



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

**ALEXA BARGLINI DE MELO**

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE *Corymbia* E  
*Eucalyptus* EM DOIS SÍTIOS DO BRASIL**

JERONIMO MONTEIRO-ES

2022

ALEXA BARGLINI DE MELO

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE *Corymbia* E  
*Eucalyptus* EM DOIS SÍTIOS DO BRASIL**

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

Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Coorientadores: João Gabriel Missia da Silva e Jordão Cabral Moulin.

JERONIMO MONTEIRO-ES

2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

- M528p Melo, Alexa Barghini de, 1996-  
Produtividade e qualidade da madeira de espécies de  
Corymbia e Eucalyptus em dois sítios do Brasil / Alexa Barghini  
de Melo. - 2022.  
47 f. : il.
- Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre.  
Coorientadores: João Gabriel Missia da Silva, Jordão Cabral  
Moulin.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências  
Agrárias e Engenharias.
1. Madeira. 2. Madeira - Anatomia. 3. Madeira - Pesquisa. 4.  
Madeira - Utilização. I. Vidaurre, Graziela Baptista. II. Silva, João  
Gabriel Missia da. III. Moulin, Jordão Cabral. IV. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias. V. Título.

CDU: 630

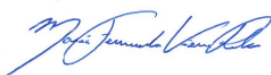
---

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE *Corymbia* E  
*Eucalyptus* EM DOIS SÍTIOS DO BRASIL**

**Alexa Barglini de Melo**

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

Aprovada em 24 de fevereiro de 2022.



---

**Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Vieira Rocha** (Examinadora externa)

Empresa Bracell



---

**Dr. Paulo Henrique Muller da Silva** (Examinador externo)

Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais



---

**Dr. Alexandre de Vicente Ferraz** (Examinador externo)

Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais



---

**Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior** (Examinador externo)

Universidade Federal de Goiás



---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre** (Orientadora)

Universidade Federal do Espírito Santo

À Estevam Barghini Gil (*in memoriam*),

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, saúde, as bênçãos concedidas, por estar ao meu lado mesmo quando não mereço e por colocar pessoas tão especiais em meu caminho.

À toda minha família, em especial, aos meus pais, Paulo Cesar de Melo e Maria Angela Barglini e minha irmã, Daiani Barglini de Melo, por acreditarem em mim e na minha capacidade, por torcerem, incentivarem, motivarem e compreenderem minha ausência em tantos momentos importantes. Ao Pedro Henrique da Silva Filho por me incentivar e apoiar quando eu mais precisei, e colocar-se à disposição a todo momento.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela infraestrutura disponibilizada. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao “Projeto de Espécies Potenciais”, realizada pelo Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF em parceria com as empresas Bracell e Vallourec. Em especial, ao Dr. Paulo Henrique Muller da Silva, por toda ajuda e disponibilidade, ao Dr. Alexandre de Vicente Ferraz e ao Dr. Marcio José Araujo pelo auxílio com as equações de volume. Ao Laboratório de Anatomia e Densitometria de Raios X (NQPM), ao Prof. João Vicente de Figueiredo Latorraca, por disponibilizar os equipamentos, ao Fábio Henrique Della Justina do Carmo, pela paciência e por me auxiliar no uso dos equipamentos e ao Ari Antônio Cantalice de Oliveira pela ajuda no corte da madeira e caronas durante minha estadia em Seropédica.

À Bracell SP Celulose Ltda. e seus colaboradores pela disponibilidade e coleta do material. À Vallourec Florestal Ltda e colaboradores, em especial, à Thalyta Godinho e Gustavo Silva por me receberem na empresa, ao Nivaldo da Silva, Márcio Aparecido José e Vilmar de Assis por me auxiliarem e acompanharem durante todos os dias de coleta.

Minha profunda gratidão à minha orientadora Profa. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz, por se fazer presente mesmo em um momento tão difícil e se doar a cada projeto. Muito obrigada por todo apoio, incentivo e direcionamento. Admiro muito sua

determinação e foi muito gratificante e enriquecedor conviver com você durante esses anos.

Ao Prof. Jordão Cabral Moulin que prontamente se dispôs a me coorientar e se fez disponível sempre que necessário. Ao Dr. João Gabriel Missia da Silva, que me acompanhou desde a graduação, e que me ajudou em cada etapa deste trabalho sem medir esforços. Sou imensamente grata por ter a experiência de conviver com vocês durante esses anos.

Aos membros da banca, pela prontidão, dedicação e por todas considerações.

À Steffany Lima, Letícia Aramuni e Gabriela Aguiar por me auxiliarem nas análises, pela ajuda, paciência, carinho e por deixarem meus dias muito mais leves. Se não fosse a ajuda de você estes anos iriam ser muito mais complicados, vocês foram muito mais do que estagiarias para mim.

Ao NUQMAD pelas parcerias, ensinamentos e trocas de experiências. João Gabriel, Letícia, Steffany, Gabriela, Sofia, Naruna, Vaniele e Nauan sou extremamente grata por ter conhecido cada um de vocês e obrigada pelas risadas, conversas e os cafés da tarde. Ao Sr. Elecy Constantino e José Geraldo Oliveira por toda prontidão em ajudar e pelo carinho.

À Maria Naruna Felix de Almeida por me ajudar e acalmar todas as vezes que precisei, você foi essencial para a conclusão deste trabalho. Você é uma pessoa iluminada e merecedora de todo o sucesso do mundo.

Aos amigos que a UFES me proporcionou, Bruno Simas, Larissa Nogueira, Cassia Santos, Michelle Florenzano, Luis Felipe Cezario, Thaís Gomes, Larissa Barros, Emilly Gussão e Mariana César por estarem comigo e tornarem esses anos muito mais leves e felizes. À Amanda Cezario, Douglas Andrade e Sabrina Caetano por estarem comigo e me apoiarem desde o ensino fundamental.

Espero ter conseguido expressar toda a gratidão e carinho a todos que fizeram parte desta trajetória, e que eu tenha conseguido ser para vocês pelo menos metade do que cada um foi para mim.

## RESUMO

MELO, Alexa Barglini. **PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE *Corymbia* E *Eucalyptus* EM DOIS SÍTIOS DO BRASIL.** 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre. Coorientadores: João Gabriel Missia da Silva e Jordão Cabral Moulin.

Com a introdução de plantações de eucalipto em locais menos favoráveis para o seu cultivo e a previsão das mudanças nos padrões climáticos, é necessário identificar espécies, com menor suscetibilidade ao estresse biótico e abiótico e os impactos na qualidade da madeira. O objetivo deste trabalho foi avaliar crescimento e a qualidade da madeira de espécies não tradicionais de *Corymbia* e *Eucalyptus*, cultivadas em dois ambientes do Brasil (Borebi - SP e Paraopeba - MG), aos 6 anos de idade. Foram avaliadas a densidade básica da madeira e sua variação no sentido base-topo e medula-casca, biomassa, porcentagem de cerne e de casca, diâmetro e frequência dos vasos, comprimento e espessura das fibras, incremento médio anual (IMA) e volume individual, das espécies *E. amplifolia* (AMP), *E. longirostrata* (EL), *E. major* (MJ), *E. urophylla* (UR), *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (CCC), *C. citriodora* subsp. *variegata* (CCV), *C. henryi* (CH) e *C. torelliana* (CT). Valores anuais das variáveis de temperatura média do ar (T), precipitação (P) e déficit hídrico (DEF) foram utilizados para comparação dos sítios. Mesmo com a pouca diferença entre os valores médios de T e P, o DEF foi maior no sítio mais seco (Paraopeba), no qual foi observado menor produtividade (IMA e biomassa) e porcentagem de cerne, maiores porcentagens de casca, mas sem efeito na densidade e diâmetro dos vasos da madeira. No geral, a espécie EL apresentou as menores diferenças nas propriedades da madeira, e maiores valores de IMA e % de cerne (com exceção da espécie UR); o CCC, a maior densidade da madeira; CT a menor % de casca, com valores próximos do UR, enquanto MJ a maior % de casca. O CCV apresentou bom desenvolvimento no sítio menos seco (Borebi), porém apresentou uma redução de 37% no IMA no sítio mais seco. Apesar do CH apresentar valores de IMA próximos em ambos os sítios, houve redução considerável na formação de cerne no sítio mais seco. O AMP foi a espécie com menor desenvolvimento em ambos os sítios, além disso, apresentou uma redução de produtividade de 52% no sítio mais seco. Com a diferença entre os sítios, o IMA, a porcentagem de cerne, casca e o comprimento das fibras foram modificados



nas espécies de CC, CH, CCV, MJ e CT, apresentando bom desenvolvimento e características potenciais para cultivo em ambos os sítios.

**Palavra-chave:** espécies potenciais, madeira de eucalipto, madeira de corymbias, expansão florestal, déficit hídrico.

## ABSTRACT

MELO, Alexa Barglini. **PRODUCTIVITY AND QUALITY OF WOOD FROM SPECIES OF *Corymbia* AND *Eucalyptus* IN TWO SITES IN BRAZIL**. 2022. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Graziela Baptista Vidaurre. Co-advisors: João Gabriel Missia da Silva and Jordão Cabral Moulin.

With the introduction of eucalyptus plantations in less favorable locations for their cultivation and the prediction of climate pattern changes, it is necessary to identify adequate species, with less susceptibility to biotic and abiotic stress and the impacts on wood quality. The aim was to evaluate the growth and wood quality of non-traditional species of *Corymbia* and *Eucalyptus*, cultivated in two environments in Brazil (Borebi – SP and Paraopeba – MG), at 6 years of age. Were evaluated from wood basic density and its variation in base-top and pith-bark direction, biomass, heartwood and bark percentage, vessel diameter and frequency, fibers length and wall thickness, annual average increment (AAI) and volume of the species *E. amplifolia* (AMP), *E. longirostrata* (EL), *E. major* (MJ), *E. urophylla* (UR), *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (CCC), *C. citriodora* subsp. *variegata* (CCV), *C. henryi* (CH) and *C. torelliana* (CT). Annual values of variables of the average temperature of air (T), precipitation (P) and water deficit (WDE) were used for the comparison of site. Even with the little differences between the mean values of T and P, the WDE was higher in the driest site (Paraopeba), in which lower productivity was observed (IMA and biomass) and heartwood percentage, higher bark percentage, but with no effect on the wood density and vessels diameter. In general, the specie EL presented the smallest differences in the wood properties, and the biggest values of AAI and heartwood percentage (except for the UR); the CCC, the highest density of wood; CT the smallest bark percentage, with values near the UR, while MJ the highest bark percentage. The CCV showed good development in the less dry site (Borebi), but showed a 37% reduction in AAI in the driest site. Despite the CH presenting similar AAI values in both sites, there was a considerable reduction in heartwood formation in the driest site. AMP was the species with the lowest development in both sites; in addition, it showed a productivity reduction of 52% in the driest site. With the difference between the sites, the AAI, heartwood and bark percentages and fiber length were modified in the species of CC, CH, CCV, MJ and CT, showing good development and potential characteristics for cultivation in both sites.

