

**RODRIGO DE ANDRADE FURLAN**

**SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO PARA TOLERÂNCIA  
À SECA NO NORDESTE DO BRASIL**

**Botucatu**

**2018**



**RODRIGO DE ANDRADE FURLAN**

**SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO PARA TOLERÂNCIA  
À SECA NO NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi

Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Bueno de Moraes

**Botucatu**

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F985s Furlan, Rodrigo de Andrade, 1973-  
Seleção de clones de eucalipto para tolerância à seca no nordeste do Brasil / Rodrigo de Andrade Furlan. - Botucatu: [s.n.], 2018  
97 p.: fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Evandro Wagner Tambarussi  
Coorientador: Cristiano Bueno de Moraes  
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Melhoramento genético. 2. Eucalipto - Resistência a seca. 3. Florestas. 4. Parâmetros genéticos. I. Tambarussi, Evandro Wagner. II. Moraes, Cristiano Bueno de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO PARA TOLERÂNCIA À SECA NO NORDESTE DO BRASIL

**AUTOR: RODRIGO DE ANDRADE FURLAN**  
**ORIENTADOR: EVANDRO VAGNER TAMBARUSSI**  
**COORIENTADOR: CRISTIANO BUENO DE MORAES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EVANDRO VAGNER TAMBARUSSI  
Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Estadual do Centro-Oeste



Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES  
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - SP



Dr. BRUNO CESAR ROSSINI  
IBTEC - Instituto de Biotecnologia / Instituto de Biociências de Botucatu



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



Dr. ODAIR BISON  
Desenvolvimento Tecnológico Florestal / Duratex Florestal

Botucatu, 06 de setembro de 2018



**Aos amores da minha vida, minha esposa Luciana  
e minha filha Ana Beatriz,  
dedico**





## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, colega e amigo Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi, exemplo de dedicação ao ensino acadêmico e à pesquisa, pelos ensinamentos e amizade.

Ao meu coorientador, também colega e amigo Prof. Dr. Cristiano Bueno de Moraes, pela parceria de trabalho e amizade.

Ao Prof. Dr. Edson Seizo Mori, por todas as orientações e neste momento pelo apoio e pronta indicação no momento em que procurei voltar à Universidade.

Ao Prof. Dr. Mário Luiz Teixeira de Moraes, por aceitar o início da minha orientação no doutorado.

Aos meus Professores de antes e de agora, em especial Prof. Dr. Edson Furtado, Prof. Dr. Celso Marino, Prof. Dr. Iraê Guerrini, Profa. Dra. Magali Ribeiro e Profa. Dra. Carmen Marcati, pelo acolhimento e ensinamentos.

À todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação Ciência Florestal da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, pela oportunidade da realização do curso de Doutorado.

Aos Professores Dr. Iraê Guerrini e Dr. Bruno Rossini pela fundamental contribuição dada na qualificação.

Ao Grupo Ferroeste e à Gusa Nordeste pela cessão dos dados, ao Diretor Ricardo Nascimento, ao Coordenador Wallas Silva e aos parceiros e Supervisores Flávio Mendes e Raul Ferreira, muito obrigado pelos dados e longo tempo de parceria de trabalho.

Aos colegas André Jim, Rafael, Júlia, Vitória, Carla, Murilo, Ana Teresa, Lucas, Joás, Jéssica e tantos outros, que me receberam como irmão apesar da diferença de idade.

Ao Prof. Dr. Rossi da UFT pela ajuda com a climatologia.

Aos colegas Fernanda pela ajuda com as complicadas matrizes e equações e Renan com as análises no R.

À minha mãe Stella e minha irmã Edissa, sempre presentes em minha vida, e minha sogra Clarita embora mais recente, também presente, nos momentos bons e nos nem tão bons assim.

À todos aqueles que mesmo sem saber ou mesmo sem eu lembrar, de alguma forma me apoiaram em mais esta etapa da minha vida.

DE CORAÇÃO ! OBRIGADO !

"O menino quer um burrinho que saiba dizer o nome dos rios, das montanhas, das flores, de tudo o que aparecer.

O menino quer um burrinho que saiba inventar histórias bonitas com pessoas e bichos e com barquinhos no mar.

E os dois sairão pelo mundo que é como um jardim apenas mais largo e talvez mais comprido e que não tenha fim."

**O Menino Azul**

**Cecília Meireles**



## RESUMO

No Brasil, em 2016, havia 7,84 milhões de hectares plantados com árvores, sendo 14% desta relativa ao segmento de carvão vegetal e siderurgia. O país está entre os maiores produtores de carvão vegetal do mundo. Existem mais de 120 indústrias que utilizam carvão vegetal no processo de produção de ferro-gusa, de ferro-ligas e de aço, os principais polos de consumo de carvão estão localizados nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Maranhão e Pará. A cultura do eucalipto nos estados do norte e nordeste do Brasil, como Tocantins, Pará, Maranhão e Piauí, é relativamente nova e tem como limitação a pouca seleção de materiais adaptados as altas temperaturas e ao severo e prolongado período de déficit hídrico. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi estudar os parâmetros e variabilidade genética para a tolerância à seca, determinar a interação genótipos x ambientes e selecionar clones para a tolerância à seca, em testes clonais plantados em dois ambientes no município de Grajaú, estado do Maranhão. Os testes foram plantados em janeiro de 2011, em solos argiloso e arenoso, com 130 clones, sendo 112 provenientes de seleção massal em talhões comerciais plantados com sementes e posteriormente identificadas como *E. urophylla*, híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* e 18 clones comerciais. Os testes clonais foram implantados no delineamento de blocos casualizados, com uma planta por parcela e 20 repetições. A partir do segundo ano foram medidos anualmente diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 m), altura total e estimado volume de madeira por árvore. Os parâmetros genéticos foram estimados com base no procedimento REML/BLUP. Os resultados mostraram que os clones de eucalipto estudados apresentaram alta variabilidade para a tolerância à seca. O teste da razão de verossimilhança LRT ( $\chi^2$ ) foi significativo a 5% para clones e para a interação clone x local. As estimativas das herdabilidades de aproximadamente 0,8, foram altas para as características de crescimento, assim como as acurácias na seleção dos clones (70% para a altura e 80% para DAP e volume). Houve interação simples entre genótipos x ambientes para os clones, nas condições de variação de solo. A alta restrição de água no solo não permitiu maiores diferenças de produtividade dos clones nos diferentes ambientes. Observações de sobrevivência e qualidade em campo foram feitas para a seleção dos melhores clones em função da alta mortalidade nos testes. Os seis melhores clones (1, 3, 4, 10, 30 e 35) apresentam

tipicidade fenotípica de *E.camaldulensis* e foram indicados para plantios em escala pré-operacional ou testes em maior escala. Houve diferença na seleção pela análise individual e pela interação genótipos x ambientes. A seleção dos melhores clones com base apenas na análise individual poderia ser errada ou excluir clones importantes.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus*. Silvicultura clonal. Parâmetros genéticos. Melhoramentoflorestal. Tolerância à seca.

## ABSTRACT

In Brazil in 2016 there were 7.84 million hectares planted with trees, and 14% were related to the segment of charcoal and steel. The country is among the largest producers of charcoal in the world. There are more than 120 industries that use charcoal in the production process of pig iron, ferro-alloys and steel, the main coal consumption centers are located in the states of Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Maranhão and Pará. Eucalyptus cultivation in the northern and northeastern states of Brazil, such as Tocantins, Pará, Maranhão and Piauí, is relatively new and has as great limitation the low selection of materials adapted to high temperatures and the severe and prolonged period of water deficit. The objective of this research is study the parameters and genetic variability for drought tolerance, to determine the interaction genotypes x environments and to select clones for drought tolerance, in clonal tests planted in two environments in the municipality of Grajaú, Maranhão state. The tests were planted in January 2011, in sandy and clay soil, with 130 clones, 112 of them from mass selection in commercial stands planted with seeds and subsequently identified as *E. urophylla*, hybrid *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. camaldulensis* and *E. tereticornis* and 18 commercial clones. The tests were implanted in a randomized block design with one plant per plot and 20 replicates. From the second year onwards, the diameter of the breast (1.30 m), total height and estimated volume of wood per tree were measured annually. The genetic parameters were estimated based on the REML/BLUP procedure. The results showed that the eucalyptus clones studied showed high variability for drought tolerance, the LRT ( $\chi^2$ ) likelihood ratio test was significant at 5% for clones and clone x local interaction. Heritability estimates of approximately 0.8, were high for growth traits as well as for clones selection (70% for height and 80% for DAP and volume). There were simple interaction genotypes x environments for clones under soil variation conditions. The high water restriction in the soil did not allow greater productivity differences of the clones in the different environments. Survival observations and field quality were made to select the best clones due to the high mortality in the tests. The six best clones (1, 3, 4, 10, 30 and 35) show phenotypic typicality of *E. camaldulensis* and were indicated for pre-operational scale planting or larger scale trials. There was difference in selection by individual analysis

and by interaction genotypes x environments. Selection of the best clones based only in individual analysis could be wrong or exclude important clones.

**Keywords:** *Eucalyptus*. Clonal forestry. Genetic parameters. Forest breeding. Drought tolerance.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Resultados da análise química de solo dos Talhões 102 e 155, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	43
Tabela 2 –Resultados da análise física de solo dos Talhões 102 e 155, para a profundidade de 0-20 cm, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	44
Tabela 3 –Variâncias estimadas aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para análise individual, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	59
Tabela 4 –Parâmetros genéticos estimados aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para análise individual, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	60
Tabela 5 –Correlações genéticas ( $r_g$ ) estimadas aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise individual, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão. ....	63
Tabela 6 –Análise de deviance ( $\chi^2$ ) para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise conjunta, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	64
Tabela 7 –Variâncias estimadas aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise conjunta, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	65
Tabela 8 –Parâmetros genéticos estimados aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise conjunta, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	66

Tabela 9 –Ordenamento dos clones para a avaliação de volume aos seis anos nas diferentes análises, dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	68
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Localização dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp. entre os municípios de Grajaú e Barra do Corda, estado do Maranhão (a). Localização da Sede e dos testes clonais na Fazenda Sibéria (b).....	38
Figura 2 –Precipitação anual em mm (a) e temperatura média anual em °C (b) entre os anos de 2011 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão.....	40
Figura 3 –Extrato do balanço hídrico normal (a) e deficiência, excedente, retida e reposição hídrica no solo (b), considerando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 100 mm, entre os anos de 1987 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão.....	42
Figura 4 –Perímetro da Fazenda Sibéria, localizada entre os municípios de Grajaú e Barra do Corda, estado do Maranhão, representado sobre o Mapa do Estado do Maranhão, Pedologia, Mapa Exploratório de Solos.....	43
Figura 5 –Região centro-sul do estado do Maranhão, destacados os municípios de Grajaú e Barra do Corda, no Mapa de Biomas do Brasil.....	45
Figura 6 –Extrato do balanço hídrico sequencial, considerando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 100 mm (solo arenoso - T155), entre os anos de 2011 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão.....	55
Figura 7 –Extrato do balanço hídrico sequencial, considerando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 220 mm (solo argiloso - T102), entre os anos de 2011 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão.....	56
Figura 8 –Mortalidade acumulada ao longo dos anos (em %) das árvores dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	57
Figura 9 –Gráfico boxplot para o volume individual dos 10 melhores clones e testemunhas no solo argiloso (T102).....	70
Figura 10 –Gráfico boxplot para o volume individual dos 10 melhores clones e testemunhas no solo arenoso (T155).....	70

Figura 11 –Aspecto do clone 3 com características fenotípicas de <i>E. camaldulensis</i> , dos testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	71
Figura 12 –Dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de <i>Eucalyptus</i> spp.do solo argiloso (T102), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão, calculado pela distância de Mahalanobis (variáveis DAP, altura e volume) e método da ligação média (UPGMA).....	73
Figura 13 –Dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de <i>Eucalyptus</i> spp.do solo arenoso (T155), localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão, calculado pela distância de Mahalanobis (variáveis DAP, altura e volume) e método da ligação média (UPGMA).....	74
Figura 14 –Agrupamento dos melhores clones no dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de <i>Eucalyptus</i> spp.do solo argiloso (T102), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	75
Figura 15 - Agrupamento dos melhores clones no dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de <i>Eucalyptus</i> spp.do solo arenoso (T155), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão.....	75

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	OBJETIVOS.....	23
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3.1	O GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i> .....	24
3.2	MELHORAMENTO GENÉTICO DO EUCALIPTO.....	25
3.3	MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA À SECA.....	30
3.4	INTERAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS X AMBIENTES.....	32
3.5	CAPACIDADE PRODUTIVA DO AMBIENTE.....	33
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
6	CONCLUSÕES.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77



## 1 INTRODUÇÃO

O eucalipto é nativo da Austrália, ilhas da Indonésia, Timor-Leste e Papua-Nova Guiné, e foi após a descoberta da Austrália, em 1788, que o eucalipto se espalhou rapidamente por quase todo o mundo. Atualmente é plantado em vários países e as maiores áreas plantadas estão na Índia, Brasil, África do Sul, Portugal, Espanha, China, Uruguai e Chile. As espécies mais cultivadas mundialmente são *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, *Eucalyptus globulus* Labill., *Eucalyptus camaldulensis* Dehn e *Eucalyptus tereticornis* Smith (FONSECA et al., 2010).

O Brasil tinha em 2016 uma área total de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, desta área 5,67 milhões eram de eucalipto (IBÁ, 2017). O gênero eucalipto é um dos mais importantes na produção mundial de madeira plantada.

Da área total 34% pertence as empresas do segmento de celulose e papel. Em segundo lugar, com 29%, encontram-se proprietários independentes e fomentados (pequenos e médios produtores), que investem em plantios florestais para comercialização da madeira *in natura*. Em seguida, aparece o segmento de siderurgia a carvão vegetal, que representa 14% da área plantada (IBÁ, 2017).

O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de carvão vegetal e já foi considerado o maior em anos anteriores (IBÁ, 2015). Considerado um dos insumos mais importantes da indústria siderúrgica nacional, o carvão vegetal registrou consumo de 4,5 milhões de toneladas no Brasil em 2016, com queda de 2,2% em relação ao ano anterior (IBÁ, 2017).

Entre os anos de 2014 e 2015 essa queda foi de 13,2%, e a retração no consumo ocorreu pela forte redução da atividade industrial brasileira, em especial do setor automotivo, e a baixa competitividade dos produtos siderúrgicos brasileiros no mercado internacional, devido a expansão da exportação de aço pela China (IBÁ, 2016).

No Brasil, existem mais de 120 indústrias que utilizam carvão vegetal no processo de produção de ferro-gusa, de ferro-ligas e de aço, sendo os principais polos de consumo de carvão localizados nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Maranhão e Pará (IBÁ, 2017).

A cultura do eucalipto nos estados do norte e nordeste do Brasil, como Tocantins, Pará, Maranhão e Piauí, é relativamente nova e tem como grande limitante a pouca seleção de materiais adaptados às altas temperaturas e ao severo e prolongado período de déficit hídrico.

Os primeiros plantios em escala comercial na região foram realizados em meados da década de 1980 e foram utilizados materiais genéticos selecionados para o sudeste, tendo como base genética as espécies *E. urophylla* e *E. grandis*. Com o aumento das áreas plantadas e desenvolvimento dos programas de melhoramento genético pelo Brasil, muitos clones comerciais, em sua maioria híbridos, foram introduzidos. No entanto, seleções específicas para as regiões de interesse só foram realizadas a partir da década de 2000.

Portanto, a seleção de clones adaptados à região, com características de produção e qualidade da madeira específica ao produto é fundamental para o desenvolvimento da atividade florestal.

Assim, a hipótese da presente pesquisa é que se clones de eucalipto forem obtidos a partir de uma base genética ampla, será possível realizar com sucesso a silvicultura clonal do eucalipto em regiões tropicais, que apresentam elevado déficit hídrico.



## 2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi verificar a variabilidade genética e estimar os parâmetros genéticos em clones de eucalipto plantados em dois ambientes para tolerância à seca.

Os objetivos específicos foram:

- estimar os parâmetros genéticos quantitativos para os clones em condições de estresse hídrico;
- determinar a interação genótipos x ambientes para os clones, nas condições de variação de ambiente (solo);
- avaliar a influência dos ambientes no desenvolvimento dos clones;
- selecionar os melhores clones para a tolerância à seca;
- avaliar como a seleção por meio da interação genótipos x ambientes influencia a seleção dos melhores clones.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O GÊNERO *EUCALYPTUS*

O gênero *Eucalyptus* foi nomeado e descrito pelo magistrado botânico francês Charles Louis L'Héritier de Brutelle, em 1788 (ELDRIDGE et al., 1978; ELDRIDGE et al., 1993). A ilustração e descrição em latim foi feita por Pierre Joseph Redouté, então desconhecido e posteriormente famoso por ilustrar rosas, baseada em um indivíduo coletado em Bruny Island, na Tasmânia, provavelmente em 1777, na terceira expedição de James Cook (ELDRIDGE et al., 1993).

Atualmente são conhecidas aproximadamente 900 espécies nativas da Austrália (BROOKER; KLEINIG, 2006) e regiões próximas. As espécies *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e *Eucalyptus deglupta* Blume não ocorrem na Austrália, sendo o *E. urophylla* nativo de Timor e algumas ilhas adjacentes da Indonésia e *E. deglupta* de Papua (Nova Guiné), Moluccas e Irian Jaya (Indonésia) e Mindanao (sul das Filipinas) (PRYOR, 1976; ELDRIDGE et al., 1993).

O eucalipto pertence à divisão Angiospermae, classe Dicotyledonea, ordem Myrtales, família Myrtaceae, e gênero *Eucalyptus*. Existe uma subdivisão em subgêneros proposta por Pryor e Johnson (1971) e revista por Johnson e Briggs (1983), que apresenta 8 subgêneros: *Blakella*, *Corymbia*, *Eudesmia*, *Gaubaea*, *Idiogenes*, *Monocalyptus*, *Telocalyptus* e *Symphyomyrtus*.

No início dos anos 1990 foi realizada uma nova revisão taxonômica, reformulando esta classificação de subgêneros. A princípio houve discordâncias entre os taxonomistas sobre a revisão, mas Hill e Johnson (1995) publicaram um conclusivo trabalho que enfatizam as diferenças entre as espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus*. Este trabalho apresenta 113 espécies do gênero *Corymbia*, sendo as mais conhecidas: *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson, *Corymbia torelliana* (F. Muell.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson e *Corymbia maculata* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson.

O subgenêro *Symphyomyrtus* engloba a maior parte das espécies comercialmente plantadas no mundo. Segundo a classificação de Boland et al. (2006) este subgenêro é ainda subdividido em três seções: Seção Transversaria (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus pellita* F. Muell); Seção Maidenaria (*Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus globulus* Labill., *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage, *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden, *Eucalyptus viminalis* Labill. e *Eucalyptus smithii* F. Muell & R. T. Baker) e Seção Exsertaria (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn, *Eucalyptus tereticornis* Smith e *Eucalyptus brassiana* S. T. Blake).

O gênero *Eucalyptus* apresenta uma das mais notáveis distribuições de espécies arbóreas no que diz respeito a adaptação edafoclimática, sistemas de manejo e usos, tanto em florestas nativas quanto plantadas (ELDRIDGE et al., 1993).

No Brasil o interesse pelo eucalipto teve grande avanço no início da década de 1970, com a expansão das escolas de Engenharia Florestal, universidades ligadas às áreas de agricultura e silvicultura, associações de pesquisa entre universidades e empresas (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais-IPEF, ligado à ESALQ/USP, e Sociedade de Investigações Florestais-SIF, ligada à Universidade Federal de Viçosa-UFV, entre outras), bem como a criação de órgãos governamentais como o Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado e Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal, ambos ligados a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura-FAO e ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal-IBDF (HENRIQUES, 2016). Ainda conforme Henriques (2016), neste período diversas pesquisas foram instaladas em todo Brasil, especialmente Testes de Introdução de Espécies, Testes de Procedências e Progênies, Áreas Produtoras de Sementes e Pomares de Sementes.

### **3.2 MELHORAMENTO GENÉTICO DO EUCALIPTO**

Ganhos significativos de produtividade em plantios de eucalipto foram conseguidos por meio do melhoramento genético (HIGASHI et al., 2000).

Nos programas de melhoramento genético, a linha sexuada deve ser a base para fornecer materiais genéticos melhorados em gerações avançadas de melhoramento para propagação clonal. A seleção desses materiais genéticos superiores em programas de melhoramento florestal tem sido realizada para as características silviculturais de interesse como volume de madeira e tolerância a estresses bióticos e abióticos (ODA et al., 2007).

