesmo este apresentando diferença para todos os caracteres de crescimento sobre as famílias de polinização aberta de *E. grandis* (STURION; RESENDE, 2011).

Tabela 2 - Análise de deviance (ANADEV) para os efeitos aleatórios e análise de variância (ANAVA) para os efeitos fixos para a altura de planta (AP, em cm), diâmetro do coleto (DC, em mm), número de folhas (NF), área foliar (AF, em cm²) e para massas de matéria seca (em g) do caule (MSC), de folhas (MSF), de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST), em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* (Genótipos), submetidas ou não a adubação potássica (Adubação) sob dois regimes de irrigação (Irrigação) em casa de vegetação.

LRT: Teste da razão da verossimilhança para efeitos aleatórios ⁽²⁾									
Fonte de Variação ⁽¹⁾	AP	DC	NF	AF	MSC	MSF	MSR	MSPA	MST
Genótipos (G)	1,56 ^{ns}	3,66 ^{ns}	9,95 ^{**}	3,45 ^{ns}	0,81 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,71 ^{ns}	3,87 [*]
A x G	1,29E ⁻⁰⁷ ^{ns}	2,65E ⁻⁰⁸ ^{ns}	2,61 ^{ns}	1,38E ⁻⁰⁵ ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,17E ⁻⁰⁷ ^{ns}	0,31 ^{ns}	7,73E ⁻¹² ^{ns}
Erro a	2,74E ⁻⁰⁷	0,08	6,47E ⁻⁰⁶	4,14E ⁻⁰³	1,16E ⁻¹⁰	6,25E ⁻⁰⁷	0,10	2,17E ⁻⁰⁷	2,33E ⁻⁰⁶
I x A x G	5,32 ^{**}	3,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,37E ⁻⁰⁵ ^{ns}	0,01 ^{ns}	6,25E ⁻⁰⁷ ^{ns}	1,70E ⁻¹⁰ ^{ns}	8,13E ⁻⁰⁴ ^{ns}	4,17E ⁻⁰⁷ ^{ns}
I x G	0,38 ^{ns}	0,12 ^{ns}	6,19E ⁻⁰⁶ ^{ns}	1,38E ⁻⁰⁵ ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,12E ⁻⁰⁷ ^{ns}	4,78E ⁻¹⁰ ^{ns}	2,17E ⁻⁰⁷ ^{ns}	1,78E ⁻⁰⁶ ^{ns}
Erro b	50,65	0,43	847,20	15885,00	0,46	0,85	0,44	1,79	2,41
QM: Quadrados Médios para efeitos fixos ⁽²⁾									
Fonte de Variação	AP	DC	NF	AF	MSC	MSF	MSR	MSPA	MST
Repetição	371,41 ^{***}	0,59 ^{ns}	13590 ^{***}	384099 ^{***}	10,17 ^{***}	43,87 ^{***}	7,57 ^{***}	90,98 ^{***}	149,97 ^{***}
Adubação (A)	0,09 ^{ns}	0,003 ^{ns}	432,72 ^{ns}	319373 ^{***}	1,96 ^{ns}	12,2 ^{**}	0,92 ^{ns}	4,39 ^{ns}	9,32 ^{ns}
Irrigação (I)	21510 ^{***}	323,07 ^{***}	53967 ^{***}	13941886 ^{***}	644,34 ^{***}	1176 ^{***}	383,93 ^{***}	3562,13 ^{***}	6283,31 ^{***}
I x A	80,34 ^{ns}	6,68 [*]	1206,81 ^{ns}	27437,00 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}

(1): A: Adubação, I: Irrigação, G: Genótipos e R: Repetições. (2) ***: Significativo a $P \leq 0,0001$, **: Significativo a $P \leq 0,01$, *: Significativo a $P \leq 0,05$.
^{ns} – não significativo a 5%.

Tabela 3 - Parâmetros genéticos relativos a altura de planta (AP, em cm), diâmetro do coleto (DC, em mm), número de folhas (NF), área foliar (AF, em cm²) e para massas de matéria seca (em g) do caule (MSC), de folhas (MSF), de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, submetidas ou não a adubação potássica sob dois regimes de irrigação em casa de vegetação .

Parâmetro Genético	AP	DC	NF	AF	MSC	MSF	MSR	MSPA	MST
$\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$	0,001	0,011	0	8,69	0	0	0,01	0,01	0,01
$\hat{\sigma}_{A*G}^2$	0	0	98,02	0	0,01	0,01	0	0,05	0
$\hat{\sigma}_{I*G}^2$	2,99	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0
$\hat{\sigma}_{I*A*G}^2$	8,36	0,05	7,76	0	0,00	0	0	0,01	1,67E ⁻¹⁷
$\hat{\sigma}_G^2$	5,89	0,07	464,23	914,790	0,03	0,07	0,01	0,16	0,20
$\hat{\sigma}_E^2$	50,65	0,42	847,20	15885,00	0,46	0,84	0,43	1,78	2,41
$\hat{\sigma}_F^2$	67,91	0,58	1417,22	16887,00	0,54	0,93	0,45	2,012	2,61
\hat{h}_{mg}^2 (%)	67,99	77,20	91,02	53,50	54,84	62,59	24,75	64,87	62,64
\hat{h}_{ind}^2 (%)	8,67	13,22	32,75	5,41	5,54	7,67	1,58	8,37	7,73
$R_{int.(A*G*R)}^2$ (%)	0	1,96	0	0,51	0	0	2,65	0	0
$R_{int.(A*G)}^2$ (%)	0	0	6,91	0	3,35	1,67	0	2,61	0
$R_{int.(I*G)}^2$ (%)	4,41	2,09	0	0	4,814	0	0	0	0
$R_{int.(I*A*G)}^2$ (%)	12,32	9,47	0,54	0	0,69	0	0	0,14	6,40E ⁻¹⁶
\hat{f}_g^2	82,46	87,86	95,40	73,15	74,05	79,12	49,75	80,54	79,14
CVg (%)	4,32	4,84	14,96	3,88	4,64	4,96	3,96	4,48	3,98
CVe (%)	12,67	11,41	20,21	16,16	18,23	17,06	30,82	14,62	13,75
CVg/CVe	0,341	0,425	0,74	0,24	0,25	0,29	0,12	0,30	0,29
r_{g*gia}	0,341	0,494	0,81	0,91	0,38	0,82	0,37	0,75	0,99
Média Geral	56,15	5,71	143,97	779,63	3,73	5,40	2,15	9,14	11,28

$\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$: Variância da interação adubação x genótipos x repetição; $\hat{\sigma}_{A*G}^2$: Variância da interação adubação x genótipos; $\hat{\sigma}_{I*G}^2$: Variância da interação irrigação x genótipos; $\hat{\sigma}_{I*A*G}^2$: Variância da interação irrigação x adubação x genótipos; $\hat{\sigma}_G^2$: Variância genética; $\hat{\sigma}_E^2$: Variância residual; $\hat{\sigma}_F^2$: Variância fenotípica; \hat{h}_{mg}^2 (%): herdabilidade média dos genótipos; \hat{h}_{ind}^2 (%): herdabilidade individual no sentido amplo; $R_{int.(A*G*R)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(A*G)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(I*G)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(I*A*G)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; \hat{f}_g^2 : Acurácia genética na seleção de genótipos; CVg (%): Coeficiente de variação genético; CVe (%): Coeficiente de variação ambiental; CVg/CVe: Relação CVg/CVe; r_{g*gia} : Correlação genotípica através dos tipos de irrigação e adubação; PEV: variâncias do erro de predição; SEP: Desvio padrão do valor genotípico dos genótipos; Média Geral: Média aritmética da variável avaliada.