**Keywords:** potential species, eucalyptus wood, corymbia wood, forest expansion, water deficit.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	Objetivos .....	12
1.1.1	Objetivo geral .....	12
1.1.2	Objetivos específicos .....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1	Espécies de <i>Eucalyptus</i> selecionadas .....	13
2.2	Espécies de <i>Corymbia</i> selecionadas .....	15
2.3	Interação Genótipo x Ambiente .....	16
3	METODOLOGIA .....	18
3.1	Caracterização da área de estudo e seleção das árvores .....	18
3.2	Amostragem e propriedades da madeira .....	20
3.3	Análise estatísticas .....	22
4	RESULTADOS .....	24
4.1	Características de crescimento e densidade básica da madeira .....	24
4.2	Variação base ao topo e medula a casca da densidade da madeira .....	27
4.3	Porcentagem e variabilidade do cerne e casca da madeira .....	31
4.4	Parâmetros de vasos e fibras da madeira .....	33
5	DISCUSSÃO .....	35
6	CONCLUSÕES .....	40
	REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

As plantações de eucalipto no Brasil representam 77% da área total de árvores plantadas (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES - IBÁ, 2020) e as duas espécies mais utilizadas são o *E. grandis* e *E. urophylla* e seus respectivos híbridos (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2015; SILVA et al., 2019). A produtividade média das florestas destas espécies é de 35,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e apresenta um dos menores ciclos entre o plantio e a colheita do mundo (IBÁ, 2020). Apesar de apresentar a maior média mundial de produtividade, houve um decréscimo do incremento das plantações de eucalipto nos últimos cinco anos. Essa redução pode estar relacionada ao efeito das mudanças climáticas, a implantação em novas áreas com condições edafoclimáticas de cultivo pouco habituais (IBÁ, 2020) e ao cultivo de materiais não selecionados para essas condições ambientais.

Além das espécies *E. grandis* e *E. urophylla* e seus híbridos, outras espécies também são utilizadas, porém em menor escala. Essas espécies podem apresentar potencial para contribuir com o setor florestal mesmo que ainda sejam avaliadas em plantações seminais. Por isso, é necessário conhecer as características da madeira de espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais para fornecer dados necessários para ampliar a base genética disponível para os programas de melhoramento.

O clima é um dos fatores essenciais para a escolha da espécie para o plantio (SOUZA et al., 2017). A comprovação da relação entre o clima, crescimento e formação da madeira, auxilia a compreensão da influência desse fator sobre a qualidade da madeira e a possibilidade de selecionar variáveis com maior interação (MELESSE; ZEWOTIR, 2013). Com o conhecimento do local da plantação é possível compreender quais espécies poderão apresentar melhor adaptação e assim, pressupor as características da madeira, por meio da correlação com fatores edafoclimáticos (ALVARES et al., 2013; ROCHA et al., 2020).

A qualidade da madeira é relacionada à soma de características e propriedades adequadas a um determinado uso, que são influenciadas pelas condições climáticas. Para o eucalipto, por exemplo, é possível identificar características como a redução do volume e biomassa do fuste com o aumento do déficit hídrico (ROCHA et al., 2020), bem como a associação da maior taxa de crescimento à disponibilidade hídrica com aumento da proporção de cerne na madeira (ALMEIDA et al., 2020). No entanto, não há um mecanismo universal de resistência a seca, as plantas podem responder de

maneiras diferentes aos processos de adaptação à escassez de água, como exemplo, pela redução da condução hídrica, aliada a adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas (NOGUEIRA et al., 2005).

A variedade de resultados obtidos na avaliação da influência das mudanças climáticas nas características da madeira, ressalta a importância de conhecer o comportamento da interação dos genótipos e ambientes (ALMEIDA et al., 2020). A identificação dessa interação pode ser utilizada para auxiliar os programas de melhoramento genético a aprimorar as características adequadas para a utilização da madeira.

Diante da expansão das áreas das plantações para regiões com condições ambientais menos favoráveis (ASSIS, 2014) e a utilização de poucas espécies de eucalipto é necessário entender as características específicas de diferentes espécies frente à variação dos ambientes. A triagem de espécies com melhor adaptação a locais menos favoráveis ao crescimento das árvores, pode ser um auxílio futuro nos locais afetados pelo impacto das mudanças climáticas (BUSH; HARWOOD; PINKARD, 2018).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o crescimento e qualidade da madeira de espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais em duas condições climáticas brasileira.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Examinar o crescimento e as propriedades da madeira das espécies em dois locais;
- Descrever a variabilidade das propriedades da madeira inter e intraespecífica.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ESPÉCIES DE *Eucalyptus* SELECIONADAS

As espécies do gênero *Eucalyptus* estão entre as de maior importância no setor florestal. Isto ocorre devido a características como alta adaptação, produtividade e tolerância às condições edafoclimáticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2013) ocupando grande parte das regiões tropicais do mundo (BEECH et al., 2017).

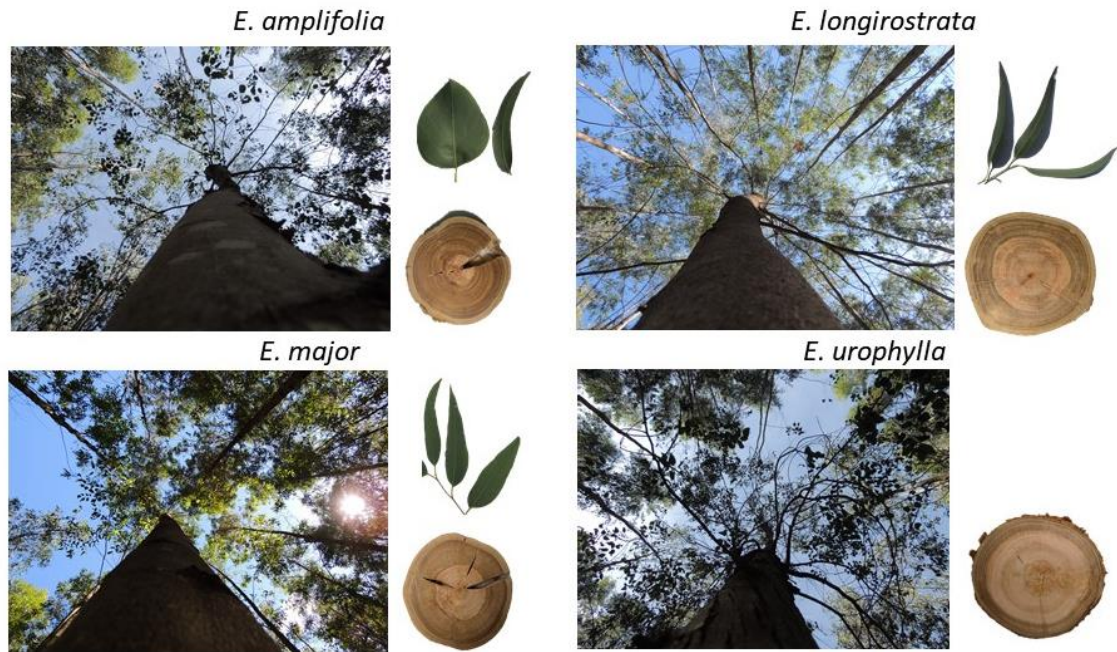
O eucalipto é conhecido por sua alta taxa de crescimento em comparação com outras espécies arbóreas e, um dos menores ciclos entre plantio e colheita do mundo, dado o volume produzido (IBÁ, 2020). Essas características são resultado de um intenso e contínuo trabalho de melhoramento genético (GRATTAPAGLIA et al., 2012) e consequência de clones bem adaptados. A produtividade potencial das florestas plantadas de eucalipto é fortemente dependente dos sistemas de manejo, como seleção genética, preparo de solo, fertilização, espaçamento e controle de competição (BINKLEY et al., 2020).

O *E. amplifolia* (Figura 1) ocorre na Costa Central e em planaltos da Austrália, cerca de 200 km ao Sul e 300 km ao Norte. Entre quatro espécies de eucalipto avaliadas no Sul e no centro da província de Hunan, aos 5 anos de idade, o *E. amplifolia* var. *amplifolia* apresentou o melhor potencial de crescimento e sobrevivência no local mais seco, além disso, foi observado uma média tolerância ao frio (LI et al., 2016). Na Flórida, Estados Unidos, o *E. amplifolia* junto com o *E. tereticornis* apresentaram potencial de crescimento e tolerância ao frio (ROCKWOOD, 2012). A espécie obteve baixa sobrevivência no sítio de Macapá - AP e IMA < 11 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Paraopeba - MG, Três Marias - MG, Itamarandiba - MG e Macapá - AP (SILVA et al., 2017; 2021).

A espécie *E. longirostrata* (Figura 1) apresentou desempenho favorável em plantações nas regiões subtropicais da Austrália e África do Sul (GARDNER; LITTLE; ARBUTHNOT, 2007; LEE et al., 2010). Além disso a hibridação da espécie com *E. grandis* e *E. urophylla* pode ser uma opção para adaptação frente à variação de ambientes na costa de *Zululand*, na África do Sul (GARDNER; LITTLE; ARBUTHNOT, 2007). Nos estudos realizados por Silva et al. (2017; 2021), analisando espécies de eucalipto seminais em diferentes ambientes, o *E. longirostrata* apresentou melhor adaptação ao ambiente formado por ensaios implantados em Itamarandiba - MG

(Cwa) e Três Marias - MG (Aw), mas a espécie não se adaptou a regiões quentes e úmidas.

Figura 1. Perfil do fuste a copa, folhas e disco de madeira das árvores selecionadas das espécies de *Eucalyptus*.



Fonte: o autor.

O *E. major* (Figura 1), também conhecido como goma cinzenta, ocorre na costa leste da Austrália, desde o rio *Hawkesbury* em *New South Wales* até o Norte de *Maryborough*, e no interior de *Carnarvon Ranges* e *Blackdown Tablelands* em Queensland. A espécie apresentou boa sobrevivência e crescimento em altura, além disso foram observadas mudanças significativas na estabilidade ambiental entre as avaliações ao longo do Brasil (SILVA et al., 2017; 2021).

O *E. urophylla* (Figura 1) é nativo da Indonésia (FLORES et al., 2016) e foi introduzido no Brasil entre os anos de 1970 e 1980 (SILVA et al., 2019) e por meio da hibridização contribui para melhoria da capacidade de rebrota e enraizamento, tolerância à seca e densidade da madeira (ROCHA et al., 2006). Além disso, o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* compõe grande parte das plantações comerciais do Brasil (GONÇALVES et al., 2013). Sementes melhoradas de *E. urophylla* apresentaram uma variação de IMA de 19 a 46 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> aos três anos de idade e sobrevivência de 51 a 92% (SILVA et al., 2019).

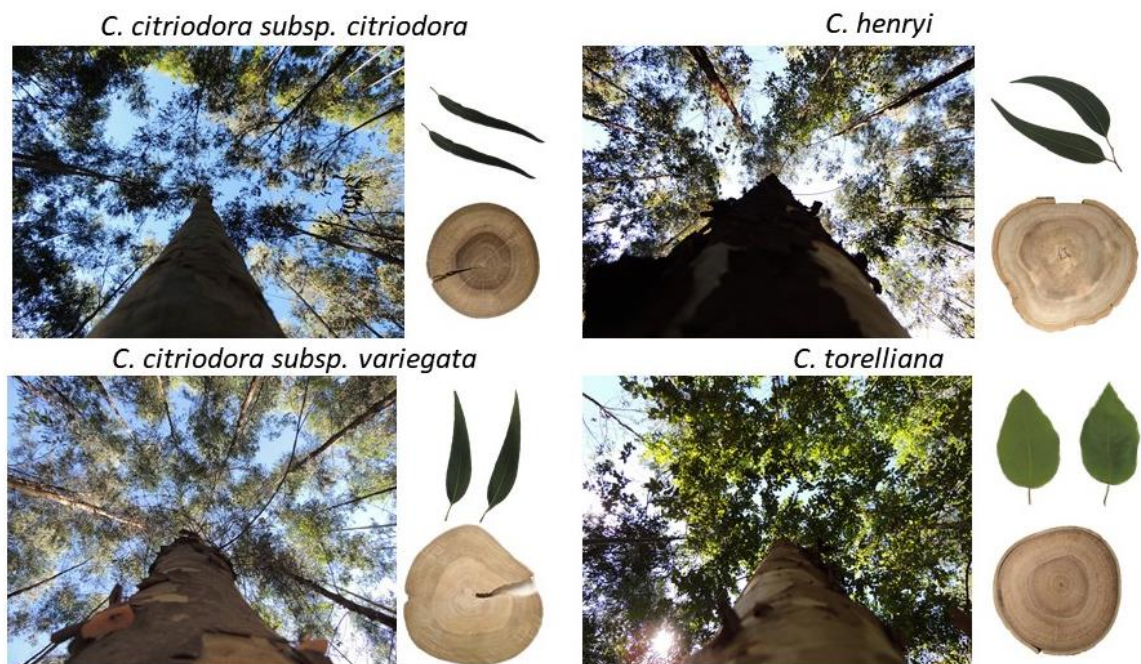


## 2.2 ESPÉCIES DE *Corymbia* SELECIONADAS

Algumas espécies do gênero *Corymbia* possuem característica de tolerância a seca e geadas (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2015). Seus híbridos apresentam ganhos genéticos, como a alta produção de biomassa, crescimento, tolerância a geadas e resistência a patógenos com baixa interação genótipo e ambiente (LEE et al., 2009). As espécies apresentam alta densidade da madeira, alcançando valores acima de  $600 \text{ kg m}^{-3}$ , semelhantes aos que ocorrem nos híbridos interespecíficos (ASSIS, 2014).