Segundo Henriques (2016), além das associações de pesquisa entre universidades e empresas, diversas expedições foram realizadas à Austrália por técnicos do governo, de universidades e principalmente de empresas. Cientistas renomados do exterior visitaram, no Brasil, as instituições de pesquisa, universidades e empresas envolvidas com o plantio de florestas, notadamente eucaliptos e pinus. Essas providências propiciaram ganhos crescentes e sustentáveis de produção. Desta forma a produtividade que na década de 1970 era de  $9,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , dobrou na década seguinte, de 1980, com  $18,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

As pesquisas não pararam, e os estudos, simpósios, congressos nacionais e internacionais promoviam a disseminação e a troca de conhecimentos e experiências, sendo que na década de 1990 a produtividade já era de  $28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . No início dos anos 2000 a produtividade foi para  $35 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  e em 2008 já chegava em  $42 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , e na atualidade, estes rendimentos médios são de  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  na região do cerrado do Vale do Jequitinhonha e Minas Gerais (HENRIQUES, 2016).

Ainda segundo Henriques (2016), neste mesmo período, a partir da década de 1970, houve ganhos significativos, crescentes e sustentáveis em densidade básica da madeira, passando de aproximadamente  $420 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  para aproximadamente  $550 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  nos dias atuais

A base da silvicultura atual do gênero está na utilização de clones de alta produtividade, os quais são identificados nas avaliações detestes de progênies e posteriormente testes clonais. Segue-se o emprego do método da Seleção Recorrente Recíproca (SRR) em Testes de Progênies (TP), que possibilitam a fixação de características desejáveis (NUNES et al., 2012). São empregados todos os esforços para se garantir a variabilidade genética, por meio dos processos de seleção (HIGASHI et al., 2002; CAIXETA et al., 2003).

No Brasil a evolução dos programas de melhoramento genético do eucalipto pode ser dividida em fases associadas à evolução das técnicas disponíveis para o trabalho dos melhoristas.

A primeira delas ocorreu aproximadamente entre 1960 e 1980, que se baseou na determinação de espécies e procedências adequadas para o plantio na região de interesse. Eldridge et al. (1993) dedicaram um capítulo do livro *Eucalypt Domestication and Breeding*, para considerações sobre testes de espécies e procedências.

Brown et al. (1997) descreveram as principais características do ambiente australiano dentro do qual as árvores e os arbustos nativos evoluíram, dando ênfase a fatores do ambiente para os quais os dados estarão disponíveis em situações de campo em outros países onde árvores e arbustos australianos podem ser usados, facilitando assim a seleção inicial de espécies através do uso do conceito de homoclimas.

Segundo os autores, a região tropical australiana abrange duas zonas separadas com climas distintos. Primeiramente os trópicos de monções, caracterizados por estações secas e úmidas bem definidas, são comparáveis aos climas no leste da Indonésia, no norte Tailândia, partes de Myanmar e sul e leste Índia, grande parte da África Central e Ocidental (sul de Sahel), o nordeste do Brasil e a Venezuela. A segunda zona, a dos trópicos úmidos, ocupa uma área relativamente pequena ao longo da costa norte de Queensland entre as latitudes 16° S e 19° S e é comparável a grande parte do Sudeste da Ásia, Bacia do Congo na África Central e a Bacia Amazônica da América do Sul. As regiões de clima subtropical sub-úmido e subtropical úmido são limitadas principalmente ao sudeste de Queensland e nordeste de Nova Gales do Sul entre latitudes 20° S e 32° S, condições climáticas semelhantes as que ocorrem no sul da China, partes do norte da Índia, áreas do leste da África do Sul, Zimbábwe, sul do Brasil, Paraguai e norte da Argentina.

Essa análise de homoclimas já ocorria intuitivamente antes do trabalho de Brown et al. (1997).

Segundo Ferreira (1992), as empresas associadas ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, preocupadas com a qualidade fisiológica e genética das sementes que vinham sendo utilizadas, trouxeram ao Brasil, em 1969, o Prof. Lindsay O. Pryor para um parecer técnico sobre as alternativas para melhorar a qualidade das sementes. Como consequência dessa visita, obedecendo às recomendações do Prof. Pryor, as empresas Champion Papel e Celulose e Duratex S. A. passaram a reintroduzir as principais espécies da Austrália, para a indústria de celulose e chapas de fibra, e em 1970 foram iniciados os plantios de *E. grandis* da procedência Coff's Harbour. Até aquela data os rendimentos volumétricos médios das plantações estavam em torno de  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  a  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Os primeiros plantios de *E. grandis* da procedência Coff's Harbour com sementes australianas elevaram este rendimento para 30 a  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . As Áreas de Produção de Sementes (APS) formadas com sementes trazidas do *E. grandis* de Coff's Harbour existem até hoje em Agudos e Mogi-Guaçu, no estado de São Paulo.

Uma segunda fase foi caracterizada pela utilização prática de híbridos gerados nos programas de melhoramento genético de *Eucalyptus*. Brigatti et al. (1980) falam dos trabalhos conduzidos pela antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro (ANDRADE, 1961) e pela Aracruz Florestal (CAMPINHOS, 1977), visando obter híbridos de rápido crescimento, resistentes ao cancro (causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis*) e com madeira de boa qualidade, como exemplos da importância dos híbridos.

No mesmo trabalho de Brigatti et al. (1980) foram comparados híbridos sintéticos com o material genético comercialmente utilizado pela Champion Papel e Celulose, e o híbrido *E. saligna* x *E. grandis* foi superior em altura, incremento médio e volume empilhado estimados para o sétimo ano, enquanto o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* foi superior para a densidade básica.

Rocha (1989) descreveu uma série de híbridos testados em duas localidades na Acesita Energética, e após avaliação aos 26 meses, foi verificado que dos 28 cruzamentos testados na região do Vale do Jequitinhonha, 24 apresentaram heterose, ou seja, sua produtividade foi acima da média dos genitores, e cruzamentos de *E. camaldulensis* x *E. grandis* mostraram tolerância à seca de ponteiro, comum na região.

Outra técnica que proporcionou avanço na produtividade do eucalipto foi a propagação vegetativa (clonagem) em escala comercial, que permitiu o uso direto dos híbridos (FERREIRA, 1992).

Conforme Bertolucci (1993), a utilização da hibridação associada com a propagação vegetativa propiciou ganhos contínuos em produtividade na Aracruz Florestal, e também a qualidade da madeira foi melhorada, o que se verifica pela redução do consumo específico que passou de 4,87 m<sup>3</sup> de madeira.t<sup>-1</sup> de celulose, em 1973, quando os trabalhos de melhoramento não haviam sido iniciados, para 4,10 m<sup>3</sup>.t<sup>-1</sup> no fim da década de 1980, sendo que em 1993 foram identificados híbridos que produziam 1 t de celulose a partir de 3,80 m<sup>3</sup> de madeira. Dentre os híbridos testados, o *E. grandis* x *E. urophylla* foi o mais promissor, pois ele apresentava alta produtividade e boa qualidade da madeira para celulose.

Poggiani e Suiter (1974) desenvolveram o método de propagação vegetativa de estacas retiradas de brotações de cepas. Assim, iniciaram-se os estudos da propagação clonal dos eucaliptos através de enraizamento de estacas sob nebulização em casas de vegetação. Neste mesmo período Norman Jones, técnico da FAO assessorando o IBDF, foi deslocado para o Departamento de Ciências Florestais da Esalq/USP, onde ampliou os estudos de enraizamento de estacas obtidas de brotação das cepas(FERREIRA, 1992).

Ainda segundo Ferreira (1992), a primeira plantação clonal comercial, com 1000 ha, foi estabelecida em 1979. Em 1989, o programa anual já era de 15000 ha (IKEMORI, 1990). Chaperon (1987) relata que a produção anual de estacas em 1987 era: Aracruz 16,8 milhões; Belgo Mineira, 21 milhões; Champion, 10 milhões; Vale do Rio Doce, 20 milhões; Jari, 10 milhões; Duraflora, 15 milhões e Klabin, 10 milhões.

Atualmente a geração de híbridos e clonagem em programas de melhoramento baseados em Seleção Recorrente Recíproca entre Populações Sintéticas Multiespécies, conforme proposto por Resende e Assis (2008), é amplamente utilizado pelas empresas de base florestal para o eucalipto. Esta estratégia contempla a busca em um mesmo indivíduo destinado a clonagem, de todas as características desejáveis e simultaneamente melhora a heterose para crescimento, vinda de vários pares de espécies cujas combinações promovem a heterose (FONSECA et al., 2010).

E a terceira fase, iniciada no fim da década de 1990 e ainda em uso, agrega aos programas de melhoramento genético os recursos da biologia molecular, como análises de diversidade, parentesco, monitoramento de variabilidade, seleção assistida por marcadores, entre outros.

### **3.3 MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA À SECA**

Segundo Stape et al. (2004), a disponibilidade de água é o recurso mais limitante nas plantações de eucalipto fertilizadas.

A tolerância ao déficit hídrico é uma preocupação constante nos programas de melhoramento de eucalipto no Brasil. Em reuniões sobre a produção de híbridos realizadas no final da década de 1980 (IPEF, 1987; SIF, 1989) o uso de híbridos com as espécies *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. tereticornis* foi constantemente citado como forma de promoção da tolerância à seca.

Os preços elevados da terra nas regiões do sul e sudeste, e o extenso território brasileiro acarretou a necessidade de novas fronteiras agrícolas. As novas regiões, especialmente norte, nordeste e centro-oeste, possuem clima tropical favorável para a expansão, no entanto, para estes novos cenários são necessários genótipos diferenciados para manutenção da alta produtividade (ASSIS; MAFIA, 2007; GONÇALVES et al., 2016). Conforme Assis e Mafia (2007) a ascensão da cultura do eucalipto para as regiões do norte e nordeste, tornam necessárias obtenção de informação sobre a produção nestas regiões, e a necessidade de pesquisas por novos materiais genéticos que apresentem melhor respostas ao ambiente.

Segundo os mesmos autores, além da expansão das fronteiras agrícolas, os projetos florestais acabam direcionados para áreas marginais, e devem considerar programas específicos de desenvolvimento de genitores e clones tolerantes à seca para se obter maior efetividade na produção de material genético adaptado.

Considerando o aumento das áreas plantadas com eucalipto entre 2010 e 2015, os estados que apresentaram os maiores crescimentos foram Tocantins, Mato Grosso do Sul, Paraná e Maranhão, com valores percentuais em área de aproximadamente 140, 120, 80 e 40%, respectivamente (IBÁ, 2016).



Para os estados de Tocantins e Maranhão, à tolerância ao déficit hídrico e altas temperaturas são essenciais para uma boa produção.

A falta de informações sobre o desenvolvimento de florestas plantadas na região nordeste requer estudos mais amplos com relação às espécies e procedências de rápido crescimento e possibilidade de adaptação à região, para que se torne viável seu reflorestamento (MIRANDA, 2012).

A relação entre a disponibilidade hídrica e a produtividade florestal está ligada aos efeitos diretos e indiretos da deficiência de água no crescimento das árvores, destacando-se: a diminuição da taxa fotossintética, em razão do aumento na resistência estomática (VOSE; SWANK, 1994); diminuição do aporte nutricional às árvores via fluxo de massa e difusão; diminuição na velocidade de mineralização da matéria orgânica; e em grau mais elevado de deficiência hídrica, o próprio colapso funcional em níveis citoplasmático e tissular (SANDS; MULLIGAN, 1990). A tolerância ao estresse hídrico varia com o genótipo, sendo que algumas plantas desenvolvem mecanismos de adaptação, tornando-se mais eficientes na absorção de água do solo, especialmente através do desenvolvimento de um extenso e profundo sistema radicular e de características da parte aérea, como adequação da área foliar, rápido fechamento dos estômatos, manutenção de uma reduzida temperatura foliar, dentre outros (GOMES, 1994; REIS et al., 2004).

Conforme Verryn (2000), a produção de híbridos interespecíficos em eucalipto com a utilização de espécies que se adaptam a regimes de baixa precipitação pluviométrica é prática comum no melhoramento de espécies desse gênero.

Segundo Vieira (1992), os programas de hibridação interespecífica de eucalipto devem levar em consideração a mistura dos tipos florestais, em que ocorrem na vegetação de origem.

Ferreira (1986) descreveu três tipos florestais ou ecótipos distintos: floresta fechada, floresta aberta alta e floresta aberta típica.

As espécies que formam a floresta fechada (tendo como as mais plantadas, *E. cloezina*, *E. microcorys* e *C. torelliana*), quando em plantios homogêneos, apresentam alta densidade de madeira, reagem ao espaçamento e adubação, são exigentes em qualidade de solo e apresentam sistema radicular pouco profundo.

Espécies de floresta aberta alta (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. propinqua* e *C. citriodora*), apresentam densidade de madeira de baixa a média, reagem ao espaçamento e adubação, tem boa capacidade de brotação, boa produção em volume e o sistema radicular é profundo, proporcionalmente a intensidade luminosa que penetra no plantio.

Finalmente, as espécies de floresta aberta típica (*E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. brassiana* e *C. citriodora*), apresentam alta densidade de madeira, não reagem ao espaçamento e adubação, tem alta capacidade de brotação, baixa produção em volume, alta resistência ao fogo e ao déficit hídrico e o sistema radicular é profundo.

Como citado anteriormente as espécies *E. pellita*, *E. tereticornis* e *E. camaldulensis* são comumente usadas como fonte de tolerância ao déficit hídrico em programas de hibridação.

Oda et al. (1986) avaliaram aos 42 meses o desenvolvimento de 16 espécies/procedências (proc), sendo elas *E. alba* (2 proc), *E. brassiana* (1 proc), *E. camaldulensis* (2 proc), *E. exerta* (1 proc), *E. pellita* (2 proc), *E. tereticornis* (2 proc), *E. urophylla* (3 proc), *E. citriodora* (1 proc), *E. cloeziana* (1 proc) e *E. grandis* (1 proc), no município de Urbano Santos, Maranhão. A região é caracterizada por clima tropical do tipo Aw segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com chuvas concentradas no verão, temperatura média de 27°C e pluviosidade média anual de 1774 mm. Nestas condições as procedências das espécies *E. tereticornis*, *E. brassiana* e *E. camaldulensis* foram as que apresentaram maior incremento e sobrevivência superior a 90%, enquanto procedências de *E. alba*, *E. pellita*, *E. urophylla* e *E. grandis* apresentaram sobrevivência inferior a 40%.

### **3.4 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES E SELEÇÃO**

A interação entre genótipos e ambientes (G x E) pode ser definida como o comportamento (fisiológico e bioquímico) de determinado genótipo em resposta às diferentes condições edafoclimáticas de uma região, ou seja, o melhor material (indivíduo, progênie, clone) em uma região necessariamente não é o melhor para outras regiões (MORI et al., 1988; MATHESON; COTTERILL, 1990; MIRANDA, 2012; MORAES, 2013).

A capacidade dos materiais genéticos se comportarem bem em uma grande amplitude de condições ambientais tem sido parte essencial dos programas de melhoramento (GIL; SINGH, 1982).

Termos relacionados à estabilidade fenotípica têm sido definidos de várias formas (RESENDE et al.,2001). O termo adaptabilidade é usado para designar a capacidade dos materiais genéticos em aproveitar vantajosamente o estímulo ambiental, e estabilidade para caracterizar a capacidade dos genótipos em mostrarem um comportamento altamente previsível, em função do estímulo ambiental (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Segundo Resende et al. (2001) em presença de interação genótipos x ambientes (G x E), existem duas estratégias de melhoramento que podem ser empregadas, (1) a utilização de genótipos específicos para cada ambiente (por meio da determinação de zonas de melhoramento com ausência de interação genótipos x ambientes dentro das mesmas) e (2) utilização de genótipos com alta estabilidade fenotípica. Na área florestal, a estratégia de melhoramento a ser adotada deve ser determinada da maneira mais correta e científica possível, em função da grande responsabilidade da seleção nessa área, devido aos ciclos reprodutivos geralmente longos das espécies, alto custo dos programas de melhoramento e extensas e heterogêneas áreas que são abrangidas pelos plantios. Neste contexto, os estudos relativos à estabilidade fenotípica são essenciais dentro dos programas de melhoramento florestal.

### **3.5 CAPACIDADE PRODUTIVA DO AMBIENTE**

A capacidade produtiva de um povoamento florestal pode ser avaliada, para determinado local, através da medição de fatores intrínsecos ou extrínsecos à biomassa florestal (CARVALHO et al., 1999).

Ortega e Montero (1988) destacaram, como fatores intrínsecos, a altura dominante ou média, o crescimento médio e máximo e o volume total no final da rotação. Como fatores extrínsecos, o clima, a litologia, a edafologia e a morfologia. E ainda fatores da biocenose, como espécies indicadoras (sociologia) e associações indicadoras (fitossociologia).

O crescimento observado de uma árvore ou povoamento florestal é resultante de processos fisiológicos, que são condicionados por um complexo de fatores biológicos e ambientais. Os principais determinantes biológicos da produtividade florestal são: a variabilidade genética, a densidade do povoamento, a competição entre plantas e a intensidade de doenças e pragas. E os principais determinantes ambientais da produtividade florestal são: o clima, a fisiografia e o solo. Quando os fatores climáticos e fisiográficos se mantêm constantes, mediante procedimento adequado de estratificação, as propriedades do solo se convertem no fator principal do ambiente físico, que tem uma relação apreciável com o crescimento da árvore. Os fatores climáticos e fisiográficos normalmente não são alterados pela atividade florestal, apenas os fatores edáficos (RALSTON,1967).

Conforme Carvalho et al. (1999), a capacidade produtiva do ambiente depende, fundamentalmente das condições do solo e meio ambiente. A classe de solo agrega importantes informações, destacando-se a profundidade do solum, a classe de textura, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que poderiam restringir o crescimento das raízes e a percolação de água. Com relação ao meio ambiente, as informações se referem, principalmente, à classe de relevo, ao material de origem do solo, ao tipo de cobertura vegetal primitiva e à presença de pedregosidade e rochiosidade. Dentre estes fatores, a influência que as propriedades físicas e químicas dos solos exercem sobre o crescimento das árvores tem merecido atenção especial.

Segundo Gonçalves et al.(1990), a capacidade produtiva dos sítios florestais está mais relacionada as propriedades físicas do solo do que as químicas, principalmente nos aspectos da capacidade de retenção e armazenamento de umidade do solo. A estrutura do solo, a consistência, a capacidade de retenção de água, a drenagem e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal são diretamente dependentes da textura.

Solos argilosos costumam ser mais férteis que os arenosos, podendo apresentar drenagem insuficiente (ZOBEL et al., 1987). Entretanto, quando se trata de latossolos, que são bem drenados, essa generalização não se aplica (CARVALHO et al., 1999).

A capacidade de produção dos sítios florestais é usualmente medida através do índice de sítio, que é definido como uma descrição quantitativa do sítio de um povoamento florestal, referida como a altura média das árvores dominantes numa idade de referência (CLUTTER et al., 1983).

Diversos trabalhos são encontrados na literatura buscando as associações ou relações entre parâmetros de qualidade de solo e índice de sítio.

Carvalho et al. (1999) analisaram as variáveis do solo: teores de argila, silte, areia (fina e grossa), matéria orgânica, pH, P, K, Ca, Mg, Na, Al e H+Al, na determinação da qualidade de sítio para o *Pinus taeda*. Foram considerados 5600 ha plantados no município de Arapoti, Paraná. As variáveis identificadas como as mais importantes foram, teor de argila no horizonte B, seguida por cálcio, matéria orgânica e pH (no horizonte A). Foram definidas quatro classes de produtividade com base na classificação do solo e textura: (I) alta produtividade - compreendendo áreas de Latossolo Vermelho Escuro (LVE), textura argilosa/muito argilosa (50% ou mais de argila); (II) média/alta produtividade - compreendendo áreas de LVE, textura argilosa (35 a 50% de argila no horizonte B), Cambissolo (C), textura argilosa e Podzólico Vermelho Amarelo (PVA), textura argilosa ou média no horizonte superficial e argilosa nos demais; (III) média produtividade - compreendendo áreas de LVE textura média, classe textural franco argilo-arenosa no horizonte B; (IV) baixa produtividade - compreendendo áreas de LVE textura média leve e PVA textura arenosa no horizonte A e média no B.