Isto pode comprovado pelos pequenos valores das variâncias das interações (Tabela 3). A relação entre coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental (CV_g/CV_e), variou de 0,255 para matéria seca do caule a 0,74 para número de folhas, indicando que a variabilidade genética é proporcionalmente menor que a ambiental. De acordo com Vencovsky (1978), quando esta relação se aproxima de um tem-se maior expectativa de ganho com a seleção das melhores famílias.

As cinco famílias que apresentaram o melhor desempenho quanto à altura de planta (AP) quando não se realizou a adubação foram a 11 (60,23), 12 (57,80), 4 (57,23), 10 (57,04) e 8 (56,89) e a seleção destas proporciona uma expectativa de ganho de 1,70% (Tabela 4). Quando na presença de adubação (Tabela 5), as cinco famílias de melhor desempenho são exatamente as mesmas, ou seja, gerando a mesma expectativa de ganho com a seleção (1,70%), o que reforça que a adubação potássica desempenhou pequeno efeito sobre o desempenho das famílias estudadas.

Tabela 4 – Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para a variável altura de plantas (AP, em cm) avaliada em casa de vegetação, na ausência de adubação potássica.

Classificação	Família	g+ge	u'+g+ge	Ganho (%)	Nova Média
1	11	4,09	60,23	4,09	60,23
2	12	1,66	57,80	2,88	59,02
3	4	1,09	57,23	2,28	58,42
4	10	0,90	57,04	1,94	58,08
5	8	0,74	56,89	1,70	57,84
6	2	0,61	56,75	1,52	57,66
7	14	0,53	56,68	1,38	57,52
8	7	0,30	56,44	1,24	57,38
9	6	-0,15	55,99	1,09	57,23
10	13	-0,58	55,56	0,92	57,06
11	1	-1,34	54,80	0,71	56,86
12	9	-1,88	54,26	0,50	56,64
13	3	-1,90	54,24	0,31	56,46
14	15	-1,98	54,16	0,15	56,29
15	5	-2,10	54,04	0,00	56,14

*u'+g+ge: (Valor Genotípico); Média de cada BLUP+ interação (genótipo adubação).

Tabela 5 – Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para a variável altura de

plantas (AP, em cm) avaliada em casa de vegetação, na presença de adubação potássica.

Classificação	Família	g+ge	u'+g+ge	Ganho (%)	Nova Média
1	11	4,09	60,27	4,09	60,27
2	12	1,66	57,84	2,88	59,05
3	4	1,09	57,27	2,28	58,46
4	10	0,90	57,08	1,94	58,11
5	8	0,74	56,92	1,70	57,88
6	2	0,61	56,79	1,52	57,69
7	14	0,53	56,71	1,38	57,55
8	7	0,30	56,48	1,24	57,42
9	6	-0,15	56,03	1,09	57,26
10	13	-0,58	55,60	0,92	57,10
11	1	-1,34	54,84	0,71	56,89
12	9	-1,88	54,30	0,50	56,68
13	3	-1,90	54,27	0,31	56,49
14	15	-1,98	54,20	0,15	56,33
15	5	-2,10	54,08	0,00	56,18

*u'+g+ge: (Valor Genotípico); Média de cada AMB+BLUP+interação (genótipo x adubação).

Considerando-se os regimes de irrigação, as famílias 11 (53,17), 12 (50,86), 4 (49,96), 2 (49,68) e 7 (48,52) são os cinco de melhor desempenho sob déficit hídrico e a seleção destas proporciona uma expectativa de ganho de 2,75 % (Tabela 6). Sem déficit hídrico as cinco famílias de melhor desempenho foram 11 (72,01), 10 (69,94), 12 (66,68), 8 (66,57) e 14 (65,84) (Tabela 7) e a seleção das mesmas gera uma expectativa de ganho de 3,78%. As famílias 11 e 12 estão presentes nas quatro situações (com e sem adubação potássica e com e sem deficiência hídrica), sendo, portanto de desempenho médio superior aos demais. Isto pode ser comprovado no ordenamento para a média do experimento (Tabela 8) em que as famílias 11 (60,58) e 12 (57,95) são as duas superiores proporcionando uma expectativa de ganho de 2,87%, se somente estas fossem selecionadas. Mesmo com baixa variabilidade genética para essa característica (Tabela 3), quando se realiza a seleção é possível obter ganhos (SILVA et al., 2010).

Tabela 6 – Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para a variável altura de

plantas (AP, em cm) avaliada em casa de vegetação, sob suspensão da irrigação (sob déficit hídrico).

Classificação	Família	g+ge	u'+g+ge	Ganho (%)	Nova Média
1	11	5,48	53,17	5,48	53,17
2	12	3,17	50,86	4,32	52,02
3	4	2,27	49,96	3,64	51,33
4	2	1,98	49,68	3,23	50,92
5	7	0,83	48,52	2,75	50,44
6	6	0,82	48,51	2,42	50,12
7	14	0,47	48,16	2,14	49,84
8	8	0,39	48,09	1,93	49,62
9	1	-0,60	47,09	1,65	49,34
10	15	-1,66	46,04	1,32	49,01
11	13	-2,10	45,59	1,00	48,70
12	9	-2,38	45,31	0,72	48,41
13	10	-2,48	45,21	0,48	48,17
14	5	-3,06	44,63	0,22	47,92
15	3	-3,14	44,56	0,00	47,69

*u'+g+ge: (Valor Genotípico) Média de cada AMB+BLUP+interação (genótipo x irrigação).

Tabela 7 - Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para a variável altura de plantas (AP, em cm) avaliadas em casa de vegetação, sem restrição hídrica.

Classificação	Família	g+ge	u'+g+ge	Ganho (%)	Nova Média
1	11	7,38	72,01	7,38	72,01
2	10	5,32	69,94	6,35	70,98
3	12	2,05	66,68	4,92	69,54
4	8	1,94	66,57	4,17	68,80
5	14	1,22	65,84	3,58	68,21
6	4	1,16	65,79	3,18	67,81
7	13	0,27	64,90	2,76	67,39
8	7	0,12	64,75	2,43	67,06
9	2	-0,07	64,56	2,16	66,78
10	6	-1,29	63,33	1,81	66,44
11	3	-2,85	61,77	1,39	66,01
12	9	-3,53	61,10	0,98	65,60
13	5	-3,55	61,08	0,63	65,26
14	1	-3,62	61,01	0,33	64,95
15	15	-4,56	60,06	0,00	64,63

*u'+g+ge: (Valor Genotípico) Média de cada AMB+BLUP+ interação (genótipo x irrigação).

Tabela 8 - Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para a variável altura de plantas (AP, em cm) avaliada em casa de vegetação (média de todos os tratamentos de irrigação e adubação).

Classificação	Família	g(BLUPS)	u+g+gem	Ganho (%)	Nova Média
1	11	4.0902	60.5835	4.09023	60.2494
2	12	1.6628	57.9578	2.87652	59.0357
3	4	1.0927	57.3412	2.28193	58.4411
4	10	0.9027	57.1356	1.93713	58.0963
5	8	0.7433	56.9633	1.69837	57.8576
6	2	0.6085	56.8174	1.51672	57.6759
7	14	0.5349	56.7378	1.37647	57.5357
8	7	0.3020	56.4859	1.24216	57.4014
9	6	-0.1516	55.9952	1.08729	57.2465
10	13	-0,5807	55,5311	0,92050	57,0797
11	1	-1,3408	54,7089	0,71492	56,8741
12	9	-1.8802	54.1254	0.49866	56.6579
13	3	-1.9047	54.0989	0.31378	56.4730
14	15	-1.9783	54.0193	0.15006	56.3093
15	5	-2.1009	53.8867	0.00000	56.1592

As famílias elencadas como superiores para massa de matéria seca total são: 14 (11,99), 11 (11,75), 2 (11,63), 12 (11,50) e 7 (11,46) e o ganho com a seleção destas é de 0,38% (Tabela 9). Observe que as famílias 11 e 12 também estão entre as cinco mais produtivas. O ganho com a seleção (Tabela 10) das cinco melhores famílias para o número de folhas (NF) é de 20,74%, e as famílias superiores são 3 (193,12), 8 (163,99), 9 (162,85), 6 (156,87) e o 4 (148,35).