Com ampla faixa de distribuição, o *C. citriodora* (Figura 2) ocorre naturalmente na Austrália e na Nova Zelândia, e é estabelecido na área do Mediterrâneo, sul da China, sul da África, sudeste da Ásia, América do Sul e América do Norte para a produção de madeira e óleo essencial (BOLAND et al., 2006).

Figura 2. Perfil do fuste a copa, folhas e disco de madeira das árvores selecionadas das espécies de *Corymbia*.



Fonte: o autor.

Ao avaliar a sobrevivência e crescimento inicial de diferentes espécies e ambientes de desenvolvimento, Silva et al. (2017) relataram que das espécies do gênero *Corymbia*, o *C. henryi* (Figura 2) apresentou bom crescimento e boa sobrevivência, indicando ser uma opção potencial para hibridação com a espécie *C. torelliana*.

O *C. citriodora subsp. variegata* (Figura 2) apresenta produtividade alta em regiões onde há baixa ocorrência de geadas, pragas e doenças, tornando-se uma opção para a expansão em plantações subtropicais da Austrália (BRAWNET et al., 2013). Os mesmos autores relataram a baixa resposta da espécie às variáveis de disponibilidade de água e a maior influência da temperatura. Silva et al. (2021), observaram baixa estabilidade temporal para o *C. citriodora subsp. variegata* e *C. henryi*, efeito que deve ser observado para seleção de espécies para produção de madeira de longa rotação.

O *C. torelliana* (Figura 2) é uma espécie nativa de uma pequena área ao norte de Queensland, Austrália, com variação de temperatura nos meses quentes e frios de 29°C a 31°C e 12°C a 15°C, respectivamente (BOLAND et al., 2006). Na descrição realizada por Lorenzi (2003), a espécie apresenta melhor adaptação ao clima quente e é caracterizada por apresentar densidade alta e cerne com coloração que varia de castanho-claro a marrom.

Apesar de poucos estudos, o *C. torelliana* tem despertado o interesse em hibridações com *C. citriodora*, *C. citriodora subsp. variegata*, *C. henryi* e *C. maculata* na Austrália (REIS et al., 2014). As hibridações realizadas das espécies *C. citriodora*, *C. citriodora subsp. variegata*, *C. henryi* e *C. maculata* com o *C. torelliana* como progenitor, garantiram em média o dobro da porcentagem de enraizamento quando comparado as demais espécies (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2015). Analisando a curva de sobrevivência de espécies do gênero *Corymbia*, aos 2 anos, Bonora et al. (2020) observaram redução significativa no *C. torelliana* x *C. henryi*, com sobrevivência abaixo de 55%.

### 2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE

O aumento da produção de madeira tem sido um dos focos dos programas de melhoramento genético (MÄKELÄ et al., 2010), mas a caracterização da qualidade da madeira é um parâmetro importante para a seleção do material para usos diversos. Outros fatores que devem ser levados em consideração são a precipitação e a temperatura do ar, variáveis mais utilizadas para apresentar a interação entre o clima e a densidade da madeira (DOWNES et al., 2014; MENESES et al., 2015; SETTE JR. et al., 2016).

No Brasil, as florestas para produção de madeira, são mais produtivas devido às condições climáticas favoráveis (STAPE, et al., 2010; GONÇALVES et al., 2013;

VENEGAS-GONZALEZ et al., 2016). As condições ambientais estão diretamente relacionadas aos estresses bióticos e abióticos que ocasionam impacto significativo na produtividade das plantações (BRAUNER et al., 2011; SILVA et al., 2013; CAMPOE et al., 2016).

A disponibilidade de recursos como água e nutrientes possui alta influência na produção de madeira (LANDESBURG, 2003). Um ligeiro aumento da temperatura ou umidade relativa do ar ocasiona mudanças em algumas características e propriedades da madeira. Para *E. urophylla*, sítios com condições úmidas e baixas temperaturas apresentam maior crescimento e porcentagem de cerne (ALMEIDA et al., 2020). Assim como altas temperaturas, deficiência hídrica e nutricional, relacionam-se ao acréscimo de densidade da madeira, em consequência da redução da atividade cambial (BAKER et al., 2004).

É previsto mudanças nos padrões de precipitação e na sua duração, aumento das temperaturas e magnitude das secas para os próximos 20 anos (CHOAT et al., 2012; IPCC, 2014; ELLI et al., 2020a), de modo que espécies anteriormente adaptadas a uma localidade não serão mais, por causa dos possíveis estresses ambientais que não estavam presentes (ARAUJO et al., 2019).

O fenótipo de uma determinada propriedade da madeira origina-se da combinação de efeitos genotípicos e ambientais, de forma que as classes fenotípicas são definidas pelo conjunto de genes dos indivíduos (ARAUJO et al., 2019). Logo, é necessário considerar a interação genótipo x ambiente para analisar o comportamento dos genótipos avaliados frente as mudanças ambientais (ARAUJO et al., 2019). A identificação de materiais adequados para condições ambientais específicas é um dos desafios para a expansão florestal no Brasil (BINKLEY et al., 2020), reforçando a importância de estudar e conhecer a variação das propriedades da madeira das diferentes espécies nesses ambientes, em adição à seleção e introdução de novos materiais nas plantações florestais atuais e nas áreas em expansão.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SELEÇÃO DAS ÁRVORES

As espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* avaliadas são parte da pesquisa “Projeto de Espécies Potenciais”, realizada pelo Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (<https://www.ipef.br/pcmf/>), em diferentes condições climáticas do Brasil com diversas espécies de corymbia e eucalipto. Foi avaliada a adaptação de 19 espécies de ambos os gêneros em oito sítios, em áreas de empresas florestais e instituições de ensino e pesquisa, do Brasil e Uruguai.

Parcelas experimentais retangulares com 49 árvores foram implantadas, com bordas simples e parcela útil de 25 árvores. Para garantir a homogeneidade entre locais e isolar os fatores climáticos e de solo, em todos experimentos foi realizado: preparo de solo (subsolação >0,45m); aplicação de iscas para o controle de formiga; capina química, com uso de herbicida pré e pós plantio; fertilização de base e cobertura, de acordo com a necessidade; aplicação de gel ou irrigação, com a aplicação de dois a quatro litros de água após plantio por árvore (SILVA et al., 2017).

A avaliação da adaptabilidade e crescimento dos experimentos foi realizada pelo método de média harmônica da performance relativa do valor genético (SILVA et al., 2017) e selecionadas quatro espécies do gênero *Corymbia* e quatro espécies do gênero *Eucalyptus* (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* selecionadas e suas procedências.

<b>Espécies</b>	<b>Identificação</b>	<b>País de origem das sementes</b>
<i>C. citriodora subsp. citriodora</i>	CCC	Austrália (selvagem)
<i>C. henryi</i>	CH	Austrália (pomar)
<i>C. torelliana</i>	CT	Brasil – Anhembi (APS-Kuranda)
<i>C. citriodora subsp. variegata</i>	CCV	Austrália (selvagem)
<i>E. amplifolia</i>	AMP	Austrália (selvagem)
<i>E. longirostrata</i>	EL	Austrália (selvagem)
<i>E. major</i>	MJ	Austrália (selvagem)
<i>E. urophylla*</i>	UR	Brasil (APS)

\*A espécie não foi avaliada em um dos locais devido a problemas no estabelecimento do experimento.

Fonte: o autor.

Dois sítios com diferentes condições climáticas e boa adaptação das espécies, nos estados de São Paulo (município de Borebi – denominado “sítio menos seco” e Minas Gerais (município de Paraopeba – denominado “sítio mais seco”), foram selecionados para os estudos de qualidade da madeira (Tabela 2). Os dados meteorológicos entre 2014 e 2021, foram obtidos das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. No sítio mais seco foram analisados os dados meteorológicos a partir do mês de junho de 2016, devido a falta de dados que antecedem este período (Figura 3).

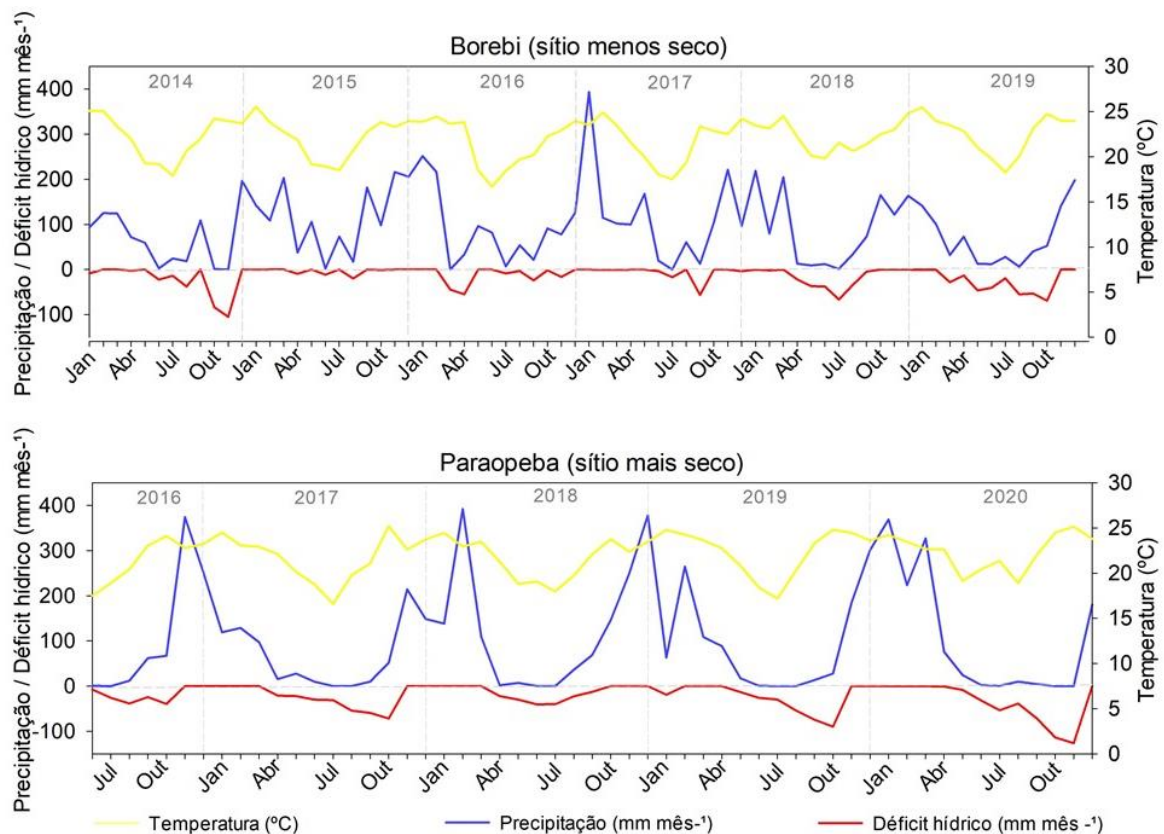
Tabela 2. Características da localização das parcelas experimentais.