Gonçalves et al. (1990), estudaram as relações existentes entre a produtividade de sítios de *E. grandis* e *E. saligna* com propriedades físicas e químicas de solos de baixo potencial produtivo do Estado de São Paulo. Foram selecionados 18 sítios de *E. grandis* e 8 sítios *E. saligna* localizados em diversos povoamentos comerciais, que apresentavam homogeneidade de condução, características climáticas e topográficas semelhantes, embora, fossem bastante diversos quanto às suas produtividades e propriedades edáficas. As equações que relacionaram o volume sólido de madeira com casca com as propriedades dos solos foram mais precisas, quando se consideraram as camadas superficiais de solo (20 cm de profundidade), e as propriedades pH em CaCl<sub>2</sub>, teor de silte, teor de fósforo assimilável, teor de SiO<sub>2</sub> da argila e teor de matéria orgânica, foram as que apresentaram melhores relações com a produtividade do sítio.

Bellote et al. (2009) fizeram um estudo de diagnóstico nutricional e caracterização química e física dos solos, para a comparação com o crescimento em povoamentos de *E. grandis*, em 56 talhões localizados em diferentes regiões no Estado de São Paulo. O aumento do teor de argila nas diferentes classes de solo observadas, foi praticamente proporcional ao aumento da altura dominante nos sítios, embora as diferenças estatísticas tenham permitido a separação de apenas dois grupos: (I) teores médios de argila não ultrapassaram 18%, os solos predominantes são Neossolos Quartzarênicos, de textura arenosa, Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro, de textura média; e (II) teores médios de argila superiores a 25%, onde os solos predominantes são Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa e muito argilosa, Argissolo Vermelho Amarelo, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa e Cambissolo Háptico e Cambissolo Háptico argissólico, ambos textura média e argilosa.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a estimativa dos parâmetros genéticos e seleção dos clones, foram utilizados dois testes clonais idênticos formados por 130 clones de *Eucalyptus* spp., sendo 118 deles selecionados por seleção massal de indivíduos em plantios comerciais e 12 clones comerciais de domínio público, utilizados na região, considerados como testemunhas.

Os testes clonais são do Programa de Melhoramento Genético da empresa Gusa Nordeste S. A., integrante do Grupo Ferroeste.

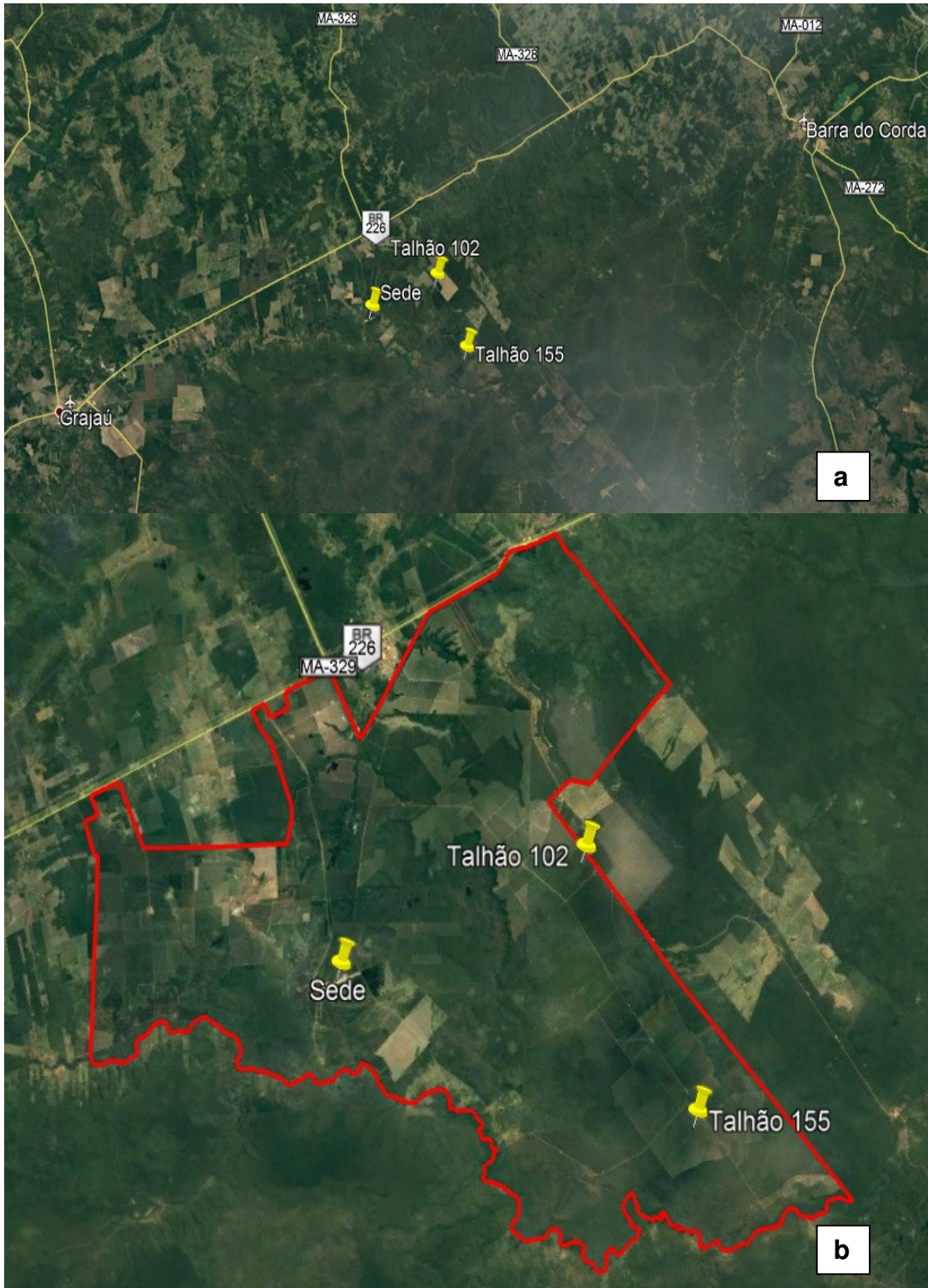
As seleções de matrizes foram realizadas entre 2009 e 2010 em talhões comerciais plantados com sementes, posteriormente identificadas pelo fenótipo como *E. urophylla*, híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*. Estes plantios estavam localizados nos municípios de Grajaú e Barra do Corda no estado do Maranhão, por onde se distribuem as áreas de plantio da Gusa Nordeste.

Notadamente existiam híbridos espontâneos nestes plantios seminais, e parte das matrizes selecionadas podem ser híbridos escolhidos em função do vigor.

Entre os clones comerciais estão quatro híbridos espontâneos de *E. grandis*, com desenvolvimento atribuído a Ferro Gusa Carajás, com origem em Rio Claro-SP e selecionados em São Mateus-ES (A09, A17, A23 e A217), um híbrido espontâneo de *E. urophylla* (AEC144), dois híbridos *E. tereticornis* x *E. urophylla*, três clones de introduzidos, de origem desconhecida e provavelmente híbridos entre *E. grandis* e *E. urophylla*, nomeados pela própria da Gusa Nordeste (FE0901, FE0902 e FE0903), e os dois restantes apresentam nomes comerciais de viveiro, mas são de origem desconhecida.

Os Testes Clonais estão instalados no município de Grajaú, na Fazenda Sibéria, uma propriedade de aproximadamente 25 mil hectares, localizada entre os municípios de Grajaú e Barra do Corda, nos talhões 102 (5°41'1,37"S e 45°42'0,75"O) e 155 (5°45'25,57"S e 45°39'41,73"O). A distância entre os testes em linha reta é de aproximadamente 10 km (Figura 1).

**Figura 1 - Localização dos testes clonais de *Eucalyptus* spp. entre os municípios de Grajaú e Barra do Corda, estado do Maranhão (a). Localização da Sede e dos testes clonais na Fazenda Sibéria (b).**



Fonte: GOOGLE EARTH, 2017.



A região apresenta clima tropical do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco, com o mês mais seco apresentando menos de 60 mm de precipitação. A temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C e a média anual está em torno de 26 °C. A precipitação média é de aproximadamente 1.200 mm, sendo o primeiro trimestre do ano o mais chuvoso (ALVARES et al.,2013).

Um levantamento prático realizado com pluviômetro manual em portaria localizada ao lado do talhão 102, para os anos agrícolas (junho a julho), apresentou acumulados de 970, 650 e 1.090 mm, respectivamente, para os anos de 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, mostrando anos de precipitação abaixo da média climática.

Dados no período de avaliação dos testes, da precipitação e temperatura média obtidos em estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Barra do Corda, foram semelhantes aos do levantamento prático (Figura 2).

Os índices de precipitação são maiores que em outras regiões do país, no entanto, a distribuição muito concentrada no verão é um desafio a produtividade de culturas perenes. As temperaturas apresentam pouca variação ao longo do ano, uma característica comum as regiões próximas a linha do Equador.

A Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD) demonstra a máxima quantidade de água que um solo pode reter, na forma líquida, e pode ser determinada pela expressão:

$$CAD \text{ (mm)} = \frac{(CC - PMP) Da z}{10}, \text{ onde:}$$

CC = umidade do solo à capacidade de campo (% peso);

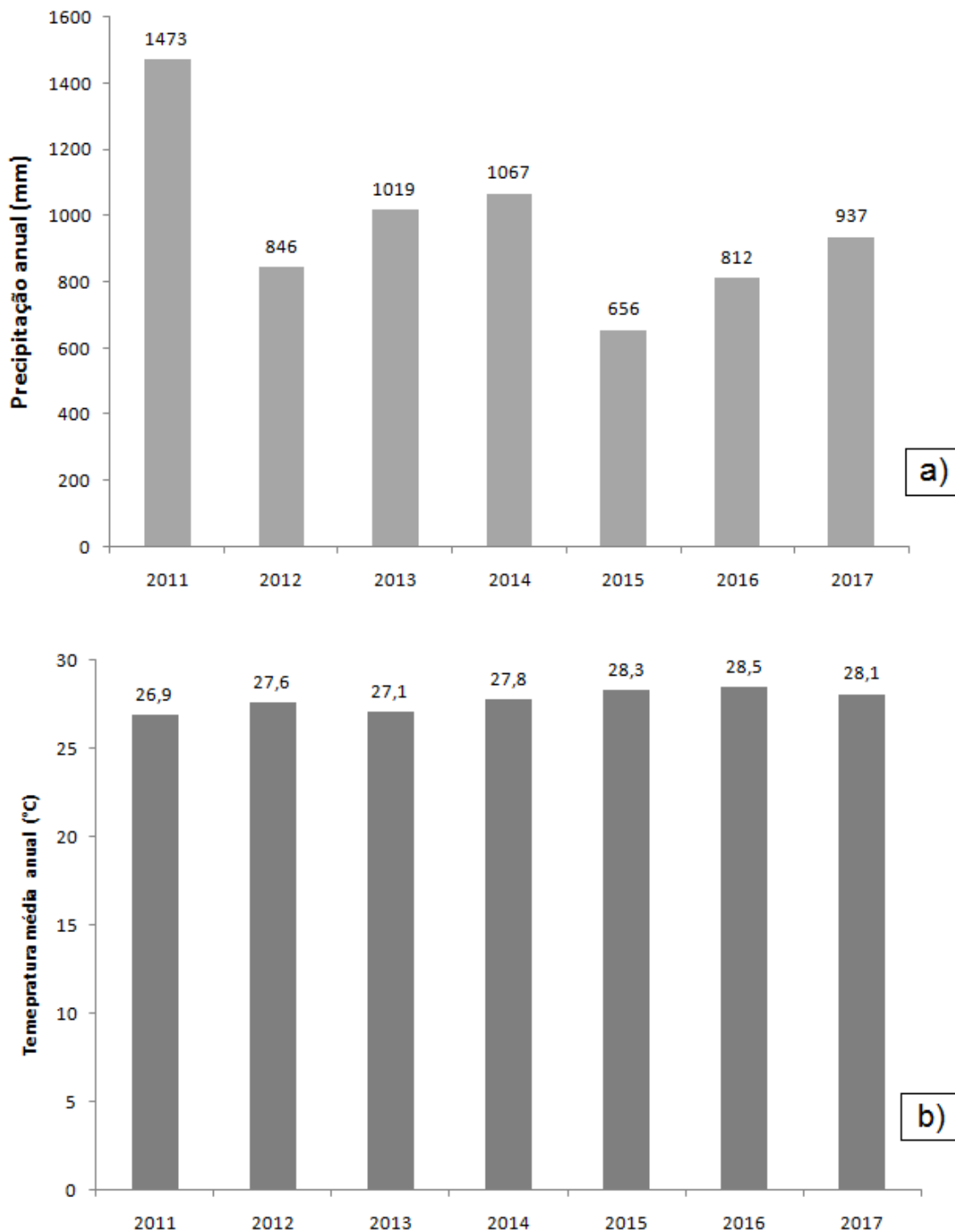
PMP = umidade do solo ao ponto de murcha permanente (% peso);

Da = densidade aparente do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ );

z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

Conforme os valores médios propostos por Israelsen e Hansen (1967), para um solo arenoso a umidade a capacidade de campo (CC) é de 9%, a umidade ao ponto de murcha permanente (PMP) é de 4%, a e densidade (Da) de  $1,65 \text{ g.cm}^{-3}$ , e para o solo argiloso a CC de 35%, o PMP de 17%, e Da de  $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$ .

**Figura 2 - Precipitação anual em mm (a) e temperatura média anual em °C (b) entre os anos de 2011 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão.**



Fonte: INMET, 2018.

Segundo Pereira et al. (2002), em espécies florestais a CAD varia de 150 a 300 mm. Na literatura são encontrados trabalhos de determinação da CAD e contabilização do balanço hídrico onde estes valores variam entre 70 e 200 mm para plantios de eucalipto (STAPE e GOMES, 1996; NEVES, 2000; SACRAMENTO NETO, 2001).

Utilizando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 100 mm, com dados da série histórica dos últimos 30 anos (1987 a 2017), também levantados pela estação automática do INMET, em Barra do Corda, foi elaborado o balanço hídrico climatológico normal da região (Figura 3), conforme o procedimento proposto por Thornthwaite e Mather (1955).

O balanço hídrico climatológico normal mostra um excedente de água estimado no solo de 100 mm nos meses mais chuvosos (fevereiro e abril), e um déficit estimado que ultrapassa os 150 mm nos meses mais secos (setembro e outubro).

Os solos predominantes na região da Fazenda Sibéria (Figura 4) são os Latossolos Amarelos (LA), caracterizados pela baixa fertilidade, alta permeabilidade e altos teores de ferro e alumínio. Também ocorrem em menor proporção os solos Podzólicos Vermelho (PV), Podzólicos Vermelho Amarelo (PVA) e Luvisolos (TX)(EMBRAPA, 2013).

Anteriormente ao plantio dos testes clonais, estas áreas eram de cerrado nativo onde foi realizada a supressão da vegetação, houve uma regeneração inicial e foi realizada nova supressão para o plantio.

Análises de solo foram realizadas nos dois talhões (102 e 155), após o talhonamento e antes do plantio dos testes, as amostras compostas foram coletadas na profundidade de 0-20 cm e de 20-40 cm para a análise química (Tabela 1) e de 0-20 cm para a análise física (Tabela 2). As análises foram realizadas no Laboratório Brasileiro de Análises Agrícolas Ltda. - LABRAS.

Uma comparação entre os resultados da análise química dos talhões 102 e 155, mostra poucas diferenças, sendo que o primeiro pode ser considerado ligeiramente mais fértil em função da disponibilidade de Ca, Mg e saturação de bases (V%).

A grande diferença entre os talhões pode ser observada na análise física do solo (Tabela 2).

**Figura 3 - Extrato do balanço hídrico normal (a) e deficiência, excedente, retida e reposição hídrica no solo (b), considerando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 100 mm, entre os anos de 1987 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão (dados INMET, 2018).**

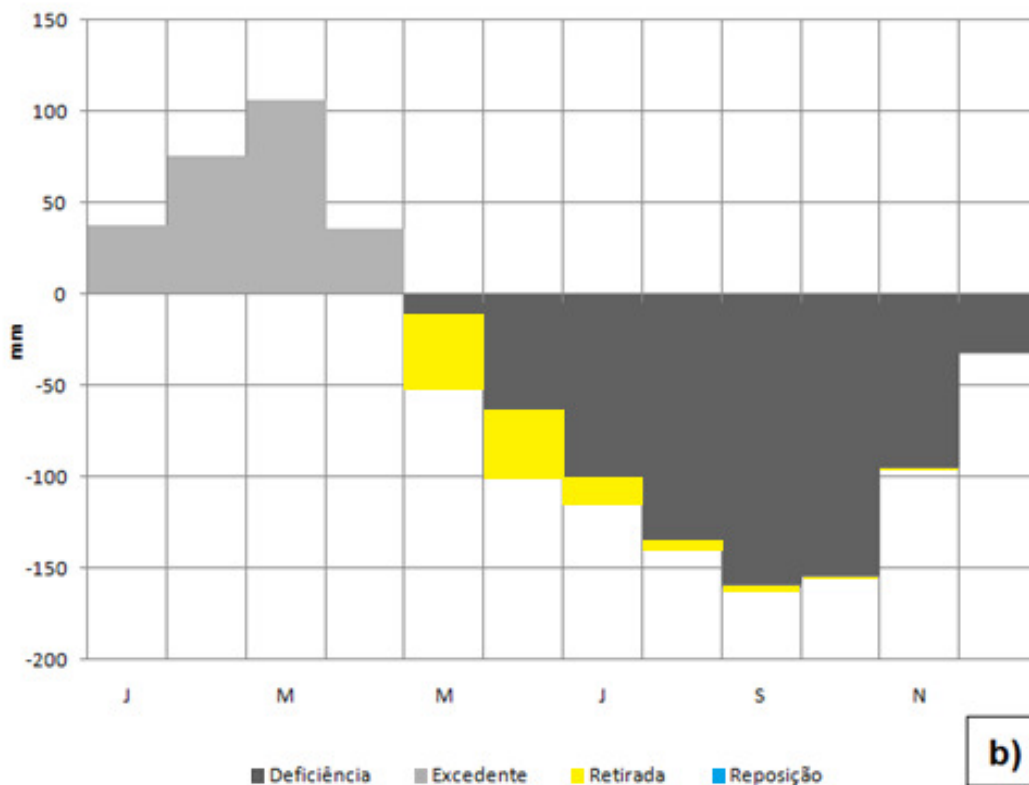
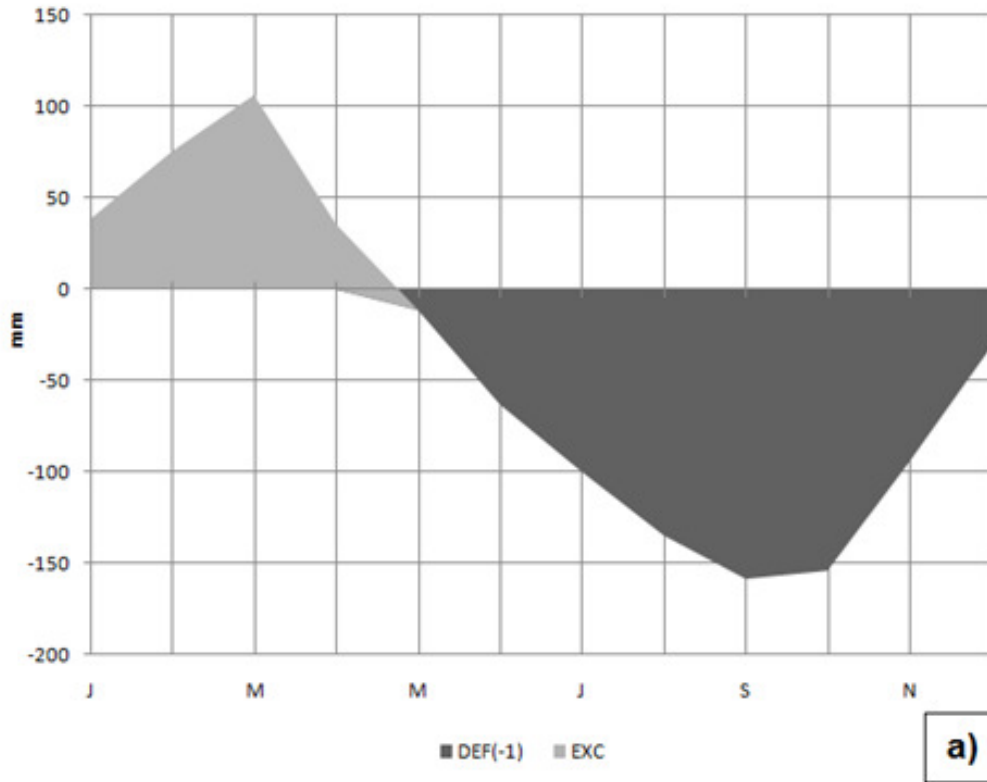
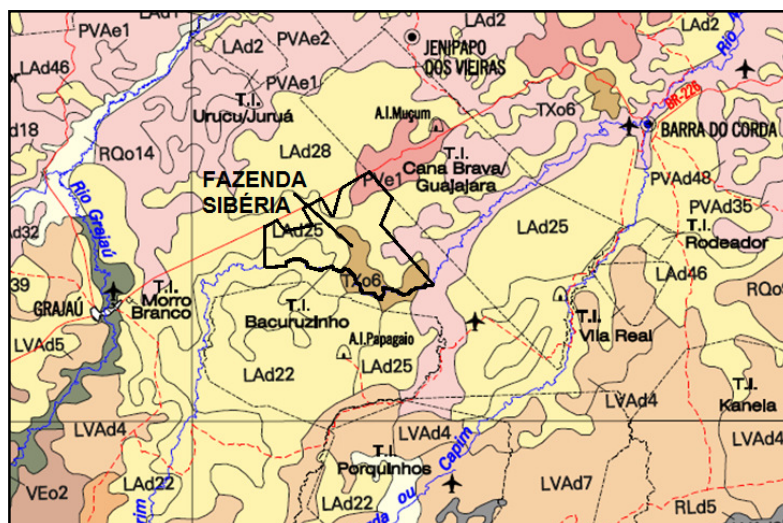


Figura 4 - Perímetro da Fazenda Sibéria, localizada entre os municípios de Grajaú e Barra do Corda, estado do Maranhão, representado sobre o Mapa do Estado do Maranhão, Pedologia, Mapa Exploratório de Solos.