Os valores genotípicos médios para as características de crescimento somente tiveram diferenças significativas para diâmetro do coleto (DC) com o genótipo 10 (6,26 mm) apresentando o maior diâmetro e para matéria seca da parte aérea (MSPA) o genótipo 14 (9,83 g). Para área foliar (AF), matéria seca de folha (MSF), matéria seca de caule (MSC) e matéria seca de raiz (MSR) os genótipos de melhor desempenho foram, respectivamente, o 7 (812,75 cm²), 14 (5,77 g), 14 (3,96 g) e 11 (2,23 g). O genótipo 14 foi o melhor nas características MSPA, MSC e MSF (Tabela 11).

As características de crescimento foram responsivas a irrigação, apresentando diferenças significativas para todas (Tabela 12), com maiores valores nas plantas

cultivadas sem déficit hídrico, fato este que pode ser confirmado, por exemplo, ao analisar a altura de plantas (AP) irrigadas e não irrigadas (Tabelas 6 e 7). Para a adubação foi observada diferença significativa somente sobre a área foliar (AF) e massa de matéria seca de folhas (MSF) o que demonstra menor resposta a adubação potássica nesta fase de desenvolvimento, o que corrobora as informações de Barros, Novais e Neves (1990) de que o eucalipto, em geral, tem baixa resposta a adubação potássica na fase inicial de crescimento, aumentando sua exigência com o avanço da idade das plantas. Mendes et al. (2013) também verificaram ausência de resposta de clones de eucalipto à adubação potássica em experimentos conduzidos em vasos. Sá (2012), também, observou resultados semelhantes para plantas de *Corymbia citriodora* submetidas a diferentes doses de K e níveis de umidade do solo.

Tabela 9 - Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para a matéria seca total (MST, em g) avaliada em casa de vegetação (média de todos os tratamentos de irrigação e adubação).

Classificação	Família	g (BLUPS)	u+g+gem	Ganho (%)	Nova Média
1	14	0.7015	11.9905	0.70150	11.9905
2	11	0.4632	11,7522	0,58233	11,8713
3	2	0.3445	11.6335	0.50305	11.7920
4	12	0.2208	11.5098	0.43248	11.7215
5	7	0,1741	11,4631	0,38080	11,6698
6	4	0.1143	11.4033	0.33638	11.6254
7	13	0,1043	11,3933	0,30322	11,5922
8	1	-0.03009	11.2589	0.26156	11.5506
9	6	-0.1021	11.1869	0.22115	11.5102
10	15	-0.1500	11.1390	0.18403	11.4730
11	3	-0.1842	11.1048	0.15056	11.4396
12	8	-0,2189	11,0701	0,11977	11,4088
13	9	-0,3451	10,9439	0,08401	11,3730
14	5	-0,4663	10,8227	0,04470	11,3337
15	10	-0,6258	10,6632	0,00000	11,2890

Tabela 10 - Classificação das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* por seus valores genotípicos e ganhos preditos para o número de folhas (NF) avaliada em casa de vegetação (média de todos os tratamentos de irrigação e adubação).

Classificação	Família	g (BLUPS)	u+g+gem	Ganho (%)	Nova Média
1	3	48,4012	193,127	48,4012	192,371
2	8	19,7180	163,996	34,0596	178,030
3	9	18,5940	162,854	28,9044	172,874
4	6	12,7033	156,872	24,8541	168,824
5	4	4,3148	148,352	20,7463	164,716
6	2	2,9619	146,978	17,7822	161,752
7	11	2,3166	146,323	15,5728	159,543
8	5	-1,0971	142,856	13,4891	157,459
9	1	-3,5533	140,361	11,5955	155,565
10	15	-9,5480	134,273	9,4811	153,451
11	13	-10,3182	133,491	7,6812	151,651
12	7	-12,2415	131,537	6,0210	149,991
13	10	-19,9556	123,703	4,0228	147,993
14	12	-23,6399	119,961	2,0469	146,017
15	14	-28,6563	114,866	0,0000	143,970

Tabela 11 - Valores genotípicos (u+g+gem) das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* avaliadas em casa de vegetação para a área foliar (AF, em cm²), diâmetro do coleto (DC, em mm), matéria seca da parte aérea (MSPA em g), matéria seca do caule (MSC, em g), matéria seca da folha (MSF, em g) e matéria seca de raiz (PSR, em g). (Média de todos os tratamentos de irrigação e adubação)

Família	AF	DC	MSPA	MSC	MSF	MSR
1	799,37	5,57	9,02	3,62	5,45	2,19
2	780,78	5,62	9,39	3,72	5,67	2,19
3	765,63	5,44	9,03	3,73	5,30	2,12
4	789,48	5,74	9,32	3,90	5,34	2,12
5	756,48	5,57	8,74	3,65	5,13	2,13
6	757,09	5,68	8,98	3,62	5,40	2,18
7	812,75	5,58	9,19	3,76	5,42	2,20
8	785,23	5,65	9,01	3,73	5,29	2,11
9	756,13	5,51	8,71	3,56	5,22	2,19
10	747,42	6,26 ¹	8,59	3,66	4,97	2,13
11	752,58	5,55	9,40	3,93	5,39	2,23
12	782,95	6,03	9,35	3,78	5,54	2,15
13	809,93	5,83	9,36	3,77	5,57	2,10
14	804,64	6,06	9,83 ¹	3,96	5,77	2,14
15	794,00	5,62	9,20	3,66	5,56	2,06

¹: BLUP significativamente diferente de zero pelo teste t p<0,05.

Tabela 12 - Teste t para a altura de planta (AP, em cm), diâmetro do coleto (DC, em mm), número de folhas (NF), área foliar (AF, em cm²) e para massas de matéria seca (em g) do caule (MSC), de folhas (MSF), de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) avaliados em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em casa de vegetação, submetidas ou não a adubação potássica e a dois regimes de irrigação (sem – sob déficit hídrico; com – com irrigação sem restrição hídrica).

Irrigação	AP	DC	NF	AF	MSC	MSF	MSR	MSPA	MST
Sem	47,69b	4,68b	130,56b	564,06b	2,27b	3,42b	1,02b	5,70b	6,71b
Com	64,63a	6,75a	157,38a	995,21a	5,20a	7,38a	3,28 ^a	12,59a	15,87a
Adubação									
Sem	56,14a	5,71a	145,17a	747,01b	3,82a	5,20b	2,09 ^a	9,02a	11,11a
Com	56,18a	5,72a	142,77a	812,26a	3,66a	5,60a	2,21 ^a	9,26a	11,47a

* médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t p≤0,05

Parâmetros fisiológicos

Para os caracteres fisiológicos, houve baixa variabilidade genética entre as famílias e efeitos não significativos da adubação. À exceção da eficiência da carboxilação (E_iC), os demais caracteres foram influenciados apenas pela irrigação (Tabela 13). A interação entre irrigação x adubação foi significativa apenas sobre a condutância estomática (*g*_s). As variâncias das características fisiológicas apresentam valores semelhantes, respeitando a magnitude das variáveis (Tabela 14).