Local de Implantação	Empresa	Plantio/Coleta	Esp. (m x m)	Lat.	Long.	Alt (m)	Clima
<b>Borebi</b> (sítio menos seco)	Bracell	jan-14/mar-20	3,0 x 2,6	22°48'	48°54'	711	Aw
<b>Paraopeba</b> (sítio mais seco)	Vallourec	fev-15/mar-21	3,0 x 3,0	19°18'	44°30'	750	Cwa

Esp.: espaçamento de plantio; Lat: latitude; Long: longitude; Alt: altitude; Clima: segundo classificação de Köppen.

Fonte: o autor.

Figura 3. Médias mensais de precipitação (mm), temperatura (°C) e déficit hídrico nos dois ambientes climáticos.



Fonte: o autor.

Os valores mensais de temperatura (T) foram calculados pela média aritmética da temperatura média diária e a precipitação (P) mensal foi calculado pela soma da precipitação acumulada. Para o cálculo de déficit hídrico (DEF) foi realizado o balanço hídrico climatológico sequencial em escala mensal, conforme apresentado por Thornthwaite and Mater em 1955 (CAMARGO, 1962).

Os inventários florestais foram realizados anualmente, com a mensuração do diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total das árvores. Com base no inventário, foram selecionadas sete árvores por espécie, sendo selecionadas aleatoriamente árvores com DAP superior à média para espécie em cada sítio.

Modelos de crescimento foram ajustados por meio da análise de regressão linear para estimar o volume em  $m^3 ha^{-1}$  em função do DAP e altura das árvores (Tabela 3) para cada espécie/sítio, considerando densidade de 1282 árvores  $ha^{-1}$  no sítio menos seco e 1111 árvores  $ha^{-1}$  no sítio mais seco. O incremento médio anual foi calculado pela divisão do volume de madeira aos 6 anos após o plantio, ou seja, período em que ocorreria a colheita florestal.

Tabela 3. Modelos ajustados para estimar o volume ( $m^3 ha^{-1}$ ) em função do DAP (cm) e altura das árvores (m) com 7 repetições.

Espécie	Borebi (sítio menos seco)	Paraopeba (sítio mais seco)
CCC	$V = 0,000020 \times DAP^{1,8239} \times HT^{1,3090}$ $R^2 = 0,998$	$V = 0,000030 \times DAP^{1,3377} \times HT^{1,6248}$ $R^2 = 0,997$
CH	$V = 0,000177 \times DAP^{2,3453} \times HT^{0,1651}$ $R^2 = 0,997$	$V = 0,0000037 \times DAP^{1,2588} \times HT^{2,4145}$ $R^2 = 0,989$
CCV	$V = 0,000045 \times DAP^{1,7437} \times HT^{1,1544}$ $R^2 = 0,997$	$V = 0,000022 \times DAP^{2,0371} \times HT^{1,1168}$ $R^2 = 0,998$
MJ	$V = 0,000007,204 \times DAP^{1,4587} \times HT^{2,0323}$ $R^2 = 0,999$	$V = 0,000095 \times DAP^{2,0864} \times HT^{0,6008}$ $R^2 = 0,998$
EL	$V = 0,000109 \times DAP^{1,8409} \times HT^{0,8390}$ $R^2 = 0,999$	$V = 0,000004615 \times DAP^{2,0856} \times HT^{1,5662}$ $R^2 = 0,998$
CT	$V = 0,000053 \times DAP^{1,1903} \times HT^{1,6263}$ $R^2 = 0,995$	$V = 0,00815 \times DAP^{1,2069} \times HT^{-0,2644}$ $R^2 = 0,996$
AMP	$V = 0,000081 \times DAP^{1,7846} \times HT^{0,9159}$ $R^2 = 0,999$	$V = 0,000037 \times DAP^{2,0376} \times HT^{0,9772}$ $R^2 = 0,997$
UR	$V = 0,000122 \times DAP^{1,8582} \times HT^{0,7577}$ $R^2 = 0,998$	

CCC: *C. citriodora subsp. citriodora*; CH: *C. henryi*; CCV: *C. citriodora subsp. variegata*; CT: *C. torelliana*; EL: *E. longirostrata*; MJ: *E. major*; AMP: *E. amplifolia*; UR: *E. urophylla*; V: volume; DAP: diâmetro a altura do peito (cm); HT: altura total (m); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

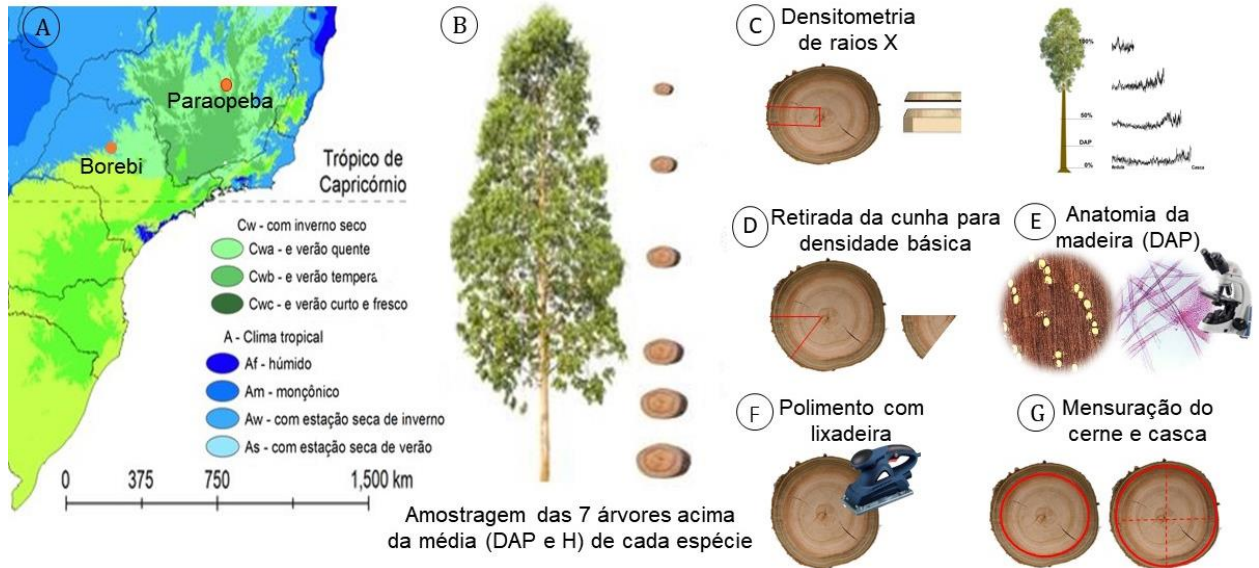
Fonte: o autor.

### 3.2 AMOSTRAGEM E PROPRIEDADES DA MADEIRA

Discos de madeira foram retirados no sentido da base ao topo das árvores, nas posições do 0 (base), DAP (1,30 m), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (Figura 4

B), considerada no diâmetro mínimo de 4,5 cm no sítio menos seco e de 3,5 cm no sítio mais seco.

Figura 4. Esquema metodológico da amostragem para as análises das propriedades da madeira.



Fonte: o autor.

A densidade aparente da madeira (12% de umidade) foi analisada pela técnica de densitometria de raios-X em 3 árvores amostradas por espécie, nas posições da base, DAP, 50 e 100% da altura comercial. Seções radiais de 3 x 2 cm (espessura e largura) (Figura 4 C) foram retiradas dos discos de madeira para o corte de seções no sentido transversal de 2,0 mm de espessura. As amostras permaneceram em sala de climatização (12 h, 20°C e 60% UR) até atingirem 12% de umidade.

A leitura das seções radiais das amostras foi executada por feixes de raios X colimados, em intervalos de 0,40 mm, no equipamento QTRS-01X (*Quintek Measurement Systems*). Para a conversão dos valores de raios X em densidade aparente, foi utilizado o software QMS, como executado por Silva (2020). Dentre as 03 árvores analisadas apresentou-se o perfil da árvore com maior representatividade da média da densidade.

Uma cunha foi retirada dos discos de madeira de cada posição no sentido base-topo das árvores, para determinação da densidade básica, conforme a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 (ABNT, 2003) (Figura 4 D). Foi realizada a média ponderada da densidade básica da madeira pelo volume, considerando as posições amostrais ao longo do fuste de cada espécie. Para obter a amplitude de variação dos valores de densidade entre árvores no sentido base ao topo foi calculada

a diferença entre o maior e o menor valor obtido em cada posição de cada árvore amostrada.

A biomassa estimada do fuste, também denominada de massa seca, foi calculada pela multiplicação do volume comercial e a densidade básica da madeira, conforme Rocha et al. (2020).

A caracterização dos vasos e fibras foi realizada por microscopia da região do câmbio (Figura 4 E), adotando-se 20 mensurações para cada amostra de acordo com a Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974) e da Associação Internacional de Anatomistas de Madeira (IAWA COMMITTEE, 1989). Cortes histológicos em micrótomo foram utilizados para mensuração dos vasos, enquanto para as fibras, utilizou-se a metodologia de maceração de Nicholls e Dadswell, descrita por Ramalho (1987).

A mensuração dos elementos celulares foi realizada no microscópio Zeiss, modelo Axio Scope. A1 acoplado ao software Axio Vision SE64. Foram feitas mensurações dos seguintes parâmetros anatômicos: diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ ), frequência vascular ( $\text{n}^\circ\text{mm}^{-2}$ ), comprimento ( $\mu\text{m}$ ) e espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ).

Os discos de madeira foram polidos (Figura 4 F) para a demarcação da área de cerne, que foi conduzida pela diferença visual de cor em relação ao alburno com aspensão de água na superfície dos discos. Para os discos em que a demarcação do cerne não foi nítida apenas com a aspensão, foi utilizada solução de 1g de dimetil amarelo dissolvido em 500 ml de etanol para destacar o cerne (CASTRO, 2014).

Para quantificar a área de cerne, duas retas perpendiculares foram marcadas de uma extremidade a outra dos discos, passando pela medula com uma régua milimétrica (Figura 4G). A porcentagem de cerne foi determinada pela relação da área ocupada pelo cerne pela área total (cerne, alburno e casca) da seção transversal (BRITO et al., 2019). A porcentagem de casca foi obtida pela divisão do volume de casca ( $\text{m}^3$ ) pelo volume da secção com casca de cada disco retirado de todo o fuste.

### 3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para análise estatística dos dados de proporção de casca e de cerne, densidade básica e morfologia de vasos e fibras do lenho, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial duplo. O sítio representou o



primeiro fator, em dois níveis, e as espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* o segundo fator, em sete níveis. Logo, avaliou-se os fatores, bem como a interação entre eles.

Para possibilitar a análise estatística paramétrica, os dados de porcentagem de casca e de cerne foram transformados por  $\arcsen \sqrt{X/100}$ . Estas transformações, indicadas por Steel e Torrie (1980), foram utilizadas pela necessidade de normalizar a distribuição dos dados (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneizar as variâncias (teste de Levene). Foi utilizado o teste de Scott-Knott para os fatores e interações detectados como significativos pelo teste de F da análise de variância - ANOVA. Para todos os testes utilizou-se 5% de nível de significância.