Fonte: IBGE, 2011.

Tabela 1 - Resultados da análise química de solo dos Talhões 102 e 155, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.

Determinação	Unidade	Talhão 102		Talhão 155	
		0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
pH H <sub>2</sub> O	1:2,5	4,7	4,7	4,9	5,3
pH CaCl <sub>2</sub>	1:2,5	4,2	4,1	3,9	3,9
P me <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-1</sup>	3,6	1,8	4,0	4,0
K <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,08	0,04	0,12	0,08
Ca <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,60	0,50	0,31	0,37
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,30	0,25	0,23	0,20
Al <sup>3+</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,85	0,94	1,22	1,26
H+Al	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	6,05	5,40	10,94	10,47
M.O.	g.kg <sup>-1</sup>	26	23	39	36
SB	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,98	0,79	0,65	0,65
T	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	7,03	6,19	11,62	11,11
V	%	15	13	6	6
M	%	48	57	64	65
B	mg.dm <sup>-1</sup>	0,30	0,21	0,21	0,14
Cu	mg.dm <sup>-1</sup>	0,50	0,50	1,20	0,73
Fe	mg.dm <sup>-1</sup>	133	85	499	630
Mn	mg.dm <sup>-1</sup>	1,3	0,4	3,6	2,7
Zn	mg.dm <sup>-1</sup>	0,9	0,4	0,5	1,0

**Tabela 2 - Resultados da análise física de solo dos Talhões 102 e 155, para a profundidade de 0-20 cm, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

<b>Determinação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Talhão 102</b>	<b>Talhão 155</b>
Areia total	g.kg <sup>-1</sup>	338	840
Silte	g.kg <sup>-1</sup>	106	45
Argila	g.kg <sup>-1</sup>	556	115
Classificação		Argilosa	Arenosa

O talhão 155 apresentou 84,0% de areia e 11,5% de argila, o que é uma quantidade bastante elevada de areia, caracterizando o solo como arenoso, enquanto o 102 apresentou 33,8% de areia e 55,6% de argila, sendo um solo argiloso. Unindo as características químicas e físicas do solo pode-se afirmar que o Talhão 102 é um sítio potencialmente melhor para o desenvolvimento dos clones.

Em função desta diferença de textura, e das comparações que serão usadas a seguir, o Talhão 102 (T102) será tratado como solo argiloso e o Talhão 155 (T155) como solo arenoso.

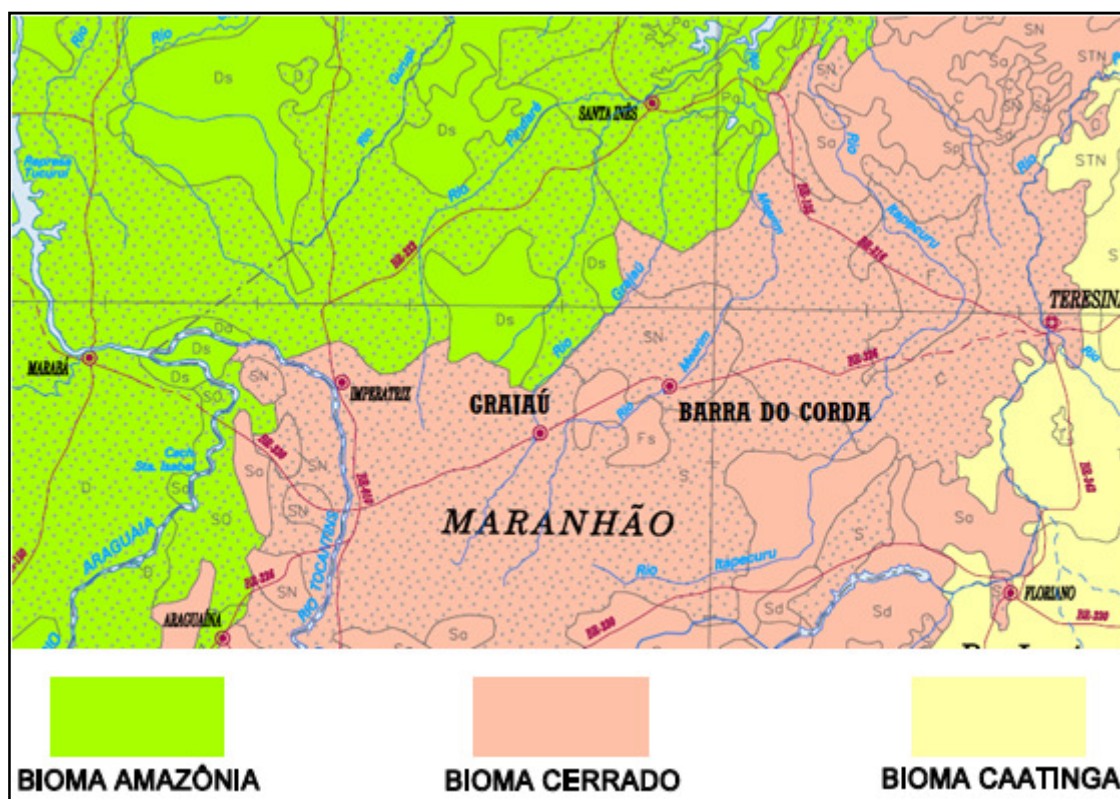
Uma boa caracterização da condição edafoclimática da qual a região está inserida pode ser dada pelo bioma. Todo o centro-sul do estado do Maranhão está na área de Cerrado, numa área de transição entre os biomas Amazônia e Caatinga (Figura 5). Embora mais próximo da Amazônia do que da Caatinga, a região dos testes apresenta características, principalmente as climáticas, mais semelhantes a da Caatinga, com poucas chuvas, elevado déficit hídrico e altas temperaturas.

Os experimentos foram plantados em janeiro de 2011, no delineamento de blocos casualizados e uma árvore por parcela, com o total de 130 clones (tratamentos), repetidos em 20 blocos com 13 linhas de 10 árvores (Apêndice).

Para o preparo de solo foi aplicado calcário em área total na dose de 2000 kg.ha<sup>-1</sup> e gesso 1000 kg.ha<sup>-1</sup>. Foi realizada gradagem e em seguida subsolagem na profundidade aproximada de 60 cm, com aplicação de adubo superfosfato simples, no sulco e em filete contínuo, na dose de 500 kg.ha<sup>-1</sup>.

O plantio foi realizado no espaçamento 4 x 3 m esquadrejado, que corresponde ao comercial da empresa, e a adubação de plantio com NPK 06-30-06 + micronutrientes, 85 kg.ha<sup>-1</sup> em coveta lateral, aos 10 dias após o plantio.

**Figura 5 - Região centro-sul do estado do Maranhão, destacados os municípios de Grajaú e Barra do Corda, no Mapa de Biomas do Brasil.**



Fonte: IBGE, 2012.

Adubações de cobertura foram realizadas aos 90 dias com NPK 20-00-20, dose de  $85 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  e aos 12 meses com KCl + 1% B, dose de  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , ambas em coveta lateral.

A partir de dois anos foram realizadas avaliações anuais de sobrevivência, circunferência a 1,30 m, ou circunferência a altura do peito, CAP (cm) e altura total, H (m), de todas as árvores do experimento. Para a avaliação dos clones o volume de madeira (VOL) por árvore foi estimado pela expressão:

$$\text{VOL (m}^3\text{)} = \frac{\pi (DAP)^2 f f H}{40000}, \text{ onde:}$$

VOL = volume da árvore em metro cúbico;

DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo), em centímetro;

H = altura total da árvore em metro;

ff = 0,5 (fator de forma).

As estimativas dos componentes de variâncias e dos parâmetros genéticos foram obtidas a partir do programa estatístico SELEGEN utilizando o procedimento REML/BLUP (estimativa dos parâmetros genéticos por máxima verossimilhança restrita - REML, e predição dos valores genéticos pelo procedimento da melhor predição linear não viciada - BLUP), conforme proposto por Resende (2007).

Para as análises independentes de cada experimento foi utilizado o modelo matemático número 20 do programa SELEGEN, Delineamento em Blocos Completos em Avaliação em um só Local e uma só Colheita e uma Observação por Parcela (RESENDE, 2007), representado pelo Modelo Estatístico:

$$y = \mathbf{X}r + \mathbf{Z}g + e, \text{ onde:}$$

$y$  = vetor de dados;

$r$  = vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados a média geral;

$g$  = vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios);

$e$  = vetor de erros ou resíduos (aleatórios);

$\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Z}$  = matrizes de incidência dos vetores.

A metodologia de modelos mistos permite estimar o  $r$  pelo procedimento de quadrados mínimos generalizados e prever o  $g$  pelo procedimento BLUP (*Unbiased*). Por meio dos algoritmos EM realiza-se o procedimento REML (*Restricted Maximum Likelihood*) ou método da máxima verossimilhança, onde as resoluções de matrizes geram estimativas de efeitos ajustados dos vetores calculados.

As pressuposições acerca da distribuição de  $y$ ,  $g$  e  $e$  das estruturas de médias e variâncias para cada vetor são dadas por:

$$y \ni b, V \sim N(Xb, V);$$

$$g \ni \sigma_g^2 \sim N(0, G);$$

$$e \ni \sigma_e^2 \sim N(0, R);$$

$$\text{Cov}(g, e) = 0;$$

$$E(y) = Xr;$$

$$V(y) = \mathbf{ZGZ}' + \mathbf{R}, \text{ onde:}$$



$\mathbf{G} = I\sigma_g^2$  = matriz de variâncias e covariâncias dos efeitos genéticos;

$\mathbf{R} = I\sigma_e^2$  = matriz de variâncias e covariâncias dos erros.

Para esse modelo, as equações de modelos mistos são:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1} + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mu} \\ \hat{g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix}$$

Os estimadores iterativos dos Componentes da Variância (REML individual) são:

$Vg = \sigma_g^2 = [\hat{g}'\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 tr(C^{22})/q] =$  variância genotípica;

$Ve = \sigma_e^2 = [y'y - \hat{\mu}'X'y - \hat{g}'Z'y]/[N - r(x)] =$  variância residual entre plantas; onde:

$C^{22} =$  advém da inversa da matriz dos coeficientes das equações de modelo misto:

$$C = \begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + \sigma_e^2/\sigma_g^2 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12'} \\ C^{21} & C^{22} \end{bmatrix}$$

$tr$  = operador traço matricial;

$r(x)$  = posto da matriz  $X$ ;

$N$ ,  $q$  e  $s$  = número total de dados, de clones e de combinações genótipos x ambientes, respectivamente.

$Vf = \sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 =$  variância fenotípica individual;

$h2g = \hat{h}_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2} =$  herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou dos efeitos genotípicos totais;

$h2m = \hat{h}_m^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{b}} =$  herdabilidade média dos clones, assumindo sobrevivência

completa, onde:

$b$  = número de blocos;

$Acclon = \hat{r}_{aa} = \sqrt{\hat{h}_m^2} =$  acurácia da seleção dos clones, assumindo sobrevivência completa;

$CV_{gi}\% = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{m} \times 100 =$  coeficiente de variação genotípica, onde:

$m =$  média da característica avaliada;

$CV_e\% = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{m} \times 100 =$  coeficiente de variação residual (experimental) ;

$CV_r = \frac{CV_{gi}}{CV_e} =$  coeficiente de variação relativa.

Vg; Ve; Vf; h2g; h2m; Acclon = nomenclaturas fornecida pelo programa estatístico Selegen.

Para a avaliação da produtividade, estabilidade e adaptabilidade dos clones foi utilizado o método MHPRVG (média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos) preditos por BLUP, tendo por base os trabalhos de Resende (2004) e Oliveira et al. (2005). A estabilidade corresponde a média harmônica dos valores genotípicos através dos locais (MHVG); a adaptabilidade, então pode ser dita como a performance relativa dos valores genotípicos em relação a média de cada local (PRVG) e a estabilidade e adaptabilidade simultaneamente, corresponde a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG).

Para a análise conjunta dos experimentos foi utilizado o modelo matemático número 54 do programa SELEGEN, Método MHPRVG - Delineamento em Blocos Completos em Vários Locais e uma Observação por Parcela (RESENDE, 2007), representado pelo Modelo Estatístico:

$$y = \mathbf{X}r + \mathbf{Z}g + \mathbf{W}ge + e, \text{ onde:}$$

$y =$  vetor de dados;

$r =$  vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados a média geral;

$g =$  vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios);

$ge =$  vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes(aleatórios);

$e =$  vetor de erros ou resíduos(aleatórios);

$\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Z}$  e  $\mathbf{W} =$  matrizes de incidência dos vetores.

A distribuição e estrutura de médias e variâncias são:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ ge \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Var \begin{bmatrix} g \\ ge \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & l\sigma_{ge}^2 & 0 \\ 0 & 0 & l\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

As equações de modelo misto para a predição de  $ge$  e  $e$  via método BLUP equivalem a:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + l\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + l\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{ge} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ onde:}$$

$l$  = matriz de identidade de ordem apropriada dos dados;

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1 - h_g^2 - C_{ge}^2}{h_g^2};$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{ge}^2} = \frac{1 - h_g^2 - C_{ge}^2}{C_{ge}^2};$$

$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$  = herdabilidade individual no sentido amplo de plantas individuais no bloco;

$C_{ge}^2 = \frac{\sigma_{ge}^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$  = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes;

$\sigma_g^2$  = variância genotípica entre clones;

$\sigma_{ge}^2$  = variância da interação genótipos x ambientes;

$\sigma_e^2$  = variância residual entre plantas;

A estrutura de covariância (simetria composta) para os efeitos genéticos é da forma:

$$\Sigma_g = \begin{bmatrix} \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 & \sigma_g^2 & \sigma_g^2 & \sigma_g^2 \\ \sigma_g^2 & \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 & \sigma_g^2 & \sigma_g^2 \\ \sigma_g^2 & \sigma_g^2 & \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 & \sigma_g^2 \\ \sigma_g^2 & \sigma_g^2 & \sigma_g^2 & \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 \end{bmatrix}$$

E a estrutura da matriz de correlação para os efeitos genéticos é da forma:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) \\ \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & 1 & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) \\ \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & 1 & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) \\ \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2) & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & C_b^2 & C_b^2 & C_b^2 \\ C_b^2 & 1 & C_b^2 & C_b^2 \\ C_b^2 & C_b^2 & 1 & C_b^2 \\ C_b^2 & C_b^2 & C_b^2 & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde:}$$

$C_b^2$  = comunalidade bivariada de locais.

Os estimadores iterativos dos Componentes da Variância (REML individual) são:

$Vg = \sigma_g^2 = [\hat{g}'\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 tr(C^{22})/q] =$  variância genotípica;

$Vint = \sigma_{ge}^2 = [\hat{g}\hat{e}'\hat{g}\hat{e} + \hat{\sigma}_g^2 tr(C^{33})/s] =$  variância da interação genótipos x ambientes;

$Ve = \sigma_e^2 = [y'y - \hat{b}'X'y - \hat{g}'Z'y - \hat{g}\hat{e}'W'y]/[N - r(x)] =$  variância residual entre plantas; onde:

$C^{22}$  e  $C^{33} =$  advém da inversa da matriz dos coeficientes das equações de modelo misto:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$$

$tr$  = operador traço matricial;

$r(x)$  = posto da matriz  $X$ ;

$N$ ,  $q$  e  $s$  = número total de dados, de clones e de combinações genótipos x ambientes, respectivamente.

$V_f = \sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2$  = variância fenotípica individual;

$h2g = \hat{h}_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$  = herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou dos efeitos genotípicos totais;

$c2int = C_{ge}^2$  = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes (expressão deduzida anteriormente);

$h2mg = \hat{h}_m^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{ge}^2}{n} + \frac{\sigma_e^2}{b}}$  = herdabilidade média dos clones, assumindo sobrevivência

completa, onde:

$n$  = número de ambientes;

$b$  = número de blocos;

$Accgen = \hat{r}_{aa} = \sqrt{\hat{h}_m^2}$  = acurácia da seleção dos clones, assumindo sobrevivência completa;

$rgloc = \hat{r}_{gloc} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2}$  = correlação genotípica entre o desempenho dos clones nos vários ambientes;

$CVgi\% = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{m} \times 100$  = coeficiente de variação genotípica, onde:

$m$  = média da característica avaliada;

$CVe\% = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{m} \times 100$  = coeficiente de variação residual (experimental);

$CVr = \frac{CV_{gi}}{CV_e}$  = coeficiente de variação relativa.

$V_g$ ;  $V_{int}$ ;  $V_e$ ;  $V_f$ ;  $c2int$ ;  $h2g$ ;  $h2mg$ ;  $Accgen$ ;  $rgloc$  = nomenclaturas fornecida pelo programa estatístico Selegen.

E os Componentes de Média (BLUP individual), que geram a Seleção de Genótipos:

$g = \hat{g}_i$  = efeito genotípico predito, livre da interação genótipos x ambientes;

$\mu + g = \hat{\mu} + \hat{g}_i$  = média genotípica ou valor genotípico, livre da interação com os ambientes, sendo  $\hat{\mu}$  a média de todos os ambientes;

$\mu + g + g_{em} = \hat{\mu}_j + \hat{g}_i + (\widehat{ge})_{ij}$  = média genotípica ou valor genotípico médio, somado a interação média com os ambientes avaliados, onde  $\hat{\mu}_j$  é a média do ambiente  $j$ ,  $\hat{g}_i$  é o efeito do genótipo  $i$  no ambiente  $j$  e  $(\widehat{ge})_{ij}$  é o efeito da interação genótipos x ambientes relativo ao genótipo  $i$ .

Os valores da MHVG para a avaliação da estabilidade são obtidos pela expressão:

$$MHVG_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{V_{gij}}}, \text{ onde:}$$

$n$  = número de ambientes onde se avaliou o genótipo  $i$ ;

$V_{gij}$  = valor genotípico do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ , expresso como proporção da média desse ambiente.

Os valores da PRVG para a adaptabilidade são obtidos segundo a expressão:

$$PRVG_i = \frac{1}{n} \times \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{M_j}}{M_j}, \text{ onde:}$$

$M_j$  = média da característica avaliada no ambiente  $j$ .

A seleção conjunta, considerando-se simultaneamente, a característica avaliada, a estabilidade e a adaptabilidade, é dada pela estatística MHPRVG:

$$MHPRVG_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n V_{gij}} \times \frac{1}{V_{gij}}$$

Os clones foram agrupados, por meio da análise multivariada denominada “cluster”, que permite a obtenção de um dendrograma de similaridade. A matriz de distância genética entre os clones foi estimada por meio da distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) (MAHALANOBIS, 1936).

A fórmula para distância de Mahalanobis entre um grupo de valores com média  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_p)^T$  e matriz de covariância  $S$  para um vetor multivariado  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)^T$  é dada por:

$$D^2(x) = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)}$$

A distância de Mahalanobis pode ser definida também como uma medida de dissimilaridade entre dois vetores aleatórios  $\vec{x}$  e  $\vec{y}$  com a mesma distribuição com a matriz de covariância  $S$ :

$$d(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^T S^{-1} (\vec{x} - \vec{y})}$$

Pode ser demonstrado que as superfícies onde a distância de Mahalanobis são constantes, são elipsóides centradas na média do espaço amostral. No caso especial em que as características são não correlacionadas, estas superfícies são esferóides, tal qual no caso da distância Euclidiana. O uso da distância de Mahalanobis corrige algumas das limitações da distância Euclidiana, pois leva em consideração automaticamente a escala dos eixos coordenados e leva em consideração a correlação entre as características (LINDEN, 2009).