A variância da interação adubação x genótipos x repetição ($\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$) e a variância da interação irrigação x genótipos ($\hat{\sigma}_{i*G}^2$) indicam que não ocorreram grandes variações nas médias dos genótipos quando consideradas as combinações de irrigação com adubação (Tabela 14). Os coeficientes de variação foram muito altos, com exceção da concentração interna de CO₂ (C_i) que apresentou um coeficiente de variação médio (PIMENTEL-GOMES, 2009). O coeficiente de determinação da interação adubação x genótipo x repetição ($R_{int.(A*G*R)}^2(\%)$) revela a existência de pouca diferença entre genótipos perante a utilização da adubação potássica para as características fisiológicas. Também o coeficiente de determinação da interação irrigação x adubação ($R_{int.(i*G)}^2(\%)$) e o coeficiente de determinação da interação irrigação x adubação x genótipo ($R_{int.(i*A*G)}^2(\%)$) apresentam uma pequena variação perante os regimes de adubação e irrigação.

Quanto à resposta nas variáveis fisiológicas frente aos regimes de irrigação (Tabela 15), verifica-se que não ocorreu efeito significativo destes apenas para eficiência da carboxilação (E_iC), o que reforça a grande dependência dos processos fisiológicos pela água (TAIZ; ZEIGER, 2013). Quando se avalia os caracteres fisiológicos perante a adubação potássica não houve efeito significativo, o que é corroborado pela baixa variabilidade genética apresentada pelas famílias (Tabela 14) e as exigências por este nutriente na fase inicial de crescimento do eucalipto.

Tabela 13 - Análise de deviance (ANADEV) para os efeitos aleatórios e análise de variância (ANOVA) para os efeitos fixos da concentração interna de CO₂ (*C_i*, em μmol CO₂ mol⁻¹), transpiração (*E*, em mmol H₂O m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*g_s*, em mol H₂O m⁻² s⁻¹), taxa de fotossíntese líquida (*A*, em μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), eficiência instantânea no uso da água (EUA = *A/E*), eficiência intrínseca do uso da água (EUA_{*i*} = *A/g_s*), eficiência instantânea de carboxilação (E_{*i*}C = *A/C_i*) em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* (Genótipos), submetidas ou não a adubação potássica (Adubação) sob dois regimes de irrigação (Irrigação) em casa de vegetação.

Fonte de Variação ⁽¹⁾	LRT: Teste da razão da verossimilhança para efeitos aleatórios ⁽²⁾						
	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>G_s</i>	<i>A</i>	EUA	EUA _{<i>i</i>}	E _{<i>i</i>} C
Genótipos (G)	7,73E ⁻¹² ns	7,96E ⁻¹² ns	4,55E ⁻¹³ ns	4,55E ⁻¹³ ns	2,62E ⁻⁰⁸ ns	8,64E ⁻¹² ns	9,09E ⁻¹³ ns
A x G	7,73E ⁻¹² ns	7,96E ⁻¹² ns	4,55E ⁻¹³ ns	4,55E ⁻¹³ ns	3,96E ⁻⁰⁷ ns	4,52E ⁻¹⁰ ns	9,09E ⁻¹³ ns
Erro a	7,73E ⁻¹²	7,96E ⁻¹²	4,55E ⁻¹³	4,55E ⁻¹³	0,34	0,146331	9,09E ⁻¹³
I x A x G	6,71E ⁻⁰⁷ ns	7,96E ⁻¹² ns	4,55E ⁻¹³ ns	4,55E ⁻¹³ ns	2,10E ⁻⁰⁷ ns	0,008873 ns	9,09E ⁻¹³ ns
I x G	0,001569 ns	7,96E ⁻¹² ns	4,55E ⁻¹³ ns	4,55E ⁻¹³ ns	0,76 ns	0,056002 ns	0,001455 ns
Erro b	1546,17	1,38	0,02	5,91	2,87	917,88	0,0001
Fonte de Variação	QM: Quadrados Médios para efeitos fixos ⁽²⁾						
	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>G_s</i>	<i>A</i>	EUA	EUA _{<i>i</i>}	E _{<i>i</i>} C
Rep	17605***	0,46	0,14***	71,95***	6,46	367,04	0,0006***
Adubação (A)	72,63 ns	0,22 ns	0,01 ns	5,13 ns	7,56 ns	230,4 ns	0,0001 ns
Irrigação (I)	565234***	548,37***	4***	458,69***	256,46***	150717***	0,0002 ns
I x A	996,99 ns	1,26 ns	0,03*	0,22 ns	3,8 ns	376,61 ns	7,71E-08 ns

⁽¹⁾: A: Adubação, I: Irrigação, G: Genótipos e R: Repetições. ⁽²⁾: ***: Significativo a P≤0,0001, **: Significativo a P≤0,01, *: Significativo a P≤0,05. ns – não significativo a 5%

Tabela 14 - Parâmetros genéticos relativos a concentração interna de CO₂ (C_i , em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), transpiração (E , em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de fotossíntese líquida (A , em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência instantânea no uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência intrínseca do uso da água ($\text{EUA}_i = A/g_s$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{E}_i\text{C} = A/C_i$) em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, submetidas ou não a adubação potássica sob dois regimes de irrigação em casa de vegetação.

Parâmetros Genéticos	C_i	E	G_s	A	EUA	EUA_i	E_iC
$\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$	0	0	0	0	0,08	16,52	0
$\hat{\sigma}_{I*G}^2$	1,3975	0	0	0	0,08	7,59	$7,81\text{E}^{-08}$
$\hat{\sigma}_E^2$	1546,17	1,38	0,02	5,91	2,87	917,88	0,0001
$\hat{\sigma}_F^2$	1547,57	1,38	0,02	5,91	3,03	946,22	0,0001
$R_{int.(A*G*R)}^2(\%)$	0	0	0	0	2,60	1,75	0
$R_{int.(I*G)}^2(\%)$	0,09	0	0	0	2,65	0,80	0,0870
$R_{int.(I*A*G)}^2(\%)$	0	0	0	0	0	0,447	0
CVe (%)	14,50	37,98	56,58	41,09	68,01	66,45	43,01
Média Geral	271,25	3,10	0,22	5,92	2,49	45,60	0,0220

$\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$: Variância da interação adubação x genótipos x repetição; $\hat{\sigma}_{I*G}^2$: Variância da interação irrigação x genótipos; $\hat{\sigma}_E^2$: Variância residual; $\hat{\sigma}_F^2$: Variância fenotípica; $R_{int.(A*G*R)}^2(\%)$: Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(I*G)}^2(\%)$: Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(I*A*G)}^2(\%)$: Coeficiente de determinação da interação; CVe (%): Coeficiente de variação ambiental; Média Geral: Média aritmética da variável avaliada.

Tabela 15 - Teste t para os caracteres concentração interna de CO₂ (C_i , em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), transpiração (E , em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de fotossíntese líquida (A , em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência instantânea no uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência intrínseca do uso da água ($\text{EUA}_i = A/g_s$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{E}_i\text{C} = A/C_i$), avaliados em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em casa de vegetação, submetidas ou não a adubação potássica e a dois regimes de irrigação (sem – sob déficit hídrico; com – com irrigação sem restrição hídrica).

Irrigação	C_i	E	G_s	A	$\text{EUA} (A/E)$	$\text{EUA}_i (A/g_s)$	$\text{E}_i\text{C} (A/C_i)$
Sem	231,52b	1,86b	0,11b	4,79b	3,34a	66,03a	0,021a
Com	310,95a	4,34a	0,32 ^a	7,06a	1,65b	25,01b	0,023a
Adubação							
Sem	271,68a	3,07a	0,21 ^a	5,81a	2,35a	46,32a	0,022a
Com	270,78a	3,12a	0,22 ^a	6,04a	2,64 ^a	44,72a	0,023a

* médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t $p \leq 0,05$.

Características Nutricionais

As famílias de *E. grandis* não se diferenciaram quanto aos teores de nutrientes nas folhas e nas raízes; a adubação proporcionou diferenças significativas apenas sobre a concentração de potássio (K) nas folhas e nas raízes. Por outro lado, os regimes de irrigação somente não tiveram influência sobre o teor de magnésio (Mg) nas raízes (Tabela 16).