## 4. RESULTADOS

Apenas a densidade básica, diâmetro tangencial e frequência dos vasos não apresentaram interação da espécie e ambiente, com diferença apenas entre espécies. Para porcentagem de cerne e casca, houve influência do sítio, e apenas a espécie EL não apresentou diferença significativa entre sítios. Apenas as espécies AMP (CF) e CT (EP) apresentaram interação entre ambientes para o comprimento e espessura da parede das fibras.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

As menores médias de altura, DAP e IMA foram observadas no sítio mais seco (Tabela 4). As maiores reduções do IMA em resposta ao ambiente foram observadas nas espécies AMP, CCC e CT, aos 6 anos de idade. Em ambos os sítios, o CCV e EL apresentaram os maiores IMA's entre as espécies. A menor taxa de crescimento em ambos os sítios ocorreu para o AMP.

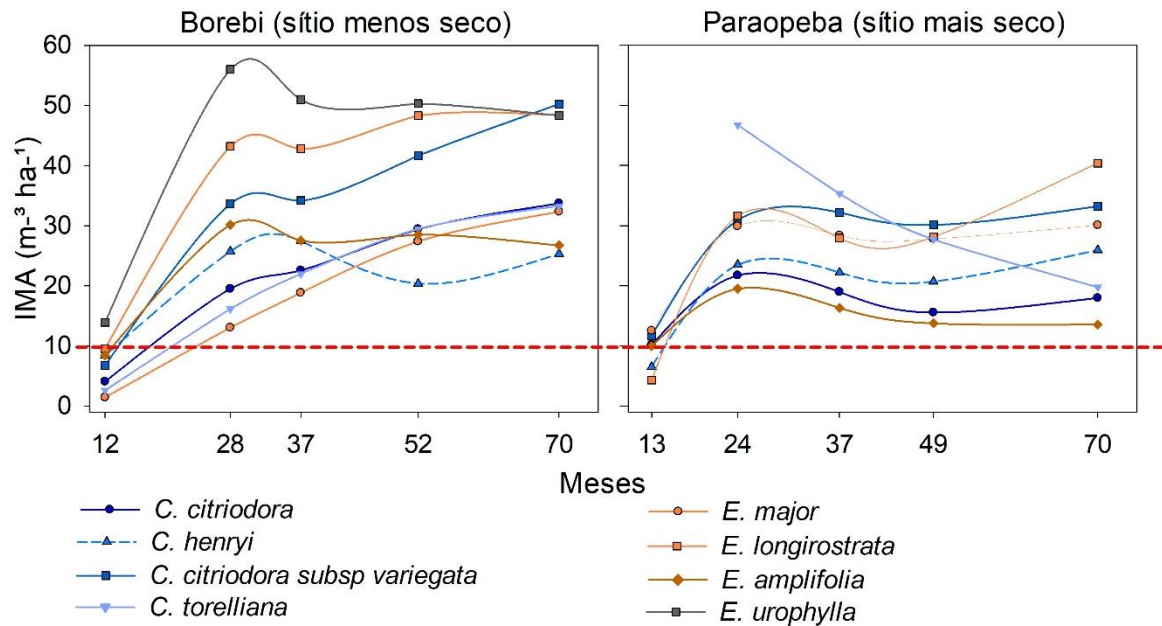
Tabela 4. Crescimento e produção das árvores das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.

Espécies	Borebi – SP (sítio menos seco)			Paraopeba – MG (sítio mais seco)			Perda de produtividade		
	H	DAP	IMA	H	DAP	IMA	H	DAP	IMA
CCC	19,28	14,17	33,74	15,72	10,42	11,97	-18%	-26%	-64%
CH	21,10	15,49	25,33	18,49	13,06	20,18	-12%	-16%	-20%
CCV	25,27	15,97	50,25	18,77	13,36	22,15	-26%	-16%	-55%
MJ	14,58	14,58	32,36	14,17	10,10	20,58	-3%	-31%	-36%
EL	22,10	15,26	48,40	21,92	13,79	26,94	-1%	-10%	-44%
CT	17,82	14,45	33,31	15,25	11,18	13,37	14%	-22%	-59%
AMP	17,29	13,54	26,72	13,64	9,04	9,02	-21%	-32%	-66%
UR	23,12	16,23	48,32	-	-	-			

CCC: *C. citriodora* subsp. *citriodora*; CH: *C. henryi*; CCV: *C. citriodora* subsp. *variegata*; CT: *C. torelliana*; EL: *E. longirostrata*; MJ: *E. major*; AMP: *E. amplifolia*; H: altura (m); DAP: diâmetro a altura do peito (cm); IMA: incremento médio anual ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ); Célula verde: maior média; Célula cinza: menor média.

O IMA ao longo dos anos apresentou maior desenvolvimento inicial das espécies no sítio mais seco, porém após os 24 meses, as espécies CCC, CH, CCV, MJ e EL apresentaram decréscimo sucessivo até a medição aos 70 meses que apresentou acréscimo do IMA (Figura 5). Já as espécies CT e AMP apresentaram decréscimo constante em todas as medições após os 24 meses.

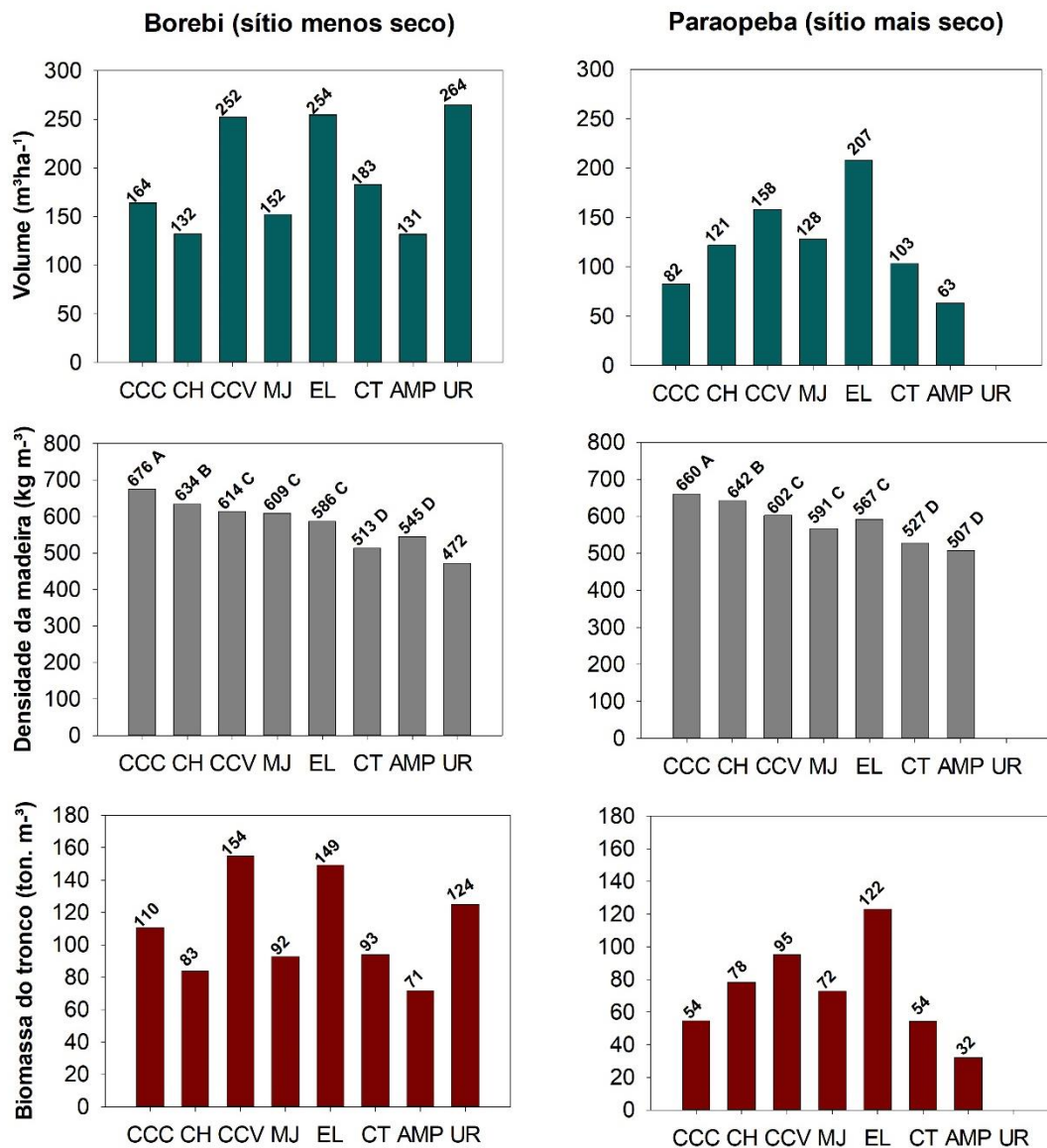
Figura 5. Valores médios de IMA dos 12 aos 70 meses de idade das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.



No sítio menos seco, as espécies apresentaram maior variação de IMA durante os 70 meses, em que apenas a espécie UR apresentou maior desenvolvimento e melhor estabilidade em relação ao IMA. As espécies CCC, CCV, EL e MJ apresentaram aumento do IMA no decorrer dos meses, o mesmo aconteceu com o EL no sítio mais seco. Já a espécie CH apresentou valores de IMA próximos nos dois sítios durante todas as medições.

A densidade da madeira não apresentou variação significativa entre os dois sítios, apenas entre as espécies (Figuras 6 e 7). Já o volume e biomassa apresentaram diferença significativa entre os sítios, sendo as espécies CH, MJ e EL com a menor variação entre os dois ambientes de crescimento.

Figura 6. Médias dos valores de volume, densidade da madeira e biomassa do tronco das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.



CCC = *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*; CH = *Corymbia henryi*; CCV = *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*; MJ = *Eucalyptus major*; EL = *Eucalyptus longirostrata*; CT = *Corymbia torelliana*; AMP = *Eucalyptus amplifolia*; e UR = *Eucalyptus urophylla*.

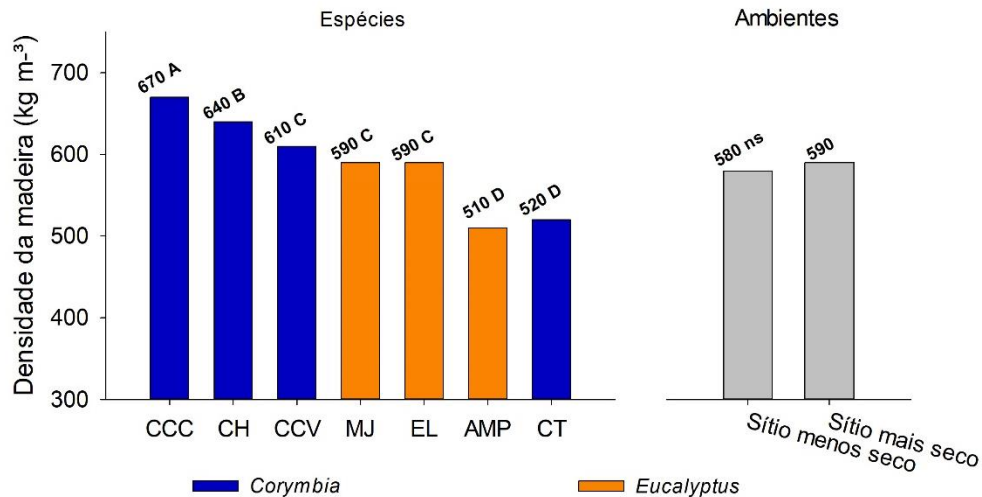
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P > 0,05$ ).