Para os clones de cada local, foram utilizadas simultaneamente as variáveis DAP, altura e volume, para o cálculo da distância de Mahalanobis.

Para a obtenção do dendrograma considerou-se o método da ligação média (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages - UPGMA) como técnica hierárquica aglomerativa.

Todo o processo de análises de cluster foi realizado no Software R 3.5.0(2018)(Apêndice).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em razão do grande número de clones para teste e da grande variabilidade no número de mudas disponível por clone, foi adotado o delineamento estatístico em blocos casualizados de uma planta por parcela, que permitiu a maximização do número de clones testados, e ainda garante uma maior acurácia da seleção.

O período de avaliação dos testes foi caracterizado por anos de chuvas abaixo da média e altas temperaturas (Figura 2, apresentada anteriormente).

Conforme apresentado anteriormente a Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD) demonstra a máxima quantidade de água que um solo pode reter, e é função da umidade do solo à capacidade de campo (CC), umidade do solo ao ponto de murcha permanente (PMP); densidade aparente do solo ( $D_a$ ) e profundidade efetiva do sistema radicular da cultura ( $z$ ).

Assim, a variação da textura entre os solos dos Talhões 102 e 155 influi na CAD de cada um deles. Se forem considerados para o solo arenoso (Talhão 155), umidade a capacidade de campo (CC) de 9%, umidade ao ponto de murcha permanente (PMP) de 4%, e densidade ( $D_a$ ) de  $1,65 \text{ g.cm}^{-3}$ , e para o solo argiloso (Talhão 102), CC de 35%, PMP de 17%, e  $D_a$  de  $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$ , conforme os valores médios propostos por Israelsen e Hansen (1967), teremos para o solo argiloso uma CAD equivalente a 2,2 vezes a do solo arenoso.

Foram elaborados os balanços hídricos sequenciais segundo Thornthwaite e Mather (1955), para o período de implantação e avaliação dos testes de 2011 a 2017 (dados de estação do INMET), considerando CAD de 100 mm para o solo arenoso (T155) e 220 mm para o solo argiloso (T102) (Figuras 6 e 7).

Embora o balanço hídrico climatológico normal dos anos de 1987 a 2017 (Figuras 3 e 4, apresentadas anteriormente), mostre um déficit de água no solo estimado em mais de 150 mm nos meses mais secos (setembro e outubro), o balanço hídrico sequencial para o período de implantação e avaliação dos testes (2011 a 2017), apresenta uma condição de déficit ainda muito mais severo (Figuras 6 e 7), próximo a 250 mm entre os meses de setembro e novembro de 2015 e 2017, o que faz com que as chuvas de verão, sejam praticamente insuficientes para gerar o excesso de água historicamente comum entre os meses de janeiro a maio.



**Figura 6 - Extrato do balanço hídrico sequencial, considerando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 100 mm (solo arenoso - T155), entre os anos de 2011 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão (dados INMET, 2018).**

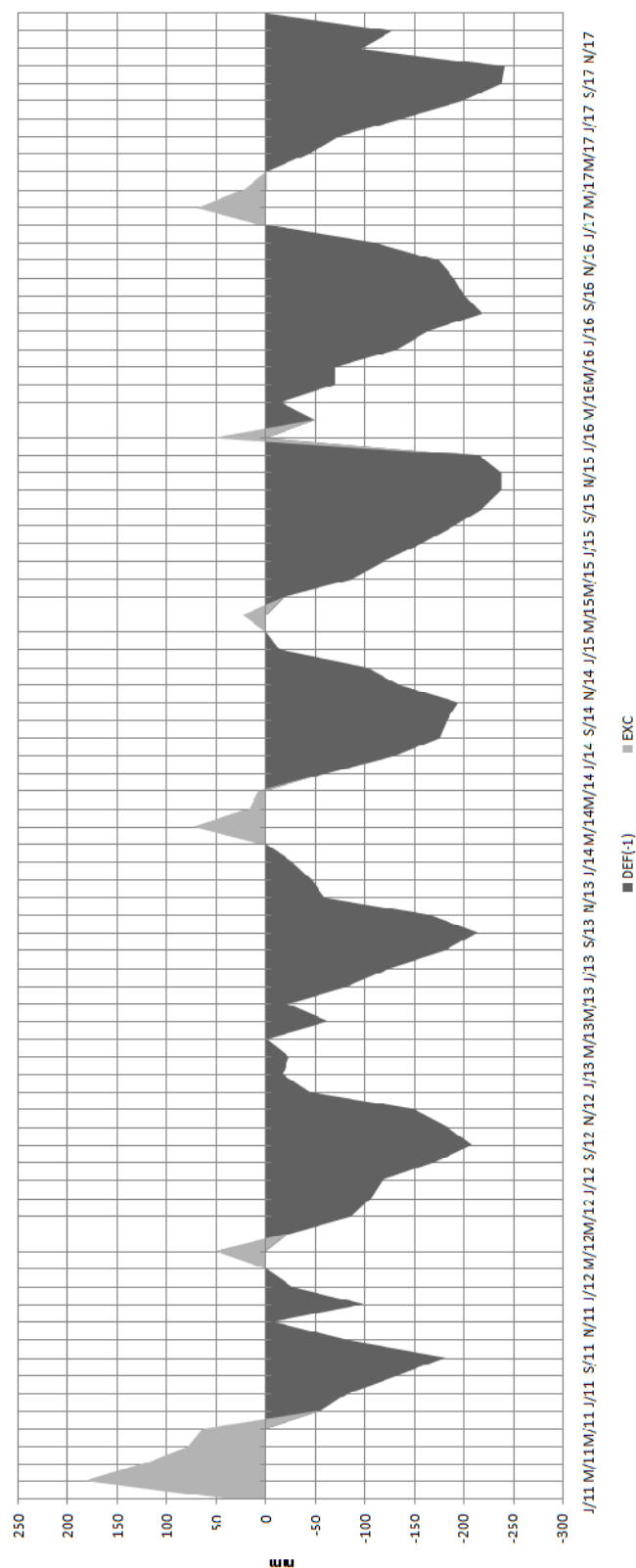
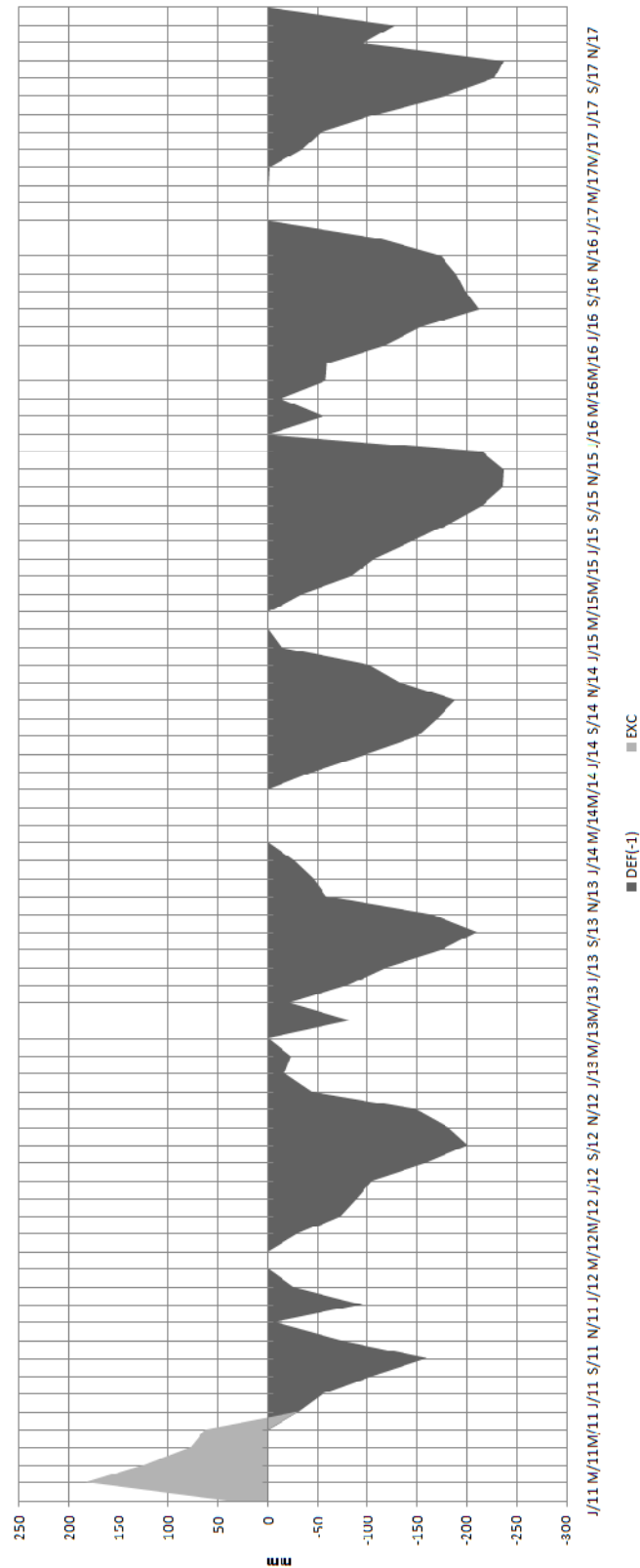


Figura 7 - Extrato do balanço hídrico sequencial, considerando uma capacidade máxima de água disponível para as plantas (CAD) de 220 mm (solo argiloso - T102), entre os anos de 2011 e 2017 em Barra do Corda, estado do Maranhão (dados INMET, 2018).



Entre os anos de 2011 e 2014 onde os totais de precipitação foram superiores o déficit no solo argiloso foi um pouco menor que no solo arenoso, mas nos anos seguintes o déficit foi praticamente igual para as duas condições de solo.

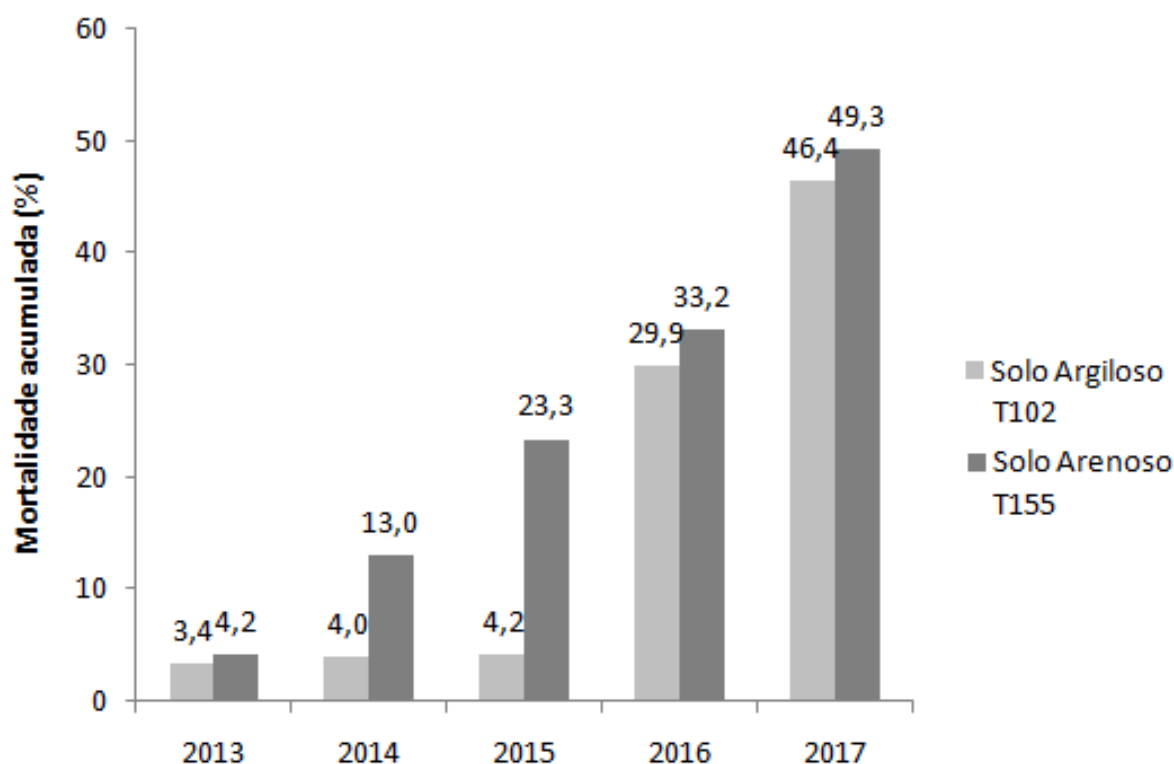
Para o solo arenoso ainda houve um excesso próximo aos 50 mm, nos meses chuvosos, mas no solo argiloso 102 as chuvas foram suficientes apenas para a reposição da água no solo.

A taxa de mortalidade das árvores foi crescente durante o desenvolvimento das árvores (Figura 8).

Nota-se que para o solo argiloso a mortalidade foi sempre mais baixa em relação ao solo arenoso, comprovando a superioridade da qualidade do sítio do solo argiloso.

Além disso, entre os anos de 2013 e 2015 no solo argiloso houve um discreto aumento das árvores mortas, mas com a seca do ano de 2015, onde a precipitação acumulada foi de 650 mm, esta taxa aumentou significativamente, diferente do solo arenoso onde a mortalidade foi crescente ao longo dos anos.

**Figura 8 - Mortalidade acumulada ao longo dos anos (em %) das árvores dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**



Na avaliação de 2017, no solo argiloso, dos 130 clones plantados 71 deles (54,6%) tinham metade ou mais árvores vivas, ou seja, acima de 50% de sobrevivência. No solo arenoso, 67 clones (51,5%) apresentavam a mesma condição. Nesta mesma avaliação, 6 clones no solo argiloso e 7 no solo arenoso, não tinham nenhuma árvore viva.

A redução do número de árvores e clones com condições de sobrevivência indicam uma alta pressão de seleção, comprovando a condição de severo déficit hídrico e alta temperatura aplicada aos clones.

Na análise individual dos testes, os componentes de variância estimados são diferentes de zero, portanto, o efeito dos genótipos (clones) foi significativo para a todas as características de produtividade mensuradas.

As variâncias foram crescentes no sentido genotípica ( $\hat{\sigma}_g^2$ ), residual ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) e fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) para as três características avaliadas no solo argiloso, e no sentido residual ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) e genotípica ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) e fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) no solo arenoso, também para todas as características. Todas as variâncias estimadas sempre aumentaram do solo argiloso para o arenoso (Tabela 3).

As médias para diâmetro (14,52 e 14,18 cm), altura (19,4 e 18,2 m) e volume (0,1728 e 0,1633 m<sup>3</sup>), obtidas nos experimentos são próximas as médias dos plantios comerciais da empresa na região, e representam um incremento médio anual (IMA) aproximado de 21 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, considerando 90% de sobrevivência (correspondente a média dos clones mais adaptados).

Comparando as variâncias estimadas com as obtidas por Garcia e Nogueira (2005) na seleção de clones de *E. grandis*, *E. pellita* e híbridos *E. urograndis* aos 7 anos de idade, para a característica volume, em experimento instalado em Eunápolis, no sul da Bahia, a variância genotípica ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) obtida de 0,0128 foi superior a estimada para os dois talhões (0,0030 no Talhão 102 e 0,0086 no Talhão 155).

O mesmo padrão foi apresentado pela variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) de 0,0276, quando comparada a 0,0069 no Talhão 102 e 0,0138 no Talhão 155 e a variância residual ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) de 0,0112 estimada para os dois experimentos (0,0039 no Talhão 102 e 0,0052 no Talhão 155).

**Tabela 3 - Variâncias estimadas aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para análise individual, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Caráter	Variância	Local	
		Solo Argiloso T102	Solo Arenoso T155
		6 anos	6 anos
<b>DAP</b> <b>(cm)</b>	$\hat{\sigma}_g^2$	3,25	8,06
	$\hat{\sigma}_e^2$	4,68	5,34
	$\hat{\sigma}_f^2$	7,93	13,40
	<b>média</b>	<b>14,52</b>	<b>14,18</b>
<b>ALT</b> <b>(m)</b>	$\hat{\sigma}_g^2$	2,3	6,4
	$\hat{\sigma}_e^2$	4,3	5,3
	$\hat{\sigma}_f^2$	6,6	11,6
	<b>média</b>	<b>19,4</b>	<b>18,2</b>
<b>VOL</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>	$\hat{\sigma}_g^2$	0,0030	0,0086
	$\hat{\sigma}_e^2$	0,0039	0,0052
	$\hat{\sigma}_f^2$	0,0069	0,0139
	<b>média</b>	<b>0,1728</b>	<b>0,1633</b>

$\hat{\sigma}_g^2 = Vg$  = variância genotípica;  $\hat{\sigma}_e^2 = Ve$  = variância residual;  $\hat{\sigma}_f^2 = Vf$  = variância fenotípica individual. Médias aos 6 anos de idade para altura de plantas, em metros (ALT m), diâmetro à altura do peito, em centímetros (DAP cm) e volume, em metros cúbicos (VOL m<sup>3</sup>). Vg; Ve; Vf = nomenclatura fornecida pelo programa estatístico Selegen.

Valores de variância bastante superiores aos verificados, foram obtidos por Osorio et al. (2003), para volume aos seis anos, em testes clonais de *E. grandis* na Colômbia, onde estimaram em 0,2170 a variância genotípica ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) e 0,6530 a variância residual ( $\hat{\sigma}_e^2$ ).

Os parâmetros genéticos estimados de forma individual para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, aos seis anos, nos solos argiloso e arenoso, foram significativos a um grau de liberdade pelo Teste da Razão de Verossimilhança - LRT ( $\chi^2$ ), deste modo, a variabilidade genética existente entre os clones pode ser usada no programa de melhoramento genético (Tabela 4).

**Tabela 4 - Parâmetros genéticos estimados aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para análise individual, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Caráter	Parâmetros genéticos	Local	
		Solo Argiloso T102 6 anos	Solo Arenoso T155 6 anos
<b>DAP (cm)</b>	$\hat{h}_g^2$	0,41	0,60
	$\hat{h}_m^2$	0,93	0,97
	$\hat{r}_{aa}$	0,97	0,98
	$CV_{gi}\%$	12,42	20,01
	$CV_e\%$	14,90	16,29
	$CV_r$	0,83	1,23
	LRT ( $\chi^2$ )	513,91**	1003,96**
<b>ALT (m)</b>	$\hat{h}_g^2$	0,34	0,55
	$\hat{h}_m^2$	0,91	0,96
	$\hat{r}_{aa}$	0,96	0,98
	$CV_{gi}\%$	7,77	13,90
	$CV_e\%$	10,77	12,65
	$CV_r$	0,72	1,01
	LRT ( $\chi^2$ )	345,90**	707,71**
<b>VOL (m<sup>3</sup>)</b>	$\hat{h}_g^2$	0,44	0,62
	$\hat{h}_m^2$	0,94	0,97
	$\hat{r}_{aa}$	0,97	0,99
	$CV_{gi}\%$	31,68	56,81
	$CV_e\%$	36,08	44,30
	$CV_r$	0,88	1,28
	LRT ( $\chi^2$ )	585,00**	1109,66**

$\hat{h}_g^2 = h2g$  = herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou dos efeitos genotípicos totais;  $\hat{h}_m^2 = h2mc$  = herdabilidade média do genótipo;  $\hat{r}_{aa}$  = Acclon = acurácia de seleção dos genótipos;  $CV_{gi}$  = coeficiente de variação genotípica;  $CV_e$  = coeficiente de variação residual ou experimental;  $CV_r = CV_{gi}/CV_e$  = coeficiente de variação relativa; LRT =  $\chi^2$  = teste da razão de verossimilhança.  $\chi^2$  tabelado: 3,84(\*) e 6,63(\*\*), respectivamente para os níveis de significância de 5% e 1%, a 1 grau de liberdade. h2g; h2mc; Acclon = nomenclatura fornecida pelo programa estatístico Selegen.

Estimativas de herdabilidade são ferramentas importantes nos trabalhos de melhoramento, pois expressam a quantidade da variabilidade genética disponível numa população, proporcionando o conhecimento da magnitude relativa das variações genéticas e ambientais (WRIGTH, 1976).