As estimativas das variâncias genéticas foram semelhantes e de baixa magnitude, o que indica que o controle genético sobre as mesmas é baixo. A herdabilidade individual ($\hat{h}_{ind.(\%)}^2$) apresentou estimativas de baixa magnitude assim como observado para as estimativas de herdabilidade média dos genótipos ($\hat{h}_{mg(\%)}^2$), exceto para o concentração de potássio na folha e teores de Ca e Mg nas raízes (Tabela 17), o que também evidencia a baixa variabilidade genética entre as famílias para este caracteres. Os coeficientes de variação genéticos (CVg) foram baixos e os coeficientes de variação ambiental (CVe) variaram de baixos a médios (PIMENTEL-GOMES, 2009). A acurácia na seleção de genótipos (\hat{r}_g^2) também é baixa, indicando que o sucesso com a seleção para estas características fica comprometido (ALMEIDA FILHO et al., 2014).

A concentração dos nutrientes foi maior nas folhas do que nas raízes, exceto para o potássio (K). Esta maior concentração dos nutrientes nas folhas pode ser devido ao tecido ser fotossinteticamente ativo (GONÇALVES; PASSOS, 2000), sendo que a concentração dos nutrientes nos genótipos não apresentou diferença significativa (Tabela 18).

Tabela 16 - Análise de deviance (ANADEV) para os efeitos aleatórios e análise de variância (ANAVA) para os efeitos fixos dos teores (g kg⁻¹) de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na massa de matéria seca da parte aérea e de raízes em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* (Genótipos), submetidas ou não a adubação potássica (Adubação) sob dois regimes de irrigação (Irrigação) em casa de vegetação.

Fonte de Variação ⁽¹⁾	LRT: Teste da razão da verossimilhança para efeitos aleatórios ⁽²⁾							
	Parte Aérea				Raízes			
	N	K	Ca	Mg	N	K	Ca	Mg
Genótipos (G)	6,25E ⁻⁰⁸ ns	1,250232 ^{ns}	0,1854 ns	6,96E ⁻⁰⁹ ns	0,7677 ns	3,98E ⁻¹³ ns	3,5914 ns	1,8573 ns
A x G	0,06632 ns	0,005147 ns	6,56E ⁻⁰⁸ ns	0,4591 ns	6,35E ⁻⁰⁷ ns	3,98E ⁻¹³ ns	2,24E ⁻⁰⁷ ns	0,0705 ns
Erro a	9,68E ⁻⁰⁷	6,1E ⁻⁰⁸	2,36E ⁻⁰⁷	6,35E ⁻⁰⁹	0,0853	0,003	0,308	0,2192
I x A x G	0,001451 ns	7,79E ⁻¹¹ ns	6,56E ⁻⁰⁸ ns	5,02E ⁻⁰⁹ ns	4,59E ⁻¹⁰ ns	3,98E ⁻¹³ ns	1,9846 ns	3E ⁻¹¹ ns
I x G	1,829608 ^{ns}	2,96E ⁻¹² ns	6,55E ⁻⁰⁸ ns	0,4564 ^{ns}	4,62E ⁻¹⁰ ns	3,98E ⁻¹³ ns	2,24E ⁻⁰⁷ ns	0,0346 ns
Erro b	2,9858	2,171	1,2249	0,0922	0,9026	3,9701	0,4569	0,0561
	QM: Quadrados Médios para efeitos fixos ⁽²⁾							
Rep	1,1252 ns	0,6206 ns	20,4023 *	0,077 ns	5,0062 *	105,7314 **	0,1562 ns	0,0126 ns
Adubação (A)	2,8644 ns	345,611 **	0,0247 ns	0,0163 ns	0,8721 ns	503,9721 **	0,1449 ns	0,1928 ns
Irrigação (I)	809,433 **	40,171 **	36,3 ***	4,0333 **	53,0271 **	52,3777 ***	13,6755 *	0,0122 ns
I x A	6,1563 ns	2,2168 ns	0,3435 ns	0,1498 ns	0,3214 ns	13,0153 ns	0,6977 ns	6,75E ⁻⁰⁵ ns

(1): A: Adubação, I: Irrigação, G: Genótipos e R: Repetições. (2)***: Significativo a P≤0,0001, **: Significativo a P≤0,01, *: Significativo a P≤0,05. ns – não significativo a 5%.

Tabela 17 - Parâmetros genéticos relativos a concentração (g kg⁻¹) de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na massa de matéria seca da parte aérea de 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, submetida a adubação potássica sob dois regimes de irrigação em casa de vegetação.

Parâmetro Genético	Parte Aérea				Raízes			
	N	K	Ca	Mg	N raiz	K raiz	Ca raiz	Mg raiz
$\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$	0	0	0	0	0,039	0,028	0,046	0,005
$\hat{\sigma}_G^2$	0	0,237	0,031	0	0,057	0	0,171	0,012
$\hat{\sigma}_{A*G}^2$	0,097	0,016	0	0,007	0	0	0	0,002
$\hat{\sigma}_{I*G}^2$	0,625	0	0	0,006	0	0	0	0,001
$\hat{\sigma}_{I*A*G}^2$	0,023	0	0	0	0	0	0,140	0
V _E	2,986	2,171	1,225	0,092	0,903	3,970	0,457	0,056
V _F	3,732	2,424	1,256	0,105	0,999	3,999	0,813	0,076
\hat{h}_{mg}^2 (%)	0	46,547	16,638	0	33,412	0	73,906	62,070
\hat{h}_{ind}^2 (%)	0	9,769	2,434	0	5,702	0	20,968	15,515
$R_{int.(A*G*R)}^2$ (%)	0	0	0	0	3,909	0,711	5,692	6,302
$R_{int.(A*G)}^2$ (%)	2,611	0,666	0	6,337	0	0	0	2,790
$R_{int.(I*G)}^2$ (%)	16,755	0	0	5,437	0	0	0	1,542
$R_{int.(I*G*G)}^2$ (%)	0,619	0	0	0	0	0	17,161	0
\hat{r}_g^2	0	68,226	40,790	0	57,803	0	85,969	78,784
CVg (%)	0	5,747	2,639	0	4,103	0	7,405	8,324
CVe (%)	17,544	17,402	16,710	17,997	16,337	21,430	12,120	18,162
CVg/Cve	0	0,330	0,158	0	0,251	0	0,611	0,458
r_{gxgia}	0	0,936	0,999	0	0,593	0	0,479	0,593
Média Geral	9,849	8,467	6,624	1,687	5,815	9,298	5,577	1,304

$\hat{\sigma}_{A*G*R}^2$: Variância da interação adubação x genótipos x repetição; $\hat{\sigma}_G^2$: Variância genética; $\hat{\sigma}_{A*G}^2$: Variância da interação adubação x genótipos; $\hat{\sigma}_{I*G}^2$: Variância da interação irrigação x genótipos; $\hat{\sigma}_{I*A*G}^2$: Variância da interação irrigação x adubação x genótipos; V_E: Variância residual; V_F: Variância fenotípica; \hat{h}_{mg}^2 (%): herdabilidade média dos genótipos; \hat{h}_{ind}^2 (%): herdabilidade individual no sentido amplo; $R_{int.(A*G*R)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(A*G)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(I*G)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; $R_{int.(I*G*G)}^2$ (%): Coeficiente de determinação da interação; \hat{r}_g^2 : Acurácia genética na seleção de genótipos; CVg (%): Coeficiente de variação genético; CVe (%): Coeficiente de variação ambiental; CVg/Cve: Relação CVg/Cve; r_{gxgia} : Correlação genotípica através dos tipos de irrigação e adubação; PEV: variâncias do erro de predição; SEP: Desvio padrão do valor genotípico dos genótipos; Média Geral: Média aritmética da variável avaliada.