O CH apresentou a menor variação entre os sítios para o volume e biomassa do fuste. Já o AMP, CCC, CCV e CT foram as espécies com maior impacto no volume, IMA e biomassa do fuste entre sítios.

Isoladamente, a nível de espécie, os corymbias apresentaram os maiores valores de densidade (com exceção do CT), sendo o CCC a espécie mais densa, em ambos os sítios, seguida pelo CH e CCV (Figura 7). Dentre as espécies de *Eucalyptus*, o MJ e EL apresentaram os maiores valores de densidade. A densidade média das espécies variou de 470 (UR) à 670 kg m³ (CCC). Pela classificação de Nennewitz et

al. (2008) as espécies foram consideradas de densidade média (510 à 720 Kg m<sup>-3</sup>), apenas o UR obteve densidade classificada como baixa.

Figura 7. Valores médios de densidade básica da madeira por espécie de *Eucalyptus* e *Corymbia* e por ambiente climático, isoladamente.



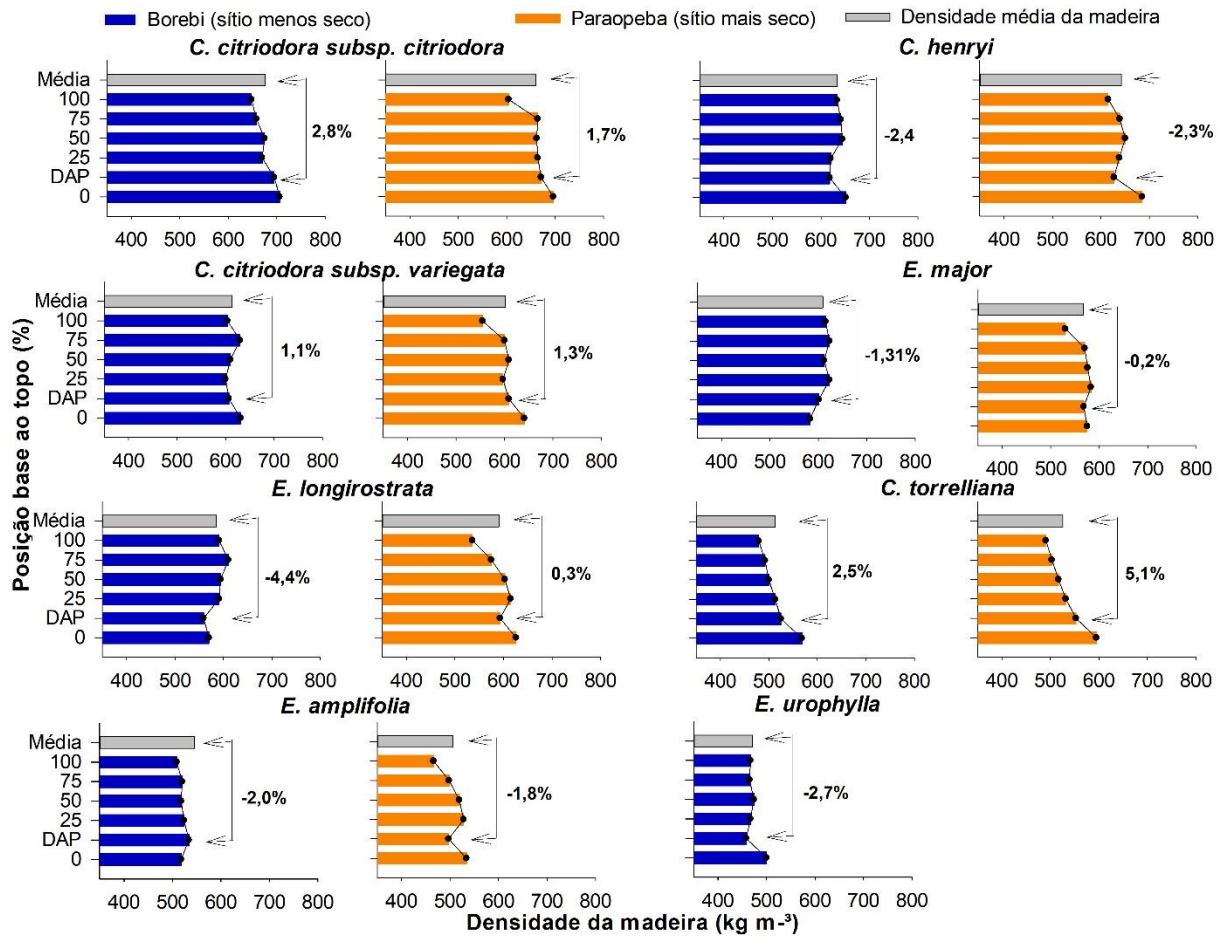
CCC: *C. citriodora* subsp. *citriodora*; CH: *C. henryi*; CCV: *C. citriodora* subsp. *variegata*; CT: *C. torelliana*; EL: *E. longirostrata*; MJ: *E. major*; AMP: *E. amplifolia*; BO: Borebi - SP e PA: Paraopeba - MG.  
Espécies: seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Scott-Knot ( $P > 0,05$ ).  
Ambientes: ns não significativo ( $P < 0,05$ ) pelo teste de F.

#### 4.2 VARIAÇÃO BASE AO TOPO E MEDULA A CASCA DA DENSIDADE DA MADEIRA

A densidade da madeira variou de forma distinta no sentido base-topo das árvores nos dois sítios. No sítio mais seco, houve tendência de decréscimo da densidade na altura do DAP e no topo do fuste para todas as espécies. No sítio menos seco não houve um padrão entre as espécies.

A representatividade da densidade básica na posição do DAP, em relação a densidade média do fuste (Figura 8), apresentou baixa variação com a mudança de espécie e ambiente, as espécies com menor variação foram o CCV e CH. O MJ e EL no sítio mais seco, apresentaram densidade na altura do DAP, próxima ou semelhante à densidade média.

Figura 8. Representatividade da densidade básica da madeira determinada na posição do DAP em relação à média geral das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.



A amplitude de variação da densidade entre as árvores da mesma espécie, mediante as diferentes posições de amostragem da base ao topo das árvores, variou de 21 Kg m<sup>-3</sup> (EL) a 185,2 Kg m<sup>-3</sup> (CCV) no sítio menos seco (Tabela 5). O CCV no sítio menos seco, apresentou a maior variação entre às árvores, já o EL foi a espécie mais homogênea em ambos os sítios.

Tabela 5. Amplitude de variação da diferença entre árvores da densidade básica da madeira ( $\text{kg m}^{-3}$ ) em diferentes alturas do fuste comercial das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.

<b>Borebi</b> (sítio menos seco)								
	CCC	CH	CCV	MJ	EL	CT	AMP	UR
<b>0%</b>	81,1	164,3	185,2	57,0	12,0	148,5	123,8	95,0
<b>DAP</b>	82,1	113,7	185	117,7	94,1	88,8	153,8	120,0
<b>25%</b>	152,8	96,3	146,2	142,1	87,0	108,7	95,8	71,0
<b>50%</b>	135,8	56,9	96,3	21,0	66,3	96,9	52,6	87,0
<b>75%</b>	88,2	44,9	168,6	114,4	6,35	80,3	57,8	89,20
<b>100%</b>	52,0	87,9	88,8	126,4	80,0	141,4	61,6	123,0
<b>Paraopeba</b> (sítio mais seco)								
	CCC	CH	CCV	MJ	EL	CT	AMP	UR
<b>0%</b>	62,0	147,0	87,7	51,0	71,0	166,0	181,0	-
<b>DAP</b>	102,0	172,0	97,7	153,0	62,0	47,0	129,0	-
<b>25%</b>	62,0	163,0	85,0	153,0	66,0	31,0	85,0	-
<b>50%</b>	57,0	123,0	85,1	144,0	77,0	60,0	104,0	-
<b>75%</b>	46,0	121,0	94,1	150,0	146	53,0	95,0	-
<b>100%</b>	51,0	115,0	74,5	83,0	95,0	61,0	116,0	-

CCC: *C. citriodora* subsp. *citriodora*; CH: *C. henryi*; CCV: *C. citriodora* subsp. *variegata*; CT: *C. torelliana*; EL: *E. longirostrata*; MJ: *E. major*; AMP: *E. amplifolia*; DAP: diâmetro à altura do peito; IMA: incremento médio anual.

Célula verde: maior média e Célula cinza: menor média.

A variação da densidade aparente no sentido medula a casca, (Figura 9) aumentou nos últimos anos de crescimento, exceto para as espécies CH e CCV, sendo o MJ a espécie com maior densidade na região da medula em ambos os sítios. No sítio menos seco, foi observado tendência de acréscimo da densidade na região próxima a casca nas espécies CC, EL e UR. O CT, AMP e UR apresentaram menor variação de densidade ao longo dos anos, em ambos os sítios.





### 4.3 PORCENTAGEM E VARIABILIDADE DO CERNE E CASCA DA MADEIRA

As porcentagens de cerne e casca da madeira apresentaram diferenças significativas entre ambientes e entre as espécies, com exceção do EL, que não apresentou diferença estatística na porcentagem de cerne e casca entre os dois sítios avaliados (Tabela 6).

Tabela 6. Porcentagem de cerne e de casca das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.

Ambientes	Espécies							
	CCC <sup>1</sup>	CH	CCV	MJ	EL	CT	AMP	UR
<b>DAP (cm)</b>								
Borebi <sup>2</sup>	14,17	15,49	15,97	14,58	15,26	14,45	13,54	16,23
Paraopeba	10,43	13,06	13,36	10,10	13,80	11,19	9,04	
<b>% Cerne</b>								
Borebi	10,47*B (4,57)	18,20*A (7,07)	13,88* A (1,33)	7,47*C (4,07)	19,23 <sup>ns</sup> A (4,50)	10,74*B (3,07)	4,93*C (2,91)	44,40 (10,21)
Paraopeba	2,50 C (1,06)	5,85 B (3,81)	8,14 B (3,21)	0,00 D	16,27 A (4,04)	5,68 B (3,07)	1,48 C (1,56)	
<b>% Casca</b>								
Borebi	19,00*B (2,16)	13,03*C (3,08)	16,37*B (1,27)	21,61*A (4,06)	12,30 <sup>ns</sup> C (2,68)	8,35*D (1,28)	17,84*B (2,14)	8,72 (1,00)
Paraopeba	23,18B (2,43)	21,73B (3,88)	20,66B (0,90)	28,96A (2,78)	14,27C (2,16)	12,80C (2,31)	21,29B (2,55)	
<b>Espessura casca (cm)</b>								
Borebi	0,57	0,60	0,59	0,77	0,45	0,31	0,59	0,41
Paraopeba	0,61	0,69	0,67	0,71	0,42	0,35	0,47	

<sup>1</sup>CCC: *C. citriodora* subsp. *citriodora*; CH: *C. henryi*; CCV: *C. citriodora* subsp. *variegata*; CT: *C. torelliana*; EL: *E. longirostrata*; MJ: *E. major*; AMP: *E. amplifolia*, Célula verde: maior média e Célula cinza: menor média. <sup>2</sup>Borebi: sítio menos seco; Paraopeba: sítio mais seco.

Célula verde: maior média e Célula cinza: menor média.

Ambientes: \* Significativo ( $P < 0,05$ ) e <sup>ns</sup> não significativo ( $P \geq 0,05$ ) pelo teste de F.