Com o uso de clones as herdabilidades tendem a valores altos. As herdabilidades de parcelas individuais no sentido amplo, ou dos efeitos genotípicos totais ( $\hat{h}_g^2$ ), foram crescentes para as características altura, DAP e volume, com respectivos valores de 0,34, 0,41 e 0,44 para o solo argiloso e 0,55, 0,60 e 0,62 para o solo arenoso (Tabela 4). Embora os valores sejam sempre maiores para o solo arenoso, pode-se observar que a variação das herdabilidades entre as características é maior para o solo argiloso.

Valor próximo aos observados foi estimado por Garcia e Nogueira (2005) na seleção de clones para a característica volume, em experimento instalado em Eunápolis, no sul da Bahia, onde a herdabilidade de parcelas individuais ( $\hat{h}_g^2$ ) foi de 0,46.

Oliveira et al. (2018), estimando os parâmetros genéticos para o incremento médio anual (IMA) em madeira de clones mais produtivos de eucalipto *E. urophylla* x *E. grandis*, aos 3 anos, na região de Cocais, estado de Minas Gerais, estimaram a herdabilidade de parcelas individuais ( $\hat{h}_g^2$ ) em 0,32.

A estimativa das herdabilidades médias dos clones ( $\hat{h}_m^2$ ) segue o mesmo padrão das herdabilidades de parcelas individuais, sendo crescentes para as características altura, DAP e volume, com valores de 0,91, 0,93 e 0,94, respectivamente para o solo argiloso e 0,96, 0,97 e 0,97 para o solo arenoso (Tabela 4).

A alta herdabilidade dos clones indica possibilidade de manutenção dos ganhos em ambientes semelhantes aos dos experimentos.

Segundo Resende (2007), adotando-se a metodologia BLUP, possibilita-se a maximização da acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ), minimizando o erro de predição, ou seja, são minimizadas as diferenças entre os valores genéticos preditos e os verdadeiros, e maximizada a probabilidade de selecionar o melhor entre dois indivíduos quaisquer, ou o melhor entre vários indivíduos, e maximiza o ganho genético esperado por ciclo de seleção.

O mesmo autor sugere que a acurácia seja superior a 50% em etapas avançadas e no mínimo igual a 70% em etapas iniciais ou intermediárias do programa de melhoramento florestal, importante para apontar o grau de confiabilidade dos resultados obtidos na avaliação genética e indicando uma maior eficiência na seleção dos genótipos de interesse.

Os valores estimados para a acurácia ( $\hat{r}_{aa}$ ) para todas as características avaliadas e os dois experimentos foram sempre superiores a 0,96 ou 96%, o que pode atestar a confiabilidade do delineamento experimental utilizado e dos dados obtidos (Tabela 4).

Alta acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) de 0,92, foi obtida por Oliveira et al. (2018) para o incremento médio anual (IMA) em madeira de clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, aos 3 anos, na região de Cocais (MG).

O coeficiente de variação genética ( $CV_{gi}$ ), conforme Sebbenn et al. (1999), é um parâmetro importante para os programas de melhoramento vegetal, nestes experimentos ele expressa, em porcentagem da média geral, a quantidade de variação genética entre os clones.

Os coeficientes de variação genética ( $CV_{gi}$ ) estimados também seguem um padrão crescente para as características altura, DAP e volume, nos dois solos. O volume é um caráter quantitativo dependente das outras variáveis (DAP e altura) e bastante influenciado pelo ambiente.

Para a característica volume os coeficientes ( $CV_{gi}$ ) foram de 31,68 e 56,81%, para os solos argiloso e arenoso, respectivamente, o que mostra boa variação genética entre os clones, indicando dessa forma ótimo potencial para a seleção dos melhores para o crescimento em volume (Tabela 4).

Como na variação genética o coeficiente de variação residual ou experimental ( $CV_e$ ) foi crescente no sentido das características altura, DAP e volume, valores de 36,08% no solo argiloso e 44,30% no arenoso foram estimados para o volume (Tabela 4). Para o solo argiloso o valor é considerado médio e alto para o arenoso, indicando precisão experimental boa e regular, respectivamente. A maior taxa de mortalidade no solo arenoso certamente contribuiu para o aumento do coeficiente de variação experimental.



Segundo Garcia (1989), os coeficientes de variação experimental para volume em testes genéticos de eucalipto podem ser considerados médios entre 20,5 e 38,6%, e altos entre 38,7 e 47,7%. Em condições de campo, é comum para as espécies florestais valores superiores aos observados para outras culturas.

O coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ) denominado também de índice de variação, é outro parâmetro genético importante para o melhoramento vegetal, apresentando como vantagem não ser influenciado pela média da característica (VENCOSKY, 1987). Segundo Vencovsky e Barriga (1992), quanto maior o valor do índice de variação ( $CV_r$ ), maior é o controle genético dos caracteres e menor é a influência dos fatores ambientais no fenótipo. O  $CV_r$  é considerado alto quando próximo de 1 e médio quando próximo a 0,5.

Os valores de  $CV_r$  obtidos foram sempre maiores no solo arenoso em relação ao argiloso para todas as características avaliadas, e para ambos a característica volume apresentou o maior valor, 0,88 no solo argiloso e 1,28 no arenoso. Estes valores são considerados de alta magnitude, portanto, é correto afirmar que a seleção realizada para o volume será efetiva do ponto de vista genético.

As correlações genéticas ( $r_g$ ) estimadas para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, são altas entre as variáveis (Tabela 5).

**Tabela 5 - Correlações genéticas ( $r_g$ ) estimadas aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise individual, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Correlação genética	Local	
	Solo Argiloso T102	Solo Arenoso T155
DAP X ALT	0,84	0,84
ALT X VOL	0,86	0,86
DAP X VOL	0,98	0,98

Este comportamento é esperado para DAP x VOL e ALT x VOL, uma vez que o volume é função do DAP e altura, mas a correlação próxima a 98% entre o DAP x VOL, indica pouca variação na seleção dos clones por qualquer destas características.

Para a análise conjunta dos experimentos foi utilizado o método MHPRVG (média harmônica da performance relativa dos valores genéticos) preditos por BLUP, que tem como base os trabalhos de Resende (2004) e Oliveira et al. (2005).

A estabilidade corresponde a média harmônica dos valores genotípicos através dos locais (MHVG), a adaptabilidade pode ser dita como a performance relativa dos valores genotípicos em relação a média de cada local (PRVG) e a estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (para cada característica estudada) corresponde a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG).

As análises de deviance foram realizadas para os genótipos (clones) e ambientes, para todas a características avaliadas (Tabela 6).

Todos o valores estimados foram significativos, mostrando que entre os clones existe variabilidade genética e possibilidade de ganhos com a seleção, e na interação clones x ambientes, existe um comportamento diferencial entre os clones dentro de cada ambiente. Os valores de LRT ( $\chi^2$ ) foram sempre maiores para o efeito clones x locais do que entre os clones, atestando a diferença entre os clones nos ambientes.

**Tabela 6 -Análise de deviance ( $\chi^2$ ) para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise conjunta, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Efeito	Caráter		
	DAP (cm) LRT ( $\chi^2$ )	ALT (m) LRT ( $\chi^2$ )	VOL (m <sup>3</sup> ) LRT ( $\chi^2$ )
Clones	80,26**	43,63**	86,06**
Clones x locais	147,78**	156,79**	180,95**

LRT ( $\chi^2$ ) = teste da razão de verossimilhança.  $\chi^2$  tabelado: 3,84(\*) e 6,63(\*\*), respectivamente para os níveis de significância de 5% e 1%, a 1 grau de liberdade.

Para a análise conjunta dos dados, a variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) foi muito mais influenciada pela variância genotípica ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) e variância experimental ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) do que pela variância da interação genótipos x ambientes ( $\hat{\sigma}_{ge}^2$ ) (Tabela 7).

O coeficiente de determinação da interação genótipos x ambientes ( $\hat{C}_{int}^2$ ) embora tenha apresentado pouca variação, foi crescente no sentido das características DAP, volume e altura (respectivamente, 0,11, 0,2 e 0,1117), a altura é a característica sempre mais afetada pelas variações de sítio (Tabela 8).

Coefficientes de determinação da interação genótipos x ambientes ( $\hat{C}_{int}^2$ ) significativos como os estimados, proporcionam altos valores de correlação genotípica entre os ambientes ( $\hat{r}_{gloc}$ ), para altura o valor foi próximo a 70% e acima de 80% para DAP e volume (Tabela 8).

**Tabela 7 - Variâncias estimadas aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise conjunta, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Variância	Caráter		
	DAP (cm)	ALT (m)	VOL (m <sup>3</sup> )
$\hat{\sigma}_g^2$	4,58	2,9	0,0048
$\hat{\sigma}_{ge}^2$	1,18	1,4	0,0012
$\hat{\sigma}_e^2$	5,00	4,8	0,0045
$\hat{\sigma}_f^2$	10,76	9,1	0,0105
<b>média</b>	<b>14,39</b>	<b>18,7</b>	<b>0,1692</b>

$\hat{\sigma}_g^2$  = Vg = variância genotípica;  $\hat{\sigma}_{ge}^2$  = Vint = variância da interação genótipo x ambiente (G x E);  $\hat{\sigma}_e^2$  = Ve = variância residual;  $\hat{\sigma}_f^2$  = Vf = variância fenotípica individual. Médias aos 6 anos de idade para altura de plantas em metros (ALT m), diâmetro à altura do peito em centímetros (DAP cm) e volume em metros cúbicos (VOL m<sup>3</sup>). Vg; Vint; Ve; Vf = nomenclatura fornecida pelo programa estatístico Selegen.

**Tabela 8 - Parâmetros genéticos estimados aos seis anos, para as características diâmetro à altura do peito, altura e volume, para a análise conjunta, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Parâmetro genético	Caráter		
	DAP (cm)	ALT (m)	VOL (m <sup>3</sup> )
$\hat{h}_g^2$	0,43	0,2	0,4561
$\hat{h}_m^2$	0,86	0,8	0,8683
$\hat{C}_{int}^2$	0,11	0,2	0,1117
$\hat{r}_{aa}$	0,93	0,8	0,9318
$\hat{r}_{gloc}$	0,80	0,7	0,8032
$CV_{gi}\%$	14,87	9,0	40,8866
$CV_e\%$	15,54	11,7	39,7999
$CV_r$	0,97	0,8	1,0402

$\hat{h}_g^2 = h2g$  = herdabilidade parcelas individuais no sentido amplo, ou dos efeitos genotípicos totais;  $\hat{h}_m^2 = h2mc$  = herdabilidade média do genótipo;  $\hat{C}_{int}^2 = c2int$  = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente;  $\hat{r}_{aa} = Acclon$  = acurácia de seleção dos genótipos;  $\hat{r}_{gloc} = rgloc$  = correlação genotípica entre os ambientes;  $CV_{gi}$  = coeficiente de variação genotípica;  $CV_e$  = coeficiente de variação residual ou experimental;  $CV_r = CV_{gi}/CV_e$  = coeficiente de variação relativa;  $LRT = \chi^2$  = teste da razão de verossimilhança. h2g; h2mc; c2int; rgloc; Acclon = nomenclatura fornecida pelo programa estatístico Selegen.

Segundo Vencovsky e Barriga (1992) os altos valores de correlação genotípica ( $\hat{r}_{gloc}$ ) indicam que a interação entre os clones e os sítios não é de natureza complexa, ou seja, a posição relativa dos genótipos é pouco alterada nos ambientes. A interação simples ocorre quando os genótipos apresentam diferentes comportamentos nos diferentes tipos de ambiente, mas a classificação da produtividade dos genótipos não se altera entre os ambientes (MORAIS et al., 2010).

As herdabilidades dos efeitos genotípicos totais ( $\hat{h}_g^2$ ) e herdabilidades médias de clones ( $\hat{h}_m^2$ ) estimadas para a análise conjunta (Tabela 8) foram próximas as estimadas para o solo argiloso na análise individual (Tabela 4).

Os valores de herdabilidade média ( $\hat{h}_m^2$ ) de 0,86, e acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) de 0,93 para DAP e volume (Tabela 8) indicam confiabilidade dos dados, precisão experimental e certeza no ordenamento dos melhores clones.

Os coeficientes de variação genotípica ( $CV_{gi}$ ) para a análise conjunta continuam indicando ótimo potencial para a seleção dos melhores para o crescimento em volume, assim como os coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ) são considerados médios e indicam boa precisão experimental (Tabela 8).

O ordenamento dos clones foi realizado pelo BLUP individual do Selegen para cada local (solo argiloso T102 e arenoso T155) para a análise conjunta dos locais, utilizando o método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), que se baseia em valores genotípicos preditos, onde são agrupados na estatística, a estabilidade, a adaptabilidade e a produtividade, o que facilita a seleção dos genótipos superiores.

Entre os 20 melhores clones houve pouca diferença no ordenamento da análise conjunta, de estabilidade de valores genotípicos (MHVG), de adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG) e de estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG). As maiores diferenças ocorreram na análise individual dos solos argiloso (T102) e arenoso (T155) (Tabela 9).

A seleção com base apenas na análise individual dos talhões poderia ser errada ou excluir clones importantes, pois a análise não penaliza todos os desvios, e não seleciona pelo valor genotípico.

Entre os 10 melhores clones, 8 são comuns a todos os métodos de seleção embora em diferentes posições do ordenamento. Existe pouca alteração entre o ordenamento dos clones, apesar da diferença da qualidade de sítio dos solos argiloso (T102) e arenoso (T155).

Apesar da já discutida superioridade da capacidade produtiva do ambiente do solo argiloso, em relação a fertilidade e capacidade de suprimento de água, a extrema limitação de água muito provavelmente é a responsável pela pequena diferença de produtividade entre os locais, uma vez que esta impede que os clones explorem estas vantagens do solo argiloso.

**Tabela 9 - Ordenamento dos clones para a avaliação de volume aos seis anos nas diferentes análises, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**

Ordenamento	Solo argiloso	Solo arenoso	Análise Conjunta	MHVG	PRVG	MHPRVG
1	35	10	T7	T7	T7	T7
2	4	T7	10	10	10	10
3	T7	3	4	4	T5	T5
4	10	4	T5	3	4	4
5	3	T5	3	T5	3	3
6	30	T18	T3	T3	T3	T3
7	1	30	35	35	35	35
8	T18	T3	30	30	30	30
9	5	1	1	1	1	1
10	29	35	T18	T18	T18	T18
11	102	5	98	98	98	98
12	58	98	5	5	5	5
13	21	73	73	73	73	73
14	T8	T16	29	29	29	29
15	54	29	T10	T10	T10	T10
16	44	T10	T16	T16	T16	T16
17	103	60	102	102	102	102
18	T9	T17	58	58	58	58
19	T2	112	60	121	60	60
20	6	83	54	60	54	54

Na prática, o alto índice de falhas gera algumas observações equivocadas no ordenamento dos melhores clones, por exemplo a melhor testemunha T7, que apresenta apenas 5 árvores vivas no solo argiloso, mas foi bem classificada pois tem 17 árvores no solo arenoso e um bom volume. As seguintes T3 e T5 não tem nenhuma árvore viva no solo argiloso.

Assim, após a avaliação dos dados uma avaliação qualitativa dos clones foi realizada em campo, considerando os melhores clones os que apresentam sobrevivência acima de 85%, boas condições de arquitetura de copa, sanidade e resistência a pragas. Os seis melhores clones são 1, 3, 4, 10, 30 e 35 e as melhores testemunhas T16 e T18.

Para os clones 3, 4 e 10 foi realizada também a análise de densidade da madeira e esta é sempre superior a  $530 \text{ kg.m}^{-3}$ . Densidades acima de  $500 \text{ kg.m}^{-3}$  são fundamentais para a produção de carvão, portanto, do ponto de vista prático estes três clones já foram indicados para aumento da área plantada em escala pré-operacional.

Os clones 1, 30 e 35 deverão ter a madeira avaliada para densidade e também serão indicados para aumento da área de testes e/ou pré-operacional, caso a densidade da madeira seja adequada ao produto final carvão.

A média de volume individual por árvores, estimado pelo método de estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos (MHPRVG), para os seis melhores clones é de aproximadamente  $0,36 \text{ m}^3$ . Considerando o espaçamento atual e sobrevivência de 85%, o uso destes clones resultaria num incremento médio anual (IMA) de  $43 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Como a maioria dos clones comerciais utilizados atualmente na empresa, dificilmente chega a produção de  $30 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , isto representa um ganho próximo de 50% na produção em volume de madeira.

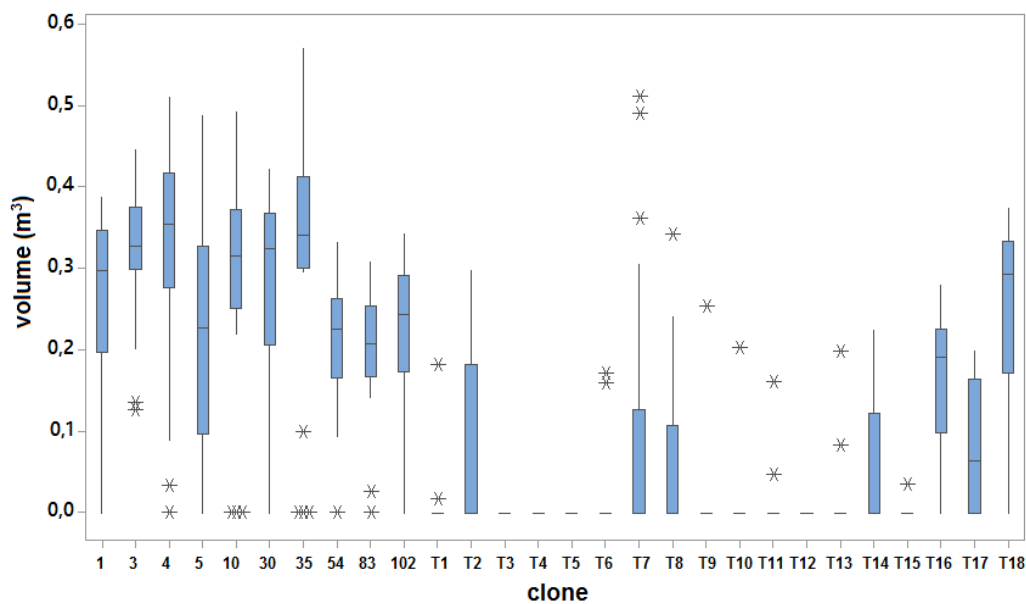
Para fins de comparação, a testemunha T5 é o clone A217, de desenvolvimento atribuído à Ferro Gusa Carajás empresa do Grupo Vale, bastante plantado nas regiões Norte e Nordeste, sua produtividade média na empresa é de  $26 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com o agravante de alta mortalidade (acima de 60% em vários locais).

Outro clone muito plantado no Brasil, o AEC144, corresponde a testemunha T14, desenvolvido pela Acesita/Aperam, está colocado no ordenamento do Selegen em volume na 38° posição na análise individual do solo arenoso, na 78° posição na análise individual do solo argiloso e na 67° posição na análise conjunta. Sua produtividade média na empresa é de  $28 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , e também apresenta alta mortalidade.

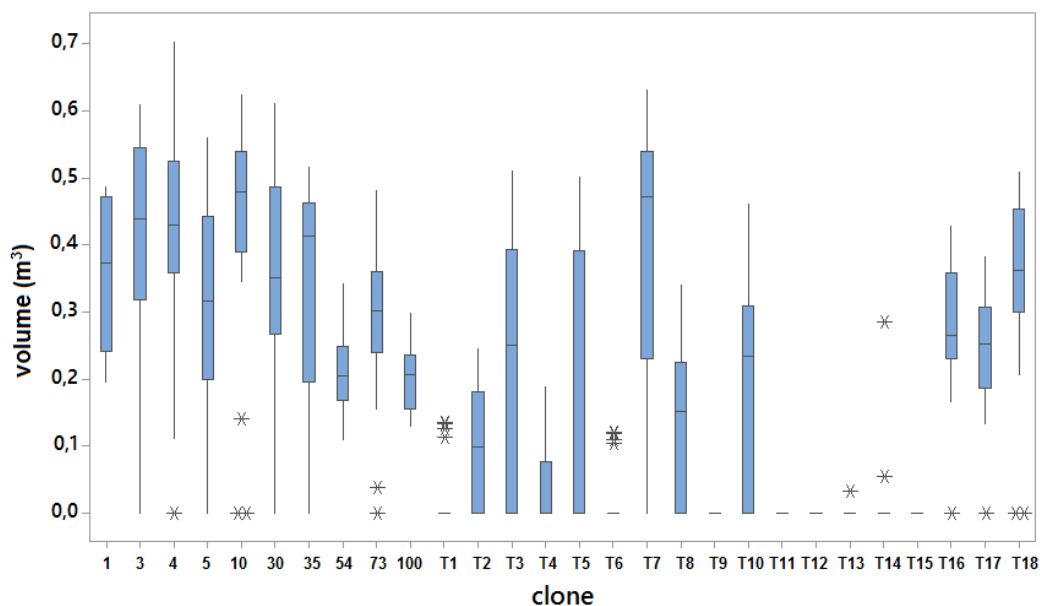
Para fins de comparação, se considerarmos como populações distintas os 18 clones comerciais (testemunhas) e os 112 clones selecionados, na análise de variâncias teremos valores sempre maiores para as testemunhas em função do tamanho da amostra, no entanto, a dispersão dos valores para os clones selecionados é muito maior, confirmando que uma base genética ampla permite a seleção e a prática da silvicultura clonal do eucalipto em regiões tropicais, que apresentam elevado déficit hídrico.