Tabela 18 - Valores genotípicos (u+g+gem) das famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* para as concentrações de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na massa de matéria seca da parte aérea e de raízes, avaliados em casa de vegetação. (Média de todos os tratamentos de irrigação e adubação).

Família	N	K	Ca	Mg	N	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
	Parte Aérea				Raízes			
1	9,811	8,786	6,611	1,706	5,840	9,293	5,414	1,349
2	9,819	8,397	6,620	1,687	5,990	9,301	5,660	1,324
3	9,784	8,649	6,713	1,683	5,748	9,298	5,511	1,387
4	9,877	8,297	6,578	1,679	5,800	9,298	5,610	1,251
5	9,975	8,397	6,710	1,695	5,802	9,291	6,013	1,416
6	9,949	8,838	6,678	1,698	5,940	9,305	5,725	1,323
7	9,883	8,362	6,670	1,702	5,785	9,297	5,513	1,310
8	10,052	8,267	6,664	1,698	5,923	9,294	6,054	1,428
9	9,906	8,248	6,696	1,680	5,871	9,303	5,668	1,371
10	9,628	8,136	6,522	1,665	5,501	9,293	4,849	1,232
11	9,765	7,664	6,606	1,683	5,794	9,296	5,563	1,344
12	9,776	8,565	6,485	1,686	5,543	9,296	5,080	1,187
13	9,888	8,905	6,641	1,683	5,740	9,299	5,989	1,281
14	9,773	8,632	6,518	1,680	5,950	9,300	5,190	1,114
15	9,853	8,859	6,641	1,685	6,000	9,303	5,818	1,242

A irrigação influenciou a concentração dos nutrientes, tanto nas folhas quanto nas raízes, sendo os maiores teores observados nas plantas sob déficit hídrico (Tabela 19), o que está de acordo com o observado por Gonçalves e Passos (2000) e pode ser atribuído ao menor crescimento das plantas nesta condição, ao passo que na ausência de déficit hídrico, as plantas por apresentarem maior crescimento, os nutrientes absorvidos são diluídos na biomassa produzida. A adubação potássica afetou apenas a concentração de potássio, tanto nas folhas quanto nas raízes, não apresentando efeito sobre os demais nutrientes. Isto se deve ao fato de que este elemento apresenta uma resposta quadrática, que é uma resposta positiva ao aumento de sua concentração no solo até certo ponto, logo após esta concentração ocorre uma redução na produtividade (PRADO et al., 2004).

Tabela 19 - Teste t para os teores (g kg⁻¹) de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na massa de matéria seca da parte aérea avaliados em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação, submetidas ou não a adubação potássica e a dois regimes de irrigação (sem – sob déficit hídrico; com – com irrigação sem restrição hídrica).

Irrigação	Parte aérea				Raízes			
	N	K	Ca	Mg	N	K	Ca	Mg
Sem	12,45a	9,05a	7,17a	1,87a	6,48a	9,96a	5,91a	1,31a
Com	7,25b	7,89b	6,07b	1,50b	5,15b	8,64b	5,24b	1,29b
Adubação								
Sem	9,69a	6,77b	6,64a	1,68a	5,90a	7,25b	5,61a	1,26a
Com	10,00a	10,16a	6,61a	1,70a	5,73a	11,35a	5,54a	1,34a

* médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t p≤0,05.

A análise da eficiência de absorção, translocação e uso dos nutrientes permitiu a separação das famílias de polinização aberta apenas quanto aos regimes hídricos. Na interpretação dos autovalores significativos na técnica dos componentes principais (Tabela 20; Figura 1) e considerando-se o recomendado por Kaiser (1958), de que os autovalores significativos são aqueles maiores que a unidade, observa-se que apenas dois autovalores maiores representam satisfatoriamente a variabilidade dos dados das características acima. Pela Figura 1 observa-se que para o CP1 todas as variáveis apresentam importâncias semelhantes uma vez que as magnitudes dos autovetores foram próximas, o que também é observado em CP2. As variáveis EUN, EUMg e EUCa estão mais relacionadas com o componente principal 2 (CP2).

Tabela 20 - Importância dos componentes principais através dos autovalores, proporção da variância explicada e proporção acumulada da variância explicada, com base em 12 caracteres relacionados à eficiência de absorção, de transporte (ou translocação) e de utilização de N, K, Ca e Mg em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, submetidas ou não a adubação potássica sob dois regimes de irrigação em casa de vegetação.

Componente Principal	Autovalores	Proporção da variância	Proporção acumulada
CP1	9,53	0,79	0,79
CP2	1,29	0,10	0,90
CP3	0,38	0,03	0,93
CP4	0,25	0,02	0,95
CP5	0,14	0,01	0,96
CP6	0,11	0,00	0,97
CP7	0,08	0,00	0,98
CP8	0,07	0,00	0,99
CP9	0,05	0,00	0,99
CP10	0,03	0,00	0,99
CP11	0,01	0,00	0,99
CP12	0,00	0,00	1,00

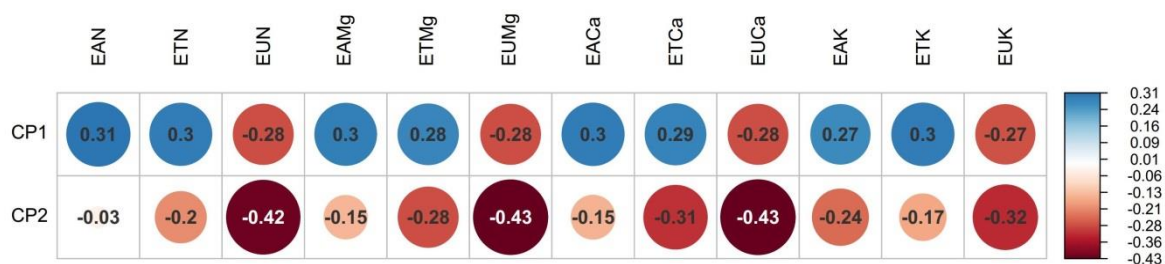


Figura 1 - Autovetores associados aos dois primeiros componentes principais obtidos a partir da avaliação de 12 caracteres relacionados à eficiência de absorção, de transporte (ou translocação) e de utilização de N, K, Ca e Mg em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, submetidas ou não a adubação potássica sob dois regimes de irrigação em casa de vegetação. Ordem das variáveis de maior peso nos autovetores até autovalores maior que 1,0 (CP1 e CP2): eficiência de transporte do potássio (ETK, CP12); eficiência na utilização do potássio (EUK, CP11); eficiência utilização do magnésio (EUMg, CP10); eficiência de absorção do potássio (EAK, CP9); eficiência de absorção do magnésio (EAMg, CP8); eficiência no transporte do Magnésio (ETMg, CP7); eficiência do transporte do nitrogênio (ETN, CP6); eficiência de utilização de cálcio (EUCa, CP5); eficiência de transporte do cálcio (ETCa, CP4) e eficiência da absorção no nitrogênio (EAN, CP3).

Com base na dispersão gráfica das 15 famílias de polinização aberta de *E. grandis*, em relação às características de eficiência nutricional (Figura 2), considerando-se as quatro condições de cultivo, resultantes da combinação da presença ou não de adubação com K e com e sem restrição hídrica, percebe-se a formação de dois grupos distintos que apresentam correlação positiva dentro de cada grupo. O primeiro grupo contém a eficiência da translocação de potássio (ETK), eficiência de absorção de potássio (EAK), eficiência de transporte de cálcio (ETCa), eficiência de transporte de magnésio (ETMg), eficiência de transporte de nitrogênio (ETN), eficiência de absorção de magnésio (EAMg). Já outro segundo grupo que possui suas setas posicionadas em outro quadrante, indica que não existe uma relação entre estes grupos sendo este formado pela eficiência na utilização de nitrogênio (EUN), eficiência na utilização de magnésio (EUMg), eficiência na utilização de cálcio (EUCa) e eficiência na utilização de potássio (EUK). Desta forma as famílias são reunidas em um grupo que apresenta maior eficiência de absorção e transporte dos nutrientes (famílias 5, 3, 13, 6 e 15) e outro com melhor capacidade de absorção dos nutrientes (famílias 14, 7, 3, 12, 10, e 4).