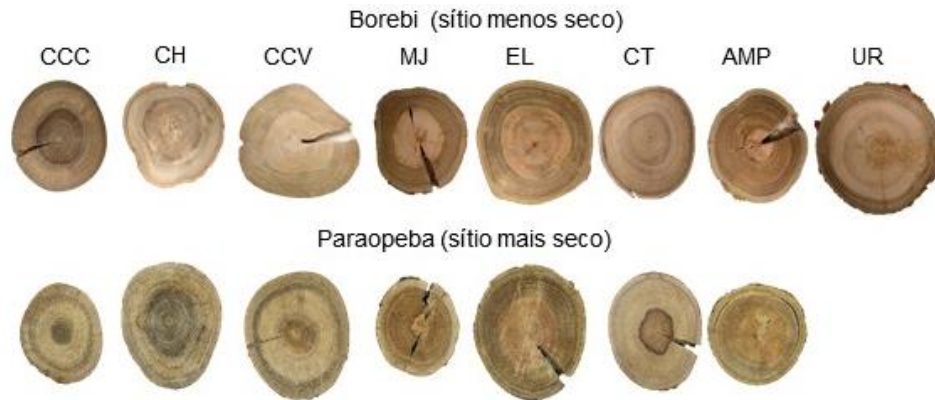
Espécies: as mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $P \geq 0,05$ ).

Números entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

As maiores porcentagens de cerne foram identificadas nas árvores que cresceram no sítio menos seco e, o UR, apresentou a maior porcentagem de cerne (44%) entre espécies. As maiores diferenças da quantidade de cerne entre os dois sítios ocorreram nas espécies MJ, CCC, AMP e CH.

A espécie EL apresentou as maiores porcentagens de cerne em ambos os sítios (desconsiderando o UR) (Figura 10). No sítio menos seco, a menor porcentagem de cerne ocorreu nas árvores AMP, já no sítio mais seco, não houve presença significativa de cerne no MJ.

Figura 10. Delimitação da área do cerne em discos de madeira das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.



CCC = *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*; CH = *Corymbia henryi*; CCV = *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*; MJ = *Eucalyptus major*; EL = *Eucalyptus longirostrata*; CT = *Corymbia torelliana*; AMP = *Eucalyptus amplifolia*; e UR = *Eucalyptus urophylla*

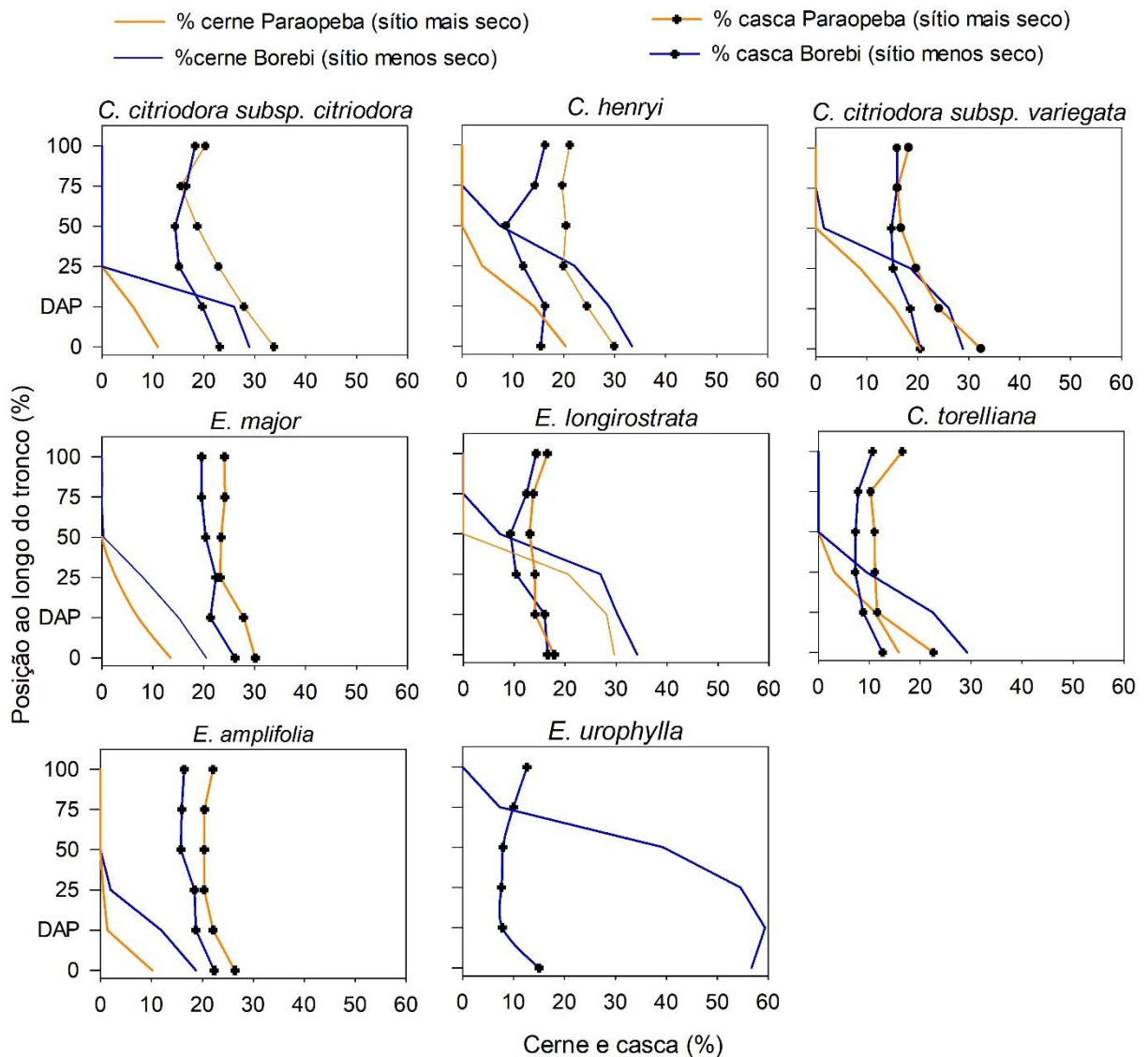
No sítio menos seco, houve presença de cerne ao longo do tronco até a altura de 75% no UR; nas espécies CH, CCV e EL houve presença de cerne até a altura de 50%; em 25% de altura nas espécies MJ, AMP e CT e na espécie CCC, apenas até a altura do DAP (Figura 11).

No sítio mais seco, a presença de cerne foi identificada até a altura de 25% nas espécies CT, CH, CCV, MJ e EL, e na altura do DAP para o CCC. A única espécie a apresentar cerne apenas na base foi o AMP.

As maiores porcentagens de casca foram observadas no sítio mais seco, com média geral de 20,42%, um acréscimo de 39,57% quando comparada à média geral de 14,63% do sítio menos seco. Na base (0%), foram observadas as maiores porcentagens de casca, em ambos os sítios, e apesar da variação ao longo do fuste, todas as espécies apresentaram acréscimo na porcentagem de casca na altura do topo (100%). A maior porcentagem de casca ocorreu no MJ, seguido pelo CCC, em ambos os sítios.

O CT e EL apresentaram em ambos os sítios as menores proporções de casca, (Tabela 6, Figura 11). Estes valores foram os mais próximos aos do UR, que apresentou a menor porcentagem de casca (8,72%) entre as espécies no sítio menos seco.

Figura 11. Variação da porcentagem de cerne e de casca em secções ao longo da altura do tronco nas diferentes espécies e ambientes climáticos.



#### 4.4 PARÂMETROS DE VASOS E FIBRAS DA MADEIRA

Os parâmetros de vasos da madeira não apresentaram interações entre espécie e ambiente. O DT foi semelhante entre os ambientes, já a FV foi superior no sítio mais seco (Tabela 7). O CF e EP possuem interação significativa entre as espécies e os ambientes, porém a diferença a nível de ambiente ocorreu apenas para o CF da espécie AMP e EP da espécie CT, indicando baixa influência do ambiente nas demais espécies. A espécie CT apresentou o maior DT e a menor frequência de

vasos, enquanto, o MJ e AMP apresentaram as maiores médias de FV e menores DT. As espécies MJ e AMP apresentaram os menores valores de CF e de EP.

Tabela 7. Dimensões dos vasos e fibras da madeira na região do câmbio das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* em dois ambientes climáticos.

Variável	Ambientes				Espécies				
	Borebi	Paraopeba	CCC	CH	CCV	MJ	EL	CT	AMP
DT	101,51 <sup>ns</sup>	100,68	100,85 B	104,59 B	94,81 C	89,48 C	104,19 B	121,42 A	92,34 C
FV	8,02 <sup>*</sup>	8,91	7,69 B	7,52 B	7,94 B	11,21 A	7,82 B	6,78 B	10,30 A

Ambientes	Espécies						
	CCC	CH	CCV	MJ	EL	CT	AMP
<b>Comprimento das Fibras – CF (µm)</b>							
Borebi	1042,99 <sup>ns</sup> A	995,06 <sup>ns</sup> A	1058,67 <sup>ns</sup> A	906,93 <sup>ns</sup> B	1058,39 <sup>ns</sup> A	1102,31 <sup>ns</sup> A	767,06 * C
Paraopeba	1044,62 A	1063,28 A	1027,44 A	896,79 B	1054,14 A	1035,77 A	904,05 B
<b>Espessura da Parede das Fibras – EP (µm)</b>							
Borebi	6,72 <sup>ns</sup> A	5,14 <sup>ns</sup> D	6,22 <sup>ns</sup> B	5,16 <sup>ns</sup> D	5,19 <sup>ns</sup> D	5,50 <sup>*</sup> C	4,99 <sup>ns</sup> D
Paraopeba	6,63 A	5,22 D	6,18 B	5,11 D	5,31 D	5,84 C	4,81 E

CCC: *C. citriodora* subsp. *citriodora*; CH: *C. henryi*; CCV: *C. citriodora* subsp. *variegata*; CT: *C. torelliana*; EL: *E. longirostrata*; MJ: *E. major*; AMP: *E. amplifolia*; DT: diâmetro tangencial dos vasos; FV: frequência dos vasos; Borebi: sítio menos seco; e Paraopeba: sítio mais seco.

Célula verde: maior média e Célula cinza: menor média;

Ambientes: \* Significativo ( $P < 0,05$ ) e <sup>ns</sup> não significativo ( $P \geq 0,05$ ) pelo teste de F.

Espécies: as mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $P \geq 0,05$ ).

## 5. DISCUSSÃO

O efeito das diferentes condições climáticas foi observado no IMA, e todas as espécies apresentaram maior taxa de crescimento no sítio menos seco. O maior desenvolvimento inicial observado no sítio mais seco pode ter ocorrido devido a maior precipitação nos anos de 2015 e 2016, contudo, apesar do sítio mais seco ter maior precipitação na maioria dos anos, também apresentou déficit hídrico em todos os anos, mas com maiores valores em 2017, 2019 e 2020. Estudo realizado por Elli et al. (2020b), demonstrou o acréscimo médio de  $2,16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a cada  $100 \text{ mm ano}^{-1}$  de acréscimo em precipitação anual. Já Binkley et al. (2020) relatam que a cada  $100 \text{ mm ano}^{-1}$  reduzido na precipitação foi associada uma diminuição de  $0,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de biomassa.

As espécies EL e CCV apresentaram os valores mais próximos do UR, sendo o IMA de ambos levemente superior ao UR, no sítio menos seco. A espécie EL e CCV apresentaram os maiores valores de crescimento em ambos os sítios, porém houve uma redução de 44 e 55% do IMA, no sítio mais seco. O CCV é caracterizado por apresentar maiores respostas frente à variação de temperatura e baixa às variáveis de disponibilidade hídrica (BRAWNER et al., 2013). Neste estudo, as temperaturas anuais foram próximas durante todos os anos, mas o déficit hídrico apresentou maiores diferenças em alguns anos.