Numa análise apenas quantitativa para o volume individual, comparando os 10 melhores clones em termos de média e as testemunhas para os solo argiloso (Figura 9) e para o solo arenoso (Figura 10), o gráfico do tipo boxplot ilustra claramente a superioridade de produção em volume dos melhores clones em relação as testemunhas.

**Figura 9 - Gráfico boxplot para o volume individual dos 10 melhores clones e testemunhas no solo argiloso (T102).**



**Figura 10 - Gráfico boxplot para o volume individual dos 10 melhores clones e testemunhas no solo argiloso (T102).**





Uma observação muito importante é que os seis melhores clones 1, 3, 4, 10, 30 e 35, assim como as duas melhores testemunhas T16 e T18, apresentam a tipicidade fenotípica do *E. camaldulensis* (Figura 11), com variações de forma de folha e aspecto dos ramos e certamente são híbridos da espécie.

Essa constatação é importante no planejamento da estratégia geral do programa de melhoramento, a introdução da espécie *E. camaldulensis* pura na forma de testes de procedências e/ou progênies pode gerar ganhos futuros. No entanto, o *E. camaldulensis* é a espécie de eucalipto que apresenta a mais ampla distribuição, ocorre entre as latitudes 12°48'S e 38°15'S, e maior variabilidade dentro da Austrália (ELDRIDGE et al., 1993). Para direcionar a seleção de procedências dentro desta ampla distribuição, pode-se utilizar o conceito de homoclimas descrito por Brown et al. (1997), já apresentado anteriormente.

**Figura 11 - Aspecto do clone 3 com características fenotípicas de *E. camaldulensis*, dos testes clonais de *Eucalyptus* spp., localizados no município de Grajaú, estado do Maranhão.**



Este conceito compara a região tropical australiana dos trópicos de monções caracterizados por estações secas e úmidas bem definidas aos climas do nordeste do Brasil e a Venezuela, leste da Indonésia, sul e leste Índia e grande parte da África Central e Ocidental (sul de Sahel). Assim, procedências que ocorrem na Austrália, acima do Trópico de Capricórnio em locais de solo arenoso e com baixa precipitação podem ser adaptadas as regiões de Barra do Corda e Grajaú, estado do Maranhão.

Na Austrália a espécie *E. camaldulensis* ocorre na formação chamada Floresta Aberta Típica junto com o *E. alba*, *E. tereticornis* e *C. citriodora*, estas espécies tem como características gerais não reagirem a espaçamento e adubação, baixa capacidade de produção, alta densidade da madeira, sistema radicular profundo, boa capacidade de brotação e alta resistência ao déficit hídrico e fogo (VIEIRA, 1992). Este conhecimento da espécie como um ecótipo pode levar a outros ganhos econômicos e de produtividade em práticas silviculturais, como a redução do espaçamento de plantio, diminuição do adubo utilizado e condução de rebrotas.

Para tentar avaliar a influência positiva da espécie *E. camaldulensis* os clones foram agrupados, por meio da análise multivariada de “cluster” para a obtenção de um dendrograma de similaridade. A distância genética entre os clones foi estimada pela distância de Mahalanobis para cada talhão e utilizadas simultaneamente as variáveis DAP, altura e volume.

O dendrograma considerou o método da ligação média (UPGMA) como técnica hierárquica aglomerativa (Figuras 12 e 13).

No Talhão 102 são agrupados os clones 1, 3, 4, 5, 10, 30, 35, 54, 102 e T18 (Figura 14), ou seja, os seis melhores clones na seleção geral mais a testemunha T18 que apresentam a tipicidade fenotípica do *E. camaldulensis*, e os demais clones 5, 54 e 102 que também apresentam alguns traços fenotípicos do *E. camaldulensis*, mas apresentam mais características de *E. urophylla*.

Para o Talhão 155 estão no mesmo grupo os clones 1, 3, 4, 5, 10, 30 e 35, e as testemunhas T7 e T18 (Figura 15), portanto, apenas os clones 5 e T7 não apresentam o fenótipo típico de um híbrido de *E. camaldulensis* e estão visualmente mais próximos do *E. urophylla*.

**Figura 12 - Dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de *Eucalyptus* spp. do solo argiloso (T102), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão, calculado pela distância de Mahalanobis (variáveis DAP, altura e volume) e método da ligação média (UPGMA).**

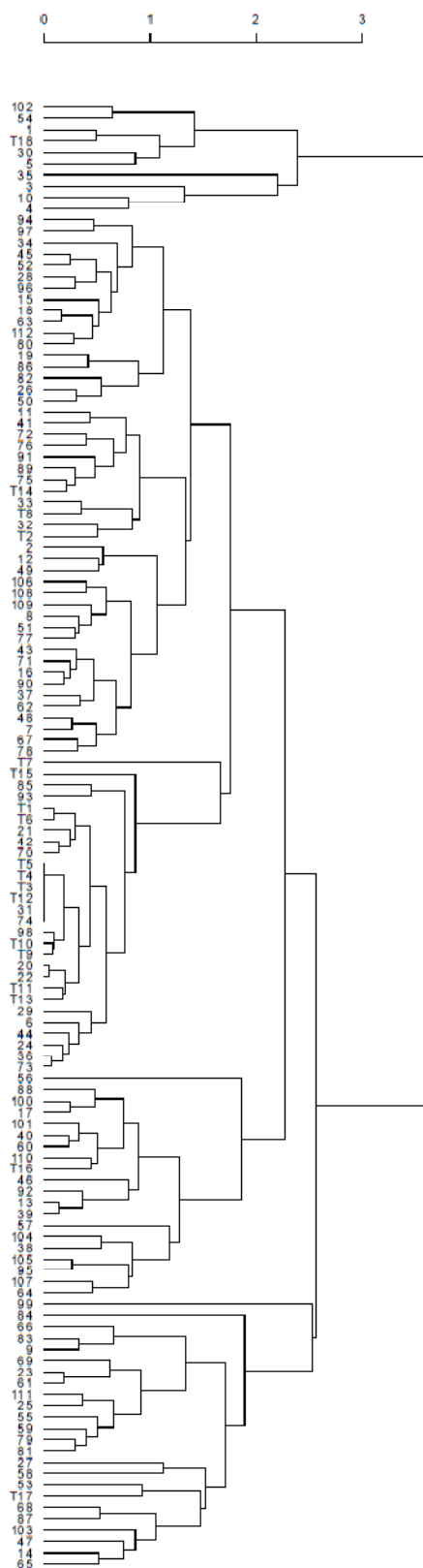
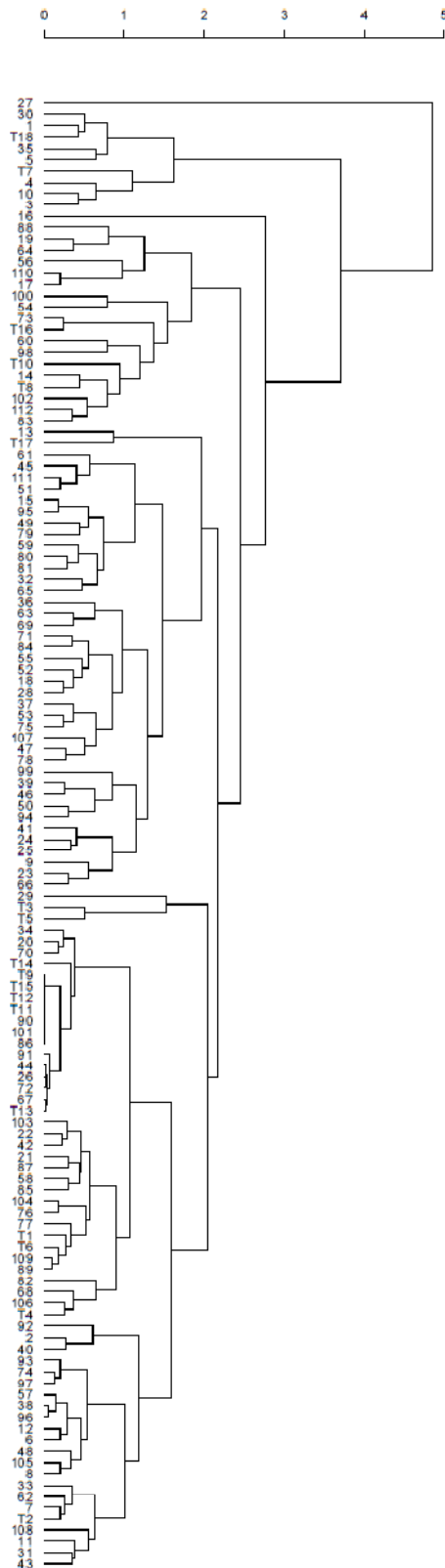
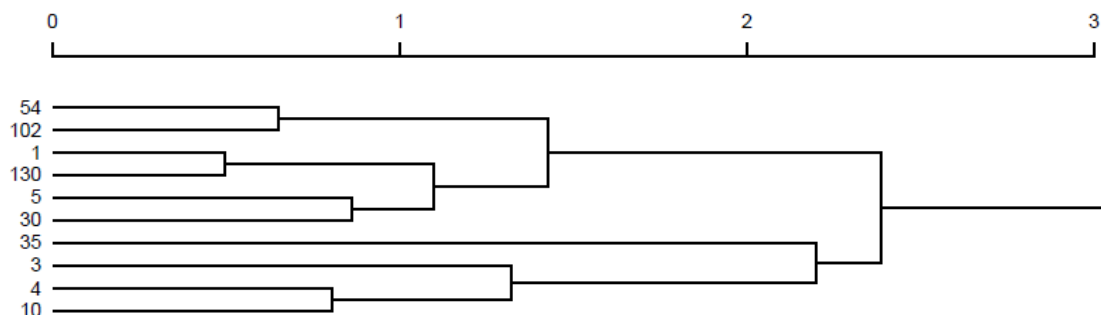


Figura 13 - Dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de *Eucalyptus* spp. do solo arenoso (T155), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão, calculado pela distância de Mahalanobis (variáveis DAP, altura e volume) e método da ligação média (UPGMA).

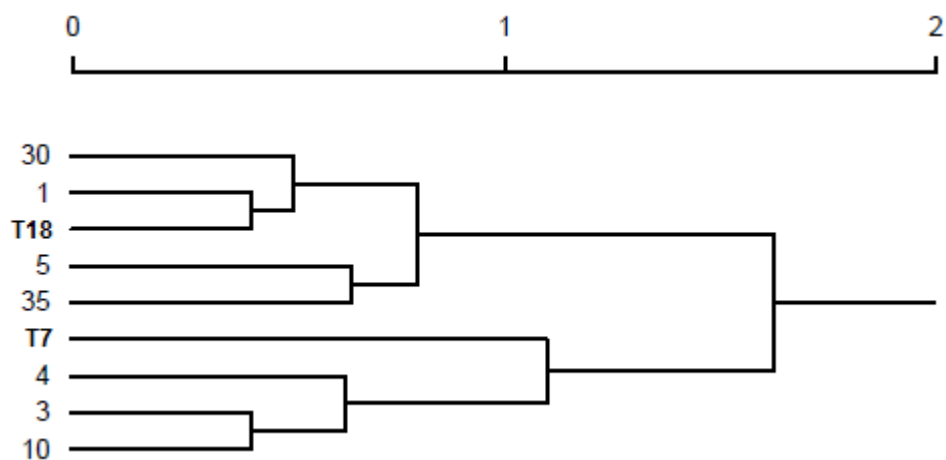


**Figura 14 - Agrupamento dos melhores clones no dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de *Eucalyptus* spp. do solo argiloso (T102), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão.**



Desta forma, a participação do *E.camaldulensis* pode ser considerada fundamental para a geração de clones adaptados à região.

**Figura 15 - Agrupamento dos melhores clones no dendrograma de similaridade entre os clones do teste clonal de *Eucalyptus* spp. do solo arenoso (T155), localizado no município de Grajaú, estado do Maranhão.**



## 6 CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa permitem relatar as seguintes conclusões:

- os clones de eucalipto estudados apresentam alta variabilidade para a tolerância à seca.
- concluiu-se que existe interação simples genótipos x ambientes para os clones.
- os melhores clones para as características de crescimento foram 1, 3, 4, 10, 30 e 35.
- características de tipicidade fenotípica da espécie *E. camaldulensis* estão presentes nos seis melhores clones e duas melhores testemunhas.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2007. p. 93-121.
- BELLOTE, A.; DEDECEK, R.; ICERI, P. M. Crescimento do *Eucalyptus grandis* plantado em diferentes solos no Estado de São Paulo, Brasil. In: Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas, 1, 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Colombo, Embrapa Florestas, 2009.
- BERTOLUCCI, F.; REZENDE, G.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 13, n. 51, p. 12-18, 1993.
- BOLAND, D. J.; BROOKER; M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; MCDONALD, M. W.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. 5 ed. Victoria: CSIRO publishing. 2006.
- BRIGATTI, R. A.; FERREIRA, M.; SILVA, A. P.; FREITAS, M. **Estudo comparativo do comportamento de alguns híbridos de *Eucalyptus* spp.** Piracicaba: IPEF, 1980. 7p. (Circular Técnica, 123).
- BROOKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A. **Field Guide to *Eucalyptus***. 3 ed. Melbourne: Bloomings. 2006, 356p.
- BROWN, A. G.; TURNBULL, J. W.; BOOTH, T. H. The Australian Environment. In: DORAN, J. C.; TURNBULL, J. W. **Australian trees and shrubs: species for land rehabilitation and farm planting**. Canberra: ACIAR, 1997. 384 p.
- CAIXETA, R. P.; CARVALHO, D. D.; ROSADO, S. C. D. S.; TRUGILHO, P. F. Variações genéticas em populações de *Eucalyptus* spp. detectadas por meio de marcadores moleculares. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 357-363, 2003.
- CARVALHO, A. P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. D. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; FERREIRA, C. A.; BARTOSZECK, A. Efeitos de característica do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p.51-66, 1999.
- CHAPERON, H. Vegetative propagation of *Eucalyptus*. In: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. 1987, Buenos Aires, **Anais...** Buenos Aires, CIEF, 1987, p. 215-232.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983, 333 p.

ELDRIDGE, K. G. Genetic Improvement of *Eucalyptus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 27, n. 5, p. 205-209, 1978.

ELDRIDGE, K. G.; DAVIDSON, C.; HARWOOD, G.; VAN WYK, G. **Eucalypt Domestication and Breeding**. Oxford: Oxford University Press, 1993. 288 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

FERREIRA, M. Interação genótipo x ambiente e sua importância na seleção de espécies/procedências. In: Reunião sobre interação do genótipo com clima e solo. 1986, Piracicaba. **Reunião...** Piracicaba: IPEF, 1986, p. 16-17.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 45, p. 22-30, 1992.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético de eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2010. 199 p.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 12p. (Circular Técnica, 171).

GARCIA, C. H.; NOGUEIRA, M. C. S. Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 107-112, ago. 2005.

GIL, S. S.; SINGH, T. H. Stability parameters for yield and yield components in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Egyptian Journal Genetics and Cytology**, Giza v.11, p.9-13, 1982.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. 1994. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

GONÇALVES, J. D. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. D. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 24-39, 1990.



GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A., SOUZA, A. H. B. N.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 2016. Santa Maria: Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2016. cap. 4.

GOOGLE. Google Earth. Version 7.3.1.4507. Fazenda Sibéria, Grajaú-MA. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-5.7517116,-46.4804858,100565m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR&authuser=0>>. Acesso em: 22/08/2017.

HENRIQUES, E. P. **Variabilidade genética de caracteres de produção e qualidade da madeira, para carvão vegetal, em progênies de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e a sua evolução no Brasil**. Piracicaba: IPEF, 2000. 11 p. (Circular Técnica, 192).

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. **Nutrição e adubação em minijardim clonal hidropônico de *Eucalyptus***. Piracicaba: IPEF, 2002. 24 p. (Circular Técnica, 194).

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. Systematic studies in the eucalypts 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, New South Wales, v. 6, n. 2/3, p. 185-504, 1995.

IKEMORI, Y. K. **A variação genética em características de *Eucalyptus grandis* em micro-propagação e em sementes**. 1990. Tese (Doutorado). University of Oxford, Oxford, 1990.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2015. Brasília, 2015. 80 p. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 03/08/2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2016. Brasília, 2016. 96 p. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 12/06/2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2017. Brasília, 2017. 80 p. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 25/04/2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 16/01/2018.

ISRAELSEN, R. W.; HANSEN, V. E. **Principios y aplicaciones del riego**. Barcelona: Reverté, 1965. 396p.

JOHNSON, L. A. S.; BRIGGS, B. G. Myrtaceae. In: MORLEY; B. D.; TOELKEN; H. R. **Flowering plants in Australia**. Adelaide: Rigby Publishers, 1983. p. 175–185.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da Faculdade Salesiana Maria Auxiliadora**, Macaé, n. 4, p. 18-36, 2009.

MAHALANOBIS, P. C. On the Generalized Distance in Statistics. **Proceedings of the National Institute of Sciences of India**. v. 2, n. 1, p. 49-55.

MATHESON, A. C.; COTTERILL, P. P. Utility of Genotype x Environment Interactions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 159-174, 1990.

MIRANDA, A.C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. Botucatu, 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2012.

MORAES, C. B. **Variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* para tolerância ao frio**. Botucatu, 2013. 90 f. Tese. (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2013.

MORAIS, E.; ZANATTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação genética, interação genótipo solo e ganhos na seleção em teste de progênies de *Corymbia citriodora* Hook em Luiz Antonio, São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 11-18, 2010.

MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interações progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. **IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, 1988.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.

NUNES, B. H. S.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Implicações da interação genótipo x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2002.

ODA, S.; FERREIRA, J. E. M.; KROGH, H. J. O.; MENCK, A. L. M.; KALIL, M. L. P. Introdução de espécies/procedências de *Eucalyptus* na região sub-úmida do estado do Maranhão. **IPEF**, Piracicaba, n. 34, p. 57-61, 1986.

ODA, S.; SILVA, J. F.; MELLO, E. J.; SOUZA, I. C. G. Melhoramento Florestal. In: Borém, A. **Biotecnologia Florestal**. Viçosa: UFV Viçosa, 2007, p. 123-142.

OLIVEIRA, C. V. A; NUNES, A. C. P. ; MENDES, G. G. C.; TAKAHASHI, E. K.; SANTOS, G. A. Seleção clonal precoce de híbridos de *Eucalyptus* spp.com base na produtividade de madeira. In: XXI Simpósio Internacional de Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas.2018, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2018.

OLIVEIRA, R.; RESENDE, M. D. V.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; KOEHLER, H. S. Genotypic evaluation and selection of sugarcane clones in three environments in the state of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, n. 4, p. 426-434, 2005.

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluación de la calidadde las estaciones forestales. Revision bibliografica. **Ecologia**, Madrid, n.2, p.155-184, 1988.

OSORIO, L. F.; WHITE, T. L.; HUBER, D. A. Age–age and trait–trait correlations for *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and their implications for optimal selection age and design of clonal trials. **Theoretical and Applied Genetics**, Frankfurt, v. 106, n. 4, p. 735-743, 2003.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PRYOR, L. D.; JOHNSON, L. A. S. **A Classification of the Eucalypts**. Canberra: Australian National University Press, 1971.

PRYOR, L. D. **The biology of eucalypts**. London: Edward, 1976. p. 82.

POGGIANI, F.; SUITER, W. Importância da nebulização intermitente e efeito do tratamento hormonal na formação de raízes em estacas de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n.9, p. 119-129, 1974.

RALSTON, C. W. Recognition and mapping of site types for afforestation. In: FAO World Symposium on Man-Made Forest and their Industrial Importance.1967, Canberra. **Proceedings...** Canberra, 1967. v.1, p.172-87.

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 27/04/2018.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. v. 1. 57 p.

RESENDE, M. D. V. **Selegen-Reml/Blup: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.

RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F. Seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi-espécies (SRR-PSME) de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.57, p.57-60, 2008.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; HIGA, A. R. Comparação entre métodos de avaliação da estabilidade fenotípica e adaptabilidade aplicados a dados de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL). **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p. 3-34, 2001.

REUNIÃO da Comissão de Melhoramento da SIF, VI. 1989, Capelinha. **Reunião...** Capelinha: SIF, 1989. 53 p.

REUNIÃO sobre Técnicas para Produção de Híbridos. 1987. Piracicaba. **Reunião...** Piracicaba: IPEF, 1987. 72 p.

ROCHA, M. G. B. Resultados Preliminares do Programa de Híbridação - Acesita Energética S. A. In: Reunião da Comissão de Melhoramento Genético da SIF, VI, 1989, Capelinha. **Reunião...** Viçosa: SIF, 1989. p. 7-21.

SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente-MG**. 2001. 77f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001

SANDS, R.; MULLIGAN, D. R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n.30, p.91-111, 1990.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; DI DIO JUNIOR, O. J. Variação genética entre e dentro de populações de amendoim - *Pterogyne nitens*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 29-40, 1999.

STAPE, J. L.; GOMES, A. N. Influência dos estresses hídricos e nutricionais no crescimento de plantios de eucaliptos no nordeste do Brasil. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 10., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 1996.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 17-31, 2004.

THORNTHWAITTE, C. W.; MATHER, J. R. Publications in climatology. **The Water Balance**, v. 8, p. 1-104, 1955.

VENCOVSKY, R. Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasmas de espécies alógamas. **IPEF**, Piracicaba, n. 35, p.79-84, 1987.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, G. P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VERRYN, S. D. Eucalyptus hybrid breeding in South África. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Queensland, Australia. 2000. p.191-199.

VIEIRA, J. D. Programa de produção de híbridos. Depto. de Melhoramento Genético Florestal - Chamflora Agrícola Ltda. Mogi Guaçu. 1992. p. 71.

VOSE, J. M.; SWANK, W.T. Effect of long-term drought on the hydrology and growth of a white pine plantation in the southern Appalachians. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 64, p. 25-39, 1994.

WRIGHT, J. W. **Introduction to forest genetics**. New York: Academic Press, 1976. 464p.

ZOBEL, B. J.; WYK, G. V.; STAHL, P. **Growing exotic forest**. New York: John Willey & Sons. Inc., 1987. 508p.



**APÊNDICE A – CROQUI DOS TESTES CLONAIIS - Distribuição dos Blocos**

<b>BLOCO 10</b>	<b>BLOCO 20</b>
<b>BLOCO 9</b>	<b>BLOCO 19</b>
<b>BLOCO 8</b>	<b>BLOCO 18</b>
<b>BLOCO 7</b>	<b>BLOCO 17</b>
<b>BLOCO 6</b>	<b>BLOCO 16</b>
<b>BLOCO 5</b>	<b>BLOCO 15</b>
<b>BLOCO 4</b>	<b>BLOCO 14</b>
<b>BLOCO 3</b>	<b>BLOCO 13</b>
<b>BLOCO 2</b>	<b>BLOCO 12</b>
<b>BLOCO 1</b>	<b>BLOCO 11</b>

**ENTRADA**

**APÊNDICE B –CROQUI DOS TESTES CLONAIIS - Localização  
dos Clones nos Blocos**

58	71	81	43	T7	98	82	48	30	T12
56	77	31	112	32	102	22	2	54	24
110	59	103	29	39	17	28	50	66	61
99	7	20	T9	12	38	3	44	45	74
70	63	T11	18	T16	55	88	106	4	64
95	T4	9	40	108	14	21	65	52	51
T18	27	76	25	19	87	104	T1	T17	34
94	109	97	1	85	62	16	101	5	46
41	10	107	T10	T3	13	60	72	53	57
67	T8	T13	26	105	111	35	37	15	68
75	23	11	93	96	90	T15	6	78	86
36	100	79	8	33	91	T2	80	89	92
84	T5	T6	73	47	83	69	49	T14	42



**ENTRADA      BLOCO 1**

55	68	46	84	44	61	56	T4	72	34
T12	88	6	77	96	21	2	26	22	71
73	10	19	T7	T17	79	87	63	15	T14
86	T8	109	106	24	62	89	23	T11	38
69	112	T10	13	64	14	76	91	30	5
92	80	104	97	T2	T6	37	36	47	28
95	T13	54	7	20	27	4	17	T18	75
43	12	100	50	110	18	103	T15	T9	82
81	52	67	111	78	16	98	T1	74	58
99	35	T3	39	25	8	101	90	1	93
105	66	53	108	65	40	32	31	51	45
59	102	3	49	9	29	T16	41	11	33
83	48	57	60	107	42	70	T5	94	85

**BLOCO 2**



85	110	75	35	44	T6	76	49	46	69
48	58	T2	T5	7	100	T17	21	84	60
T8	94	89	41	20	104	99	54	T12	42
82	67	4	61	101	12	62	1	74	43
19	87	88	T13	107	T15	37	51	63	T3
47	T16	103	77	T9	98	90	18	17	93
95	72	91	T10	112	3	14	13	66	83
70	80	5	52	23	28	25	T11	16	45
92	11	39	105	38	64	T4	22	8	T14
81	29	106	T18	27	2	111	86	26	71
97	T1	79	30	24	40	34	33	55	32
57	9	102	6	65	T7	78	10	31	50
68	108	73	96	109	53	56	15	36	59

## BLOCO 3

48	82	57	110	97	85	19	29	44	58
T17	41	T7	87	T13	23	T8	T11	15	67
70	79	111	26	28	101	36	9	92	73
95	T15	100	40	T6	13	18	12	63	T12
T14	22	37	20	T10	76	105	10	66	31
59	64	77	T18	11	32	25	51	T3	71
42	T1	99	T2	5	107	39	21	6	84
83	52	34	108	4	T9	89	50	49	98
33	3	106	62	88	38	1	16	30	45
60	65	80	94	78	7	102	35	91	81
T4	109	T16	75	103	27	2	47	54	93
74	96	112	14	8	53	90	104	17	72
61	55	24	43	68	86	69	56	T5	46

## BLOCO 4

94	67	45	10	84	109	80	14	18	33
42	50	T5	77	98	66	88	99	64	T13
70	49	T9	3	26	83	100	11	41	58
91	97	T10	25	63	T16	56	85	30	T4
104	108	86	T2	106	54	5	96	79	69
93	102	8	T15	52	12	27	16	92	23
60	1	24	38	34	22	47	21	46	72
32	68	T7	T17	39	28	112	19	6	59
T3	90	105	111	55	T8	103	51	74	44
T14	87	13	2	T11	T6	40	17	35	36
T12	101	78	61	89	4	37	73	57	7
81	T1	62	53	110	65	29	T18	20	43
71	76	75	82	15	9	107	95	31	48

## BLOCO 5

80	66	90	T2	81	51	45	36	T5	20
86	55	28	89	T13	39	56	T16	69	T14
103	T9	72	27	107	38	2	58	23	24
74	T15	67	85	3	105	91	37	T8	106
T17	110	32	111	13	88	59	12	15	41
11	40	97	57	101	T4	100	75	48	71
73	T3	104	19	9	60	5	6	10	95
84	49	30	52	53	31	108	8	61	43
T6	68	54	21	7	79	14	26	50	46
82	109	102	1	T7	T10	112	42	17	29
92	87	4	93	T11	64	25	77	T1	70
44	63	T18	78	65	94	96	22	35	18
16	76	98	33	83	62	99	47	T12	34

## BLOCO 6

68	94	98	71	76	12	73	74	69	40
56	32	5	14	50	T1	85	10	77	97
21	61	T8	62	64	28	23	48	2	67
93	96	110	51	8	100	36	T4	66	27
55	79	26	87	T12	45	83	39	52	T18
105	17	106	13	42	18	T16	7	88	59
95	T15	30	99	112	T11	T6	35	91	92
57	T13	49	6	22	53	84	111	T9	T5
80	63	T3	47	70	72	15	24	37	29
102	11	103	19	31	3	101	82	44	46
16	41	25	109	T17	89	90	1	104	75
T14	T2	4	78	9	T7	38	T10	65	20
60	58	108	81	107	54	33	86	43	34

### BLOCO 7

94	45	85	49	75	37	32	55	46	36
98	67	91	66	8	86	72	22	5	24
87	42	2	28	104	T7	95	109	80	47
58	T13	38	78	93	12	111	25	51	T6
99	97	64	14	33	T15	T17	13	62	T8
82	T2	102	50	26	52	T9	81	68	57
83	108	107	65	10	77	3	63	56	7
61	1	70	20	88	112	34	105	17	79
43	100	103	53	T1	27	39	71	29	18
84	60	T4	101	74	59	89	19	T18	T12
T16	76	T10	T14	4	110	T11	T3	40	96
T5	54	11	106	30	73	90	31	6	16
92	69	48	15	44	23	9	21	35	41

### BLOCO 8

70	73	19	104	91	T14	75	81	45	49
84	100	77	54	13	97	12	108	2	T1
31	T4	9	99	86	29	T6	55	66	69
95	20	102	35	34	T18	38	15	51	44
60	90	71	5	T9	21	64	63	30	14
T5	88	50	78	112	74	4	65	T7	57
68	8	T15	101	T16	25	62	36	T10	72
107	76	18	53	7	T2	T11	22	10	33
106	T8	87	28	111	6	93	52	96	59
56	79	89	26	39	46	32	61	40	24
42	T17	3	105	80	27	110	1	16	85
98	17	37	48	11	23	82	94	T13	58
92	67	109	43	T3	103	83	47	T12	41

## BLOCO 9

66	28	93	22	65	35	T15	T17	30	15
63	T9	T11	79	90	71	54	19	14	40
87	100	67	108	70	85	T8	24	73	44
21	107	49	89	13	25	10	91	33	29
99	112	110	T1	31	48	59	109	1	38
12	T6	95	T13	64	5	7	39	43	T2
9	27	18	36	52	57	104	16	T12	20
96	82	69	46	26	T18	T5	92	50	55
47	58	T7	3	94	84	75	T14	83	102
32	11	101	41	23	98	T4	77	8	4
T10	74	34	62	T3	61	56	105	103	68
53	51	T16	80	37	42	17	45	81	86
88	76	97	72	2	6	60	111	78	106

## BLOCO 10

25	90	33	41	59	100	T11	10	98	23
17	T8	101	78	70	36	48	45	6	72
T13	99	81	14	T1	61	30	34	20	51
5	88	96	89	110	52	4	58	T16	T14
109	112	87	77	67	106	T9	12	32	11
68	13	31	74	27	47	82	66	53	9
1	73	39	T7	7	76	42	15	80	28
60	29	19	69	38	T3	T6	T17	37	24
3	8	79	55	56	92	97	57	85	T4
84	16	86	18	102	T18	49	T5	54	105
95	104	2	T2	26	T10	44	103	71	22
40	T12	50	43	91	62	108	94	93	T15
64	111	46	35	65	107	63	21	75	83

### BLOCO 11

102	35	57	99	82	48	44	73	29	87
94	T12	106	76	T17	33	T11	42	10	90
105	4	91	T4	62	96	75	15	83	47
92	T1	T10	109	14	40	101	58	77	41
T15	T6	74	T8	81	22	66	50	38	68
95	T14	104	8	52	39	16	28	18	49
110	69	93	100	78	63	1	51	3	84
45	T16	27	T13	17	89	80	11	64	43
60	T9	20	T3	65	103	19	24	T7	54
111	56	13	108	2	6	97	72	26	79
85	112	5	9	31	12	25	53	T2	61
32	86	21	107	T18	T5	7	88	98	59
46	30	34	23	37	71	70	55	67	36

### BLOCO 12

79	85	107	82	4	12	48	28	55	6
44	54	63	16	49	32	87	52	T9	73
91	29	67	111	26	5	T14	64	51	3
T13	41	92	99	35	T4	61	11	T6	101
66	68	56	T3	34	42	89	21	62	27
81	78	T15	97	T11	53	75	14	T17	13
71	102	57	2	109	103	T16	38	86	59
43	T2	76	T18	1	7	105	24	9	69
94	58	100	70	112	72	47	110	96	20
104	45	106	15	T8	19	84	23	39	33
98	74	50	22	108	T7	88	77	25	60
T12	95	90	37	10	T10	65	T1	31	36
83	40	93	18	80	30	T5	46	8	17

## BLOCO 13

17	T16	106	112	16	20	24	100	51	105
33	37	43	103	55	53	56	T17	T7	75
63	85	T8	T12	90	T4	39	14	42	11
21	4	T6	T18	77	82	12	30	80	69
32	40	99	79	110	74	6	23	10	38
T11	18	41	1	102	84	78	95	T13	29
87	T10	101	88	5	108	71	T15	111	2
72	T1	96	81	T3	54	89	34	T2	52
68	109	36	58	19	27	35	62	49	T5
25	91	104	46	65	48	13	94	73	15
97	83	45	76	50	3	60	67	57	T14
9	61	64	59	107	70	T9	26	92	47
31	86	22	93	44	98	8	28	66	7

## BLOCO 14

90	89	16	T9	79	88	101	20	67	49
51	74	48	36	96	77	87	2	100	25
99	T6	63	72	81	111	11	28	T16	57
102	60	T13	T10	5	T12	104	92	98	37
55	91	110	70	52	41	9	58	3	23
T14	73	T7	80	50	17	T1	30	T4	93
29	34	T5	46	26	33	82	27	95	15
59	T3	1	22	112	65	78	18	106	42
86	24	21	38	66	10	109	43	14	T18
39	68	107	105	31	103	83	85	47	13
53	108	61	T11	12	T8	32	8	84	94
69	T17	40	6	97	7	45	4	T2	19
76	44	71	64	54	56	T15	62	35	75

## BLOCO 15

9	81	47	63	7	20	8	16	61	T12
T11	49	28	T3	23	19	24	102	60	34
103	68	54	107	82	3	72	6	26	77
84	112	58	89	T9	62	T17	59	T15	T6
30	66	51	93	96	2	98	T1	4	44
105	18	50	111	29	T14	104	86	14	T8
85	27	38	53	5	94	99	33	92	22
42	T2	76	109	T16	108	15	88	90	106
21	65	13	39	41	31	T4	37	57	64
100	78	52	17	67	83	43	74	T13	56
97	25	35	T5	55	46	71	75	11	80
48	12	69	87	101	T18	T10	T7	1	73
40	36	95	79	45	70	32	91	110	10

## BLOCO 16

40	70	72	60	111	22	38	5	48	52
46	84	T18	36	43	47	97	45	51	87
65	83	105	91	23	64	57	44	27	61
66	T14	25	71	1	10	90	54	11	T11
9	55	88	89	79	76	69	59	63	85
T7	102	56	110	17	16	101	T15	T17	T8
103	82	13	T9	49	86	37	67	2	32
T12	99	T13	92	29	3	100	106	19	7
104	T4	14	96	T2	30	62	28	T1	78
T5	81	94	108	15	39	95	20	53	24
80	74	T6	18	107	T16	93	T3	8	12
112	75	35	34	42	21	58	6	98	77
41	33	73	31	T10	26	109	68	4	50

## BLOCO 17

92	14	80	79	88	66	30	47	36	107
78	T1	6	104	101	46	T11	13	T14	77
111	7	T7	52	16	4	38	T12	95	2
18	65	24	103	T6	109	T5	T8	93	84
1	110	19	42	T3	58	106	102	20	105
T15	97	T13	17	48	T16	44	60	86	34
8	64	40	91	89	71	63	90	99	28
85	31	56	59	98	100	55	53	T18	82
112	75	81	108	37	15	T10	49	76	27
50	45	33	T9	T17	74	96	23	T4	68
43	T2	87	39	32	69	11	51	57	29
54	10	9	61	41	5	21	94	25	26
72	22	70	62	73	12	67	3	83	35

## BLOCO 18



77	4	70	52	8	58	66	9	87	64
19	T18	108	34	85	18	74	43	10	96
109	6	65	49	78	1	24	91	86	82
84	36	15	7	79	14	76	T14	44	56
12	42	T16	59	T8	67	T13	2	T9	21
54	53	60	68	T17	16	88	90	107	27
61	13	20	23	T10	46	T2	101	5	T5
26	25	T7	99	97	92	47	29	31	11
81	39	89	22	103	T1	T6	104	T3	38
72	57	T15	98	93	69	94	75	45	62
33	T4	37	40	51	73	55	T12	50	110
T11	17	106	102	28	83	30	105	48	32
63	71	100	41	95	80	112	35	3	111

## BLOCO 19

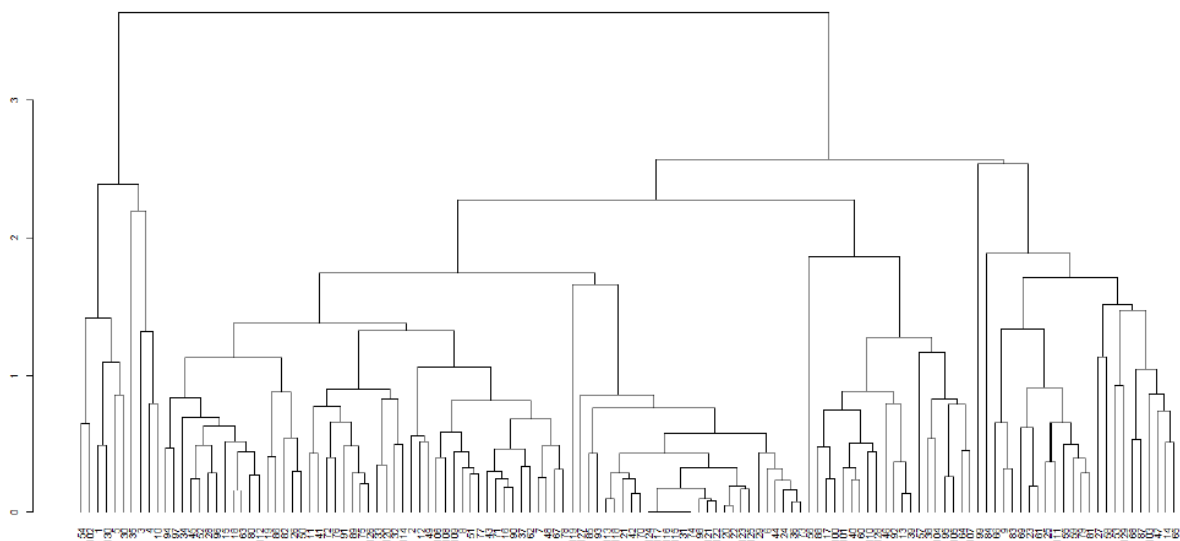
T13	61	106	41	66	43	22	105	83	38
56	T12	6	100	54	14	1	44	68	63
112	65	45	79	T9	90	71	47	21	31
111	72	84	58	T15	57	7	77	T17	98
46	78	T2	T16	40	2	25	23	59	60
30	27	9	20	62	55	T7	T6	64	96
80	70	109	35	75	4	76	102	99	34
T10	10	103	93	19	49	42	51	53	T3
5	81	18	37	8	T18	T14	101	32	85
28	50	26	67	15	94	13	110	108	T5
104	95	97	39	T8	86	91	69	16	107
48	33	36	82	74	12	88	89	29	87
T4	17	92	73	24	11	3	52	T11	T1

## BLOCO 20

## APÊNDICE C—AGRUPAMENTO DE MAHALANOBIS E DENDROGRAMA UPGMA NO SOFTWARE R

### SOLO ARGILOSO

```
library("vegan", lib.loc="~/R/win-library/3.4")  
Dados.soloargiloso<- read.delim("C:/Users/User/Desktop/Dados soloargiloso.txt")  
attach(Dados. soloargiloso)  
media11 = tapply(dap, gen, mean)  
media12 = tapply(alt, gen, mean)  
media13 = tapply(vol, gen, mean)  
matriz.medias = data.frame(media11, media12, media13)  
maha.dist = vegdist(matriz.medias, "mahalanobis")  
dend13 = as.dendrogram(hclust(maha.dist, "average"))  
par(cex= 0.7)  
plot(dend13)
```



## SOLO ARENOSO

```

library("vegan", lib.loc="~/R/win-library/3.4")

Datos.soloargiloso<- read.delim("C:/Users/User/Desktop/Datos soloarenoso.txt")

attach(Datos. soloarenoso)

media11 = tapply(dap, gen, mean)

media12 = tapply(alt, gen, mean)

media13 = tapply(vol, gen, mean)

matriz.medias = data.frame(media11, media12, media13)

maha.dist = vegdist(matriz.medias, "mahalanobis")

dend13 = as.dendrogram(hclust(maha.dist, "average"))

par(cex= 0.7)

plot(dend13)

```