Quando as famílias são submetidas ao estresse hídrico os fatores de maior importância são as eficiências de absorção e de transporte dos nutrientes, independentemente da adução potássica. Sob boa disponibilidade hídrica, a eficiência de utilização é mais importante para explicar o desempenho das famílias.

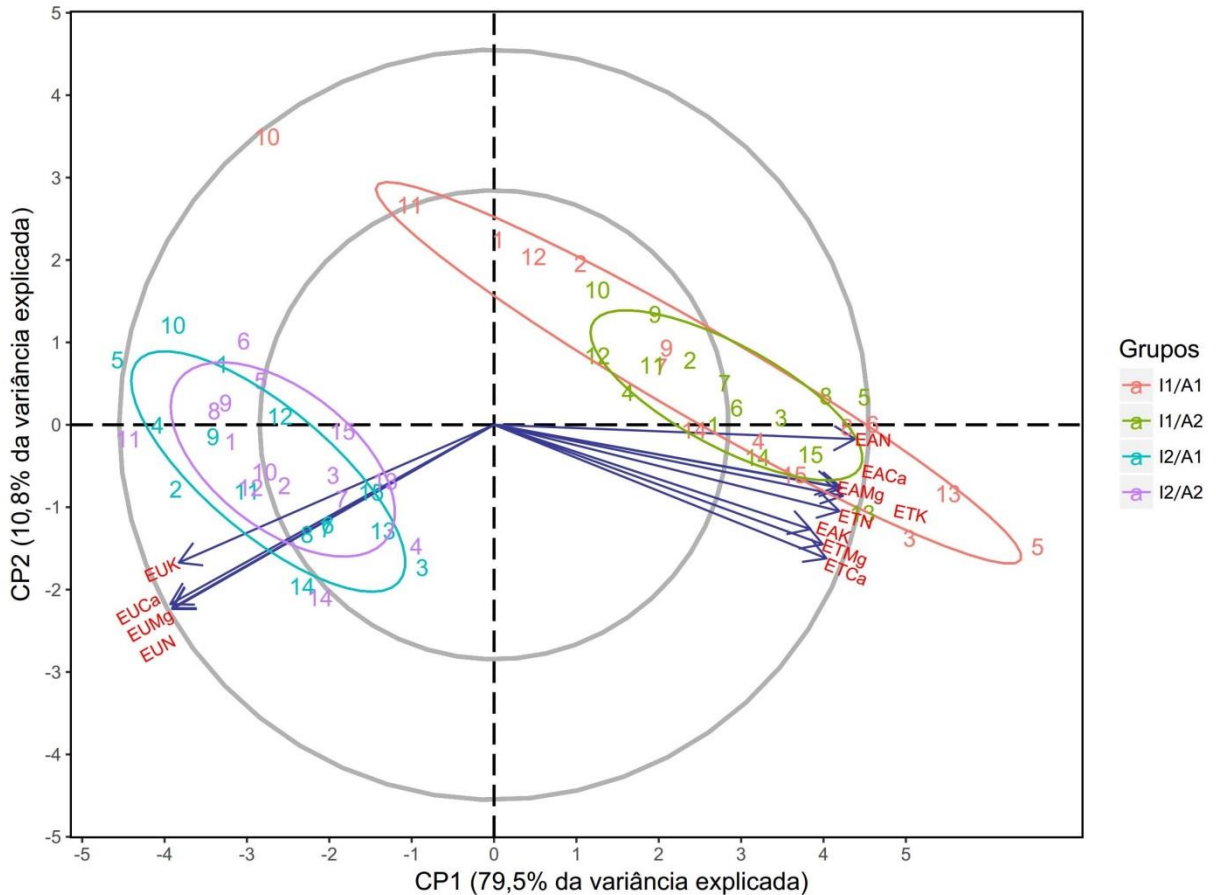


Figura 2. Gráfico Biplot do componente Principal 1 x Componente Principal 2, para as características eficiência da absorção (EA), transporte (ET) e de utilização (EU) de nitrogênio (N - EAN, ETN, EUN), magnésio (Mg – EAMg, ETMg, EUMg), cálcio (Ca – EACa, ETCa, EUCa) e potássio (K – EAK, ETK, EUK), avaliadas em 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* (1, 2, ... ,15), submetidas (A1) ou não a adubação potássica (A2) e cultivadas com (I1) e sem (I2) restrição hídrica, em casa de vegetação.

Conclusão

Há variabilidade genética entre as famílias de polinização aberta de *E. grandis* possibilitando expectativa de sucesso na seleção das famílias superiores para as características de crescimento.

Para as características nutricionais e fisiológicas, a baixa variabilidade genética entre as famílias de polinização aberta de *E. grandis* dificulta o sucesso na seleção, apesar de ser possível, ainda, obter ganhos com a seleção das melhores famílias.

A adubação potássica não afetou o desempenho das famílias de polinização aberta de *E. grandis*.

O desempenho das famílias de polinização aberta de *E. grandis* foi comprometido pelos regimes de irrigação, sendo as mesmas, em geral, sensíveis ao déficit hídrico.

Sob deficiência hídrica as eficiências de absorção e de translocação de nutrientes são mais importantes para o desempenho das famílias, ao passo que sob boa disponibilidade hídrica a eficiência de utilização dos nutrientes passa a ser mais importante.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA FILHO, J. E. D.; TARDIN, F. D.; RESENDE, M. D. V. D.; GRANATO, Í. S. C.; MENEZES, C. B. D. Genetic evaluation of grain sorghum hybrids in Brazilian environments using the REML/BLUP procedure. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 146-150, 2014.

BARROS, N. D.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. Tópicos em ciência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, p. 487-592, 2002.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Relação solo-eucalipto. In: BARROS, N. D.; NOVAIS, R. D. **Viçosa: Folha de Viçosa**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 231-255.

DECHEN, A.; NACHTIGALL, G. R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas. Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, p. 91-132, 2007.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Copyright, 2007. p. 573-780. ISBN 978-85-86504-08-2.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. D. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3. ed. Maceió, AL: Edufal, 2000. p. 442.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. V.; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.; FURLANI, A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC Campinas, Brazil, 1997. p. 247-259.

GONÇALVES, M. R.; PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, Brasília, Bv. 10, n. 2, p. 145-161, 2000. Disponível em: < URI: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/12127> >.

GUERRA, C. R. S. B.; DE MORAES, M. L. T.; DA SILVA, C. L. S. P.; DE OLIVEIRA CANUTO, D. S.; DA COSTA ANDRADE, J. A.; FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, E. Estratégias de seleção dentro de progênies em duas populações de *myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, Piracicaba, p. 79-87, 2009.

IBA. **Relatorio IBÁ 2016**. Brasília Industria Brasileira de Árvores 2016. 6-15 p.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KENWARD, M. G.; ROGER, J. H. Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. **Biometrics**, Washington v. 53, p. 983-997, 1997. Disponível em: < <http://people.umass.edu/bioep740/topics/biometrics-1997-kenward-small.pdf> >. Acesso em: 29 dez. 2016.

LEITE, N. B. Avanços da silvicultura brasileira são significativos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 120, 2005.

LI, B.; MCKEAND, S.; ALLEN, H. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Maryland, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo Agronômica Ceres, 2006. p.

MARENCO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MENDES, H. S. J.; DE PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; DE PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 603-611, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400010> >.

MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 3, p. 117-128, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Curso de estatística experimental. Piracicaba FEALQ, 2009. 21-22 p.

PRADO, R. D. M.; BRAGHIROLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. D. M.; ALMEIDA, E. D. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 295-299, 2004.

PUPIN, S., ARIELEN VIRGÍNEA DE ARAÚJO; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; DA SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 1-7, 2015.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. **Vienna**, Austria, 2016. Disponível em: < <http://www.R-project.org/>. >. Acesso em: 17 out. 2016.

RAMALHO, M.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 365-456 p.

RESENDE, M. D. Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 479-500, 1995.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 65 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 100).

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, Goiania, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JÚNIOR, M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Oslo, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, 2010.

SÁ, A. F. L. **Crescimento de plantas de *Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson sob diferentes doses de potássio e níveis de umidade do solo.** 2012. 50 f. -Faculdade Estadual Paulista Mestrado em Agronomia - Produção vegetal), Jaboticaval 2012.

SAMPAIO, P. D. T.; RESENDE, M. D.; ARAUJO, A. D. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2243-22253, 2000.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT®**. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2011. 8640 p.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, R.; MIRANDA, G.; CRUZ, C.; GALVÃO, J. C.; SILVA, D. Estimativas de parâmetros genéticos da produção de grãos das populações de milho UFVM 100 e ufvm 200, submetidas a déficit hídrico das populações de milho UFVM 100 e UFVM 200, submetidas a déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2010.

SILVA, W. D.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A. D.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.

FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, Goiania, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

STAPE, J. L. Modelos ecofisiológicos têm aplicação ampliada. **Visão Agrícola, USP ESALQ**, Piracicaba, v. 4, p. 108-109, 2005.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 50, p. 1-8, 2011.

SWIADER, J.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids 1. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In: **Fisiologia vegetal**. 5. Porto Alegre Artmed, 2013. p. 754-757. ISBN 978-85-363-2795-2.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Paricicaba: Fundacao Cargill, 1978. p. 137-224.

CAPÍTULO 4 - Considerações Finais

Considerando-se apenas as 15 famílias de polinização aberta, comuns aos experimentos de campo (Capítulo 2) e de casa de vegetação (Capítulo 3), observa-se que os resultados obtidos nestas condições não apresentaram relação entre si (Tabela 1). Assim, percebe-se intensa alteração na classificação das famílias como se pode observar pelo desempenho da família 74, que foi a primeira colocada no experimento de campo, e apenas a décima em casa de vegetação. A família 37, de pior desempenho no campo e a 44, a penúltima classificada em campo, ocuparam a sétima e a primeira posição, respectivamente, no experimento em casa de vegetação. A família 165 é a segunda no experimento de campo e a terceira em casa de vegetação. A correlação entre a classificação em campo e em casa de vegetação foi de -0,289, que além de baixa é negativa, confirmando a falta de associação entre os dois experimentos.

Tabela 1 - Adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG) de 15 famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*, em condições de campo e de casa de vegetação, para o incremento volumétrico médio anual (IMA-Volume) no experimento de campo e de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) em casa de vegetação.

Ordem	Experimento de campo	Casa de vegetação
	IMA-Volume (m ³ planta ⁻¹)	MSPA (g)
	Genótipo ⁽¹⁾	Genótipos
1	1 (74)*	14 (44)
2	2 (165)	11 (81)
3	3 (24)	2 (165)
4	4 (132)	13 (42)
5	5 (25)	12 (43)
6	6 (159)	4 (132)
7	7 (1)	15 (37)
8	8 (109)	7 (1)
9	9 (82)	3 (24)
10	10 (26)	1 (74)
11	11 (81)	6 (159)
12	12 (43)	8 (109)
13	13 (42)	5 (25)
14	14 (44)	9 (82)
15	15 (37)	10 26

⁽¹⁾: Famílias de polinização aberta de *Eucalyptus grandis*. *Número entre parênteses corresponde ao número da família no campo.

Alguns aspectos podem ser levantados para explicar a divergência dos resultados obtidos em campo e em casa de vegetação. Primeiro, as condições ambientais dos experimentos de campo e de casa de vegetação são bem distintas, tanto em termos de temperatura, umidade, luminosidade, dentre outros aspectos. Também, as idades de avaliações nas duas condições certamente contribuíram para a variação de resultados. As plantas em campo têm condições de explorar mais o solo a partir do aprofundamento de raízes; as folhas em casa de vegetação não se desenvolvem da mesma forma como as observadas em plantas em campo, em que nesta última condição, há a presença de cerosidade, variação na inclinação foliar, alterando aspectos morfofisiológicos. Em casa de vegetação, os tratamentos foram estabelecidos de forma a garantir a sobrevivência das plantas, o que nem sempre é possível em campo. Assim, famílias com bom desempenho em casa de vegetação, podem ter desempenho inferior em campo, por baixa agressividade e competitividade, podendo até algumas famílias não terem sobrevivido em algum local.

A temperatura é o fator de maior importância e de difícil controle em determinadas casas de vegetação, devido à falta de equipamentos que a controle adequadamente. Os experimentos de campo têm suas temperaturas mínimas e máximas girando em torno de 18 a 28 °C (POORTER et al., 2016), o que não foi a realidade da casa de vegetação, sendo as temperaturas mínima e máxima média girando em torno de 20,1 a 37,5 °C, apresentando uma diferença média entre a temperatura mínima e máxima de 17,4° C. Em algumas espécies, o aumento na temperatura proporciona maior divisão celular e em outras espécies ocorre uma redução na assimilação de carbono, o que reduz o crescimento celular (POORTER et al., 2016; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Essas variações na temperatura têm influência em funções enzimáticas, o que ocasiona mudanças no ciclo celular. Em muitas espécies o acréscimo de 1° C na menor temperatura noturna implica em uma redução de 2% na produtividade (POORTER et al., 2016). O aumento da temperatura ocasiona um aumento na fotossíntese, mas quando a temperatura ultrapassa o ótimo ocorre uma redução da eficiência fotossintética.

Outra característica de suma importância é a qualidade da luz fotossinteticamente ativa disponível para as plantas. Isto ocorre através da baixa

exposição dos organismos fotossintetizantes, que por sua vez envolve primordialmente o fotossistema II (PSII), que corresponde a dependência da irradiação incidente para o perfeito funcionamento (DO CARMO ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Através de um estudo de bancos de dados, Poorter et al. (2016) observaram que a redução da interceptação de luz pelas plantas varia conforme a época do ano e o local onde encontra-se a casa de vegetação, com reduções diretas na produtividade.

Desta forma, devido a um período de experimentação curto, característico de ensaios conduzidos em casa de vegetação, e pelas variações nas condições de cultivo, principalmente quanto à temperatura e incidência de radiação solar, em relação àquelas presentes em condições de campo, observou-se relações fracas entre o experimento de campo e da casa de vegetação, proporcionando grandes alterações na classificação das famílias de polinização aberta de *E. grandis* de uma condição semi controlada (casa de vegetação) para uma não controlada (campo).

Referências

ARAÚJO, S. A.; DEMINICIS, B. B. C. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Uberlândia, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.

POORTER, H.; FIORANI, F.; PIERUSCHKA, R.; WOJCIECHOWSKI, T.; PUTTEN, W. H.; KLEYER, M.; SCHURR, U.; POSTMA, J. Pampered inside, pestered outside? Differences and similarities between plants growing in controlled conditions and in the field. **New Phytologist**, v. 212, n. 4, p. 838-855, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In. **Fisiologia vegetal**. 5. Porto Alegre Artmed, 2013. p. 754-757. ISBN 978-85-363-2795-2.