Regiões com maior disponibilidade hídrica e baixas temperaturas resultam em maior produtividade em volume de madeira e biomassa do fuste (ROCHA et al., 2020), fato que ocorreu para este estudo. As maiores produções volumétricas correspondem ao maior desenvolvimento em diâmetro, como observado no sítio menos seco. As espécies com maiores valores de biomassa foram o EL e CCV, devido ao bom crescimento e a elevada densidade de suas madeiras.

Apesar da diferença de volume entre os ambientes, a densidade da madeira não apresentou alteração significativa entre sítios. A espécie com maior diferença nos valores de densidade entre ambientes foi o MJ com 6,8% e a menor foi observada no CH, com 1,4%. Ou seja, as condições climáticas de ambos os sítios não foram suficientes para alterar os valores de densidade da madeira, assim como ocorreu nas pesquisas de BARBOSA et al., 2019 e FREITAS et al., 2019, para clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, plantados em regiões com climas similares. Ressalta-se, que em situações de boa disponibilidade hídrica o crescimento em diâmetro das árvores é estimulado, o que pode reduzir a densidade da madeira de eucalipto, mas essa

alteração da densidade está muito atrelada ao genótipo (ALMEIDA, et al., 2020; ROCHA, et al., 2020) onde os materiais genéticos possuem comportamentos distintos em diferentes condições climáticas.

No sítio mais seco, todas as espécies apresentaram os maiores valores de densidade na base da árvore, já no sítio menos seco, isto ocorreu apenas nas espécies de *Corymbia*. Esta característica está diretamente relacionada com a necessidade de sustentação mecânica da árvore (SANGUMBE; ALBERTO, 2020).

A representatividade da densidade média geral das árvores em relação à posição do DAP é variável em função da espécie e seu fator de crescimento, sendo utilizada para não subestimar os valores médios das propriedades para a árvore inteira (BOSCHETTI; VIDAURRE; SILVA, 2020), auxiliando na escolha da posição mais representativa de cada espécie em determinada situação. O EL demonstrou um dos menores valores de representatividade da densidade média na posição do DAP, no sítio menos seco, já no sítio mais seco, ele apresentou alta representatividade, confirmando a influência da espécie e do fator de crescimento nas estratégias de amostragem.

As relações entre o ambiente, as respostas fisiológicas e as propriedades da madeira devem ser vistas em relação aos efeitos sobre a atividade cambial e incremento do caule (BRÄUNING et al., 2017). Houve interferências do clima nas dimensões das fibras do lenho das espécies AMP e CT, que apresentaram diferença entre ambientes para o CF e EP, respectivamente. No entanto, a morfologia das fibras das demais espécies foi pouco influenciada pelo clima.

A presença de vasos com menor DT é verificada como uma mudança adaptativa diante a redução da disponibilidade hídrica (PLOYET et al., 2019). Silva (2020) observou forte correlação entre disponibilidade hídrica e o diâmetro dos vasos e densidade da madeira de clones de eucalipto. Neste estudo, não houve interação entre os sítios para DT e FV, sendo CT a espécie com maior DT, enquanto as maiores FV foram observadas para MJ e AMP.

Ambientes com maior disponibilidade de água tendem a proporcionar maior volume nos indivíduos e conseqüentemente maior quantidade de cerne, como observado para o clone de *E. urophylla* mais plantado do Brasil, aos seis anos de idade, por ALMEIDA et al., 2020, e encontraram alta correlação da proporção de cerne com o diâmetro da árvore.

A produção de cerne é específica e característica da formação da madeira de cada espécie. No sítio mais seco, onde a espécie MJ apresentou o terceiro maior IMA

e não houve presença significativa de cerne, indicando que a espécie possui uma formação de cerne mais tardia. Já nas espécies CCC e AMP, que obtiveram as menores taxas de crescimento, houve presença de cerne.

O CH apresentou valores de IMA próximos em ambos os sítios, mas para produção de cerne, houve diferença significativa, indicando que ela está relacionada com as variáveis climáticas e não apenas com o crescimento. Mesmo apresentando valores de IMA próximos, no sítio mais seco, houveram anos com aumento do déficit hídrico, que podem ter influência no volume e conseqüentemente na produção de cerne. É indicado que pequenas mudanças para regiões quentes ou mais secas podem ocasionar mais do que mudanças no crescimento, mas também na formação de cerne e na densidade da madeira (ALMEIDA et al., 2020).

A formação do cerne é resultado de um estímulo hidráulico, para proporcionar a quantidade ótima de alburno funcional no fuste da árvore (HACKE, 2015). As taxas de crescimento semelhantes indicam a influência do clima na formação de cerne e discos com diâmetros similares apresentaram tendência de decréscimo na formação de cerne em sítios com menor índice de uso da água (ALMEIDA et al., 2020).

A quantidade de cerne diminuiu com o aumento da posição em altura da árvore, característica comum para diversas espécies de eucalipto (GONÇALVES, 2006; BRITO et al., 2019), e, como o desenvolvimento do cerne ocorre com o avanço da idade, a maior proporção é encontrada na base da árvore (SANTOS; GARCIA; GERALDI, 2004), situação observada neste trabalho.

O UR apresentou a maior porcentagem de cerne e foi a única espécie com presença de cerne em 75% da altura da árvore e, a que apresenta o maior volume entre espécies, no sítio menos seco. No geral, foi observado maiores proporções de cerne no sentido base ao topo nas espécies do sítio menos seco, já no sítio mais seco, a concentração foi em alturas menores ou em menor proporção quando comparado dentro de uma mesma espécie.

O gênero *Corymbia* é conhecido pela elevada proporção de casca, comparado as espécies comerciais de clones de eucalipto (SEGURA, 2015). E também foi observado grande variação da proporção de casca, demonstrando que a espessura da casca pode ser reduzida (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2015). No sítio mais seco, as espécies CCC, CCV e CH apresentaram porcentagens de casca próximos, já no sítio menos seco, foi observado menor porcentagem de casca no CT, valor similar ao da espécie EL. O MJ e AMP apresentaram alto teor de casca em ambos os sítios. Apesar

das espécies de *Corymbia* apresentarem alta porcentagem de casca, essa se desprendia com facilidade na colheita e durante a secagem das toras.

No sítio mais seco, a proporção de casca foi significativamente maior em relação ao sítio menos seco, uma resposta fisiológica da árvore exposta a um ambiente com maior déficit hídrico (MCDOWELL et al., 2008; POU et al., 2012). Ambientes mais secos restringem o crescimento da árvore e por consequência é estimulado a produção de cascas (RATNAM et al., 2019), devido a função protetora deste tecido (OLIVEIRA et al., 2019).

A proporção de casca em ambos sítios seguiu um padrão, apresentando maior percentual na base das árvores, decréscimo ao longo do tronco e acréscimo no topo, resultados semelhantes aos encontrados por Paula Neto et al. (1992) e Oliveira et al. (1999). Segundo Foelkel (2005) isso é explicado pelo fato de a porcentagem de casca em relação ao xilema variar com a altura da árvore, visto que nas regiões inferiores se concentra maior proporção devido ao acúmulo de casca morta externa, que funciona como um mecanismo de defesa da árvore. Já no topo do caule, pelo menor diâmetro do tronco e pela necessidade de transportar a seiva orgânica, a proporção de casca é alta em comparação com o xilema dessa região.

O EL foi a espécie menos impactada nas propriedades da madeira frente as condições climáticas e demonstrou melhor capacidade de adaptação nos sítios analisados. Já o CCV apresentou maior variação em seu volume entre os dois sítios, mesmo sendo uma das espécies mais produtivas avaliadas nesse estudo. Brawner et al. (2013) observaram que na Austrália, a espécie CCV apresentou boa adaptação em locais onde o EL se adaptou, exceto para locais com geada.

Mesmo que as médias de temperatura e precipitação apresentem pouca diferença entre sítios, o IMA, a produção de cerne e porcentagem de casca foram mais responsivas às variáveis ambientais que a densidade da madeira e a anatomia de vasos e fibras.

Esperava-se que o UR apresentasse a maior produtividade, por ser uma espécie amplamente utilizada no setor florestal e ser conhecido por sua alta produtividade (SILVA et al., 2019). As espécies CCV e EL apresentaram volume levemente superior ao da espécie controle e, as espécies CCV, CH, CT e MJ também apresentaram bom desenvolvimento, indicando o potencial das espécies para serem trabalhadas nos programas de melhoramento genético do Brasil.

Conhecendo as propriedades da madeira de diferentes espécies em ambientes diversos é possível projetar tendências em locais semelhantes aos avaliados nessa



pesquisa. As espécies CCV, CH, MJ, EL e CT apresentaram IMA e densidade da madeira semelhantes aos das utilizadas comercialmente, no entanto, as diferenças obtidas nas propriedades da madeira entre os sítios são indicativos da necessidade de desenvolvimento desses materiais como novos cultivares comerciais.

O conhecimento das características da madeira dessas espécies subsidiará estudos de melhoramento genético e seleção de características desejadas. Esses novos materiais se consolidam como novas possibilidades para o setor florestal brasileiro, como alternativas para produção de madeira para diferentes usos, e auxiliam a minimização de problemas atuais, como a ocorrência de doenças, pragas e a expansão das áreas de plantações florestais.

## 6. CONCLUSÕES

A diferença entre sítios influenciou o crescimento das árvores, promovendo diferenças em IMA, além de algumas características da madeira, como porcentagem de cerne e de casca, exceto para *E. longirostrata*. O *E. amplifolia*, *C. citriodora subsp. citriodora* e *C. torelliana* foram mais impactados em relação ao crescimento nos diferentes ambientes. Já o *C. henryi*, apesar da uniformidade do IMA, apresentou maior variação da porcentagem de cerne e casca, tendo o *E. major* a maior porcentagem de casca em ambos os sítios. As diferenças entre os sítios não foram suficientes para alterar a densidade e diâmetro tangencial dos vasos da madeira das espécies avaliadas.

O *C. citriodora subsp. citriodora* foi a espécie de madeira mais densa. O *E. major* e *E. longirostrata* apresentaram densidades medianas com valores semelhantes ao *C. citriodora subsp. variegata*. O *E. amplifolia* apresentou a menor produtividade e a menor densidade, enquanto o *C. torelliana* foi a espécie do gênero *Corymbia* de menor densidade e porcentagem de casca. Todas as espécies apresentaram madeiras mais densas que a do *E. urophylla*.

Considerando as posições de amostragem, o *C. torelliana* apresentou a maior variação entre o DAP e a média geral de densidade (5,1%) no sítio mais seco. Esses valores convertidos em quilos de madeira por metro cúbico podem influenciar o planejamento do transporte, os cálculos de biomassa do povoamento e as operações industriais, o que reforça a importância do estudo da variabilidade da densidade da madeira das espécies.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. N. F. *et al.* Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117743, 2020.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARAUJO, M. J. *et al.* Adaptability and stability of eucalypt clones at different ages across environmental gradients in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 454, p. 117631, 2019.
- ASSIS, T. F. Melhoria genética de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3, 2014, Campinas. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, v.1, p. 127-148, 2014.
- ASSIS, T. F.; ABAD, J. I.; AGUIAR, A. M. Melhoria Genética do Eucalipto. In: VIERA, M. V. S. M. (ed). **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 1ª ed. Santa Maria, RS: UFSM, p. 225-247, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2013 Ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.
- BAKER, T. R. *et al.* Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian Forest biomass. **Global Change Biology**, v. 10, p. 545-562, 2004.
- BARBOSA, T. L. *et al.* Influence of site in the wood quality of *Eucalyptus* in plantations in Brazil. **Southern Forests**, v. 81, n. 3, p. 247-253, 2019.
- BEECH, E. *et al.* GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 36, n. 5, p. 454-489, 2017.
- BINKLEY, D. *et al.* Variation in whole-rotation yield among *Eucalyptus* genotypes in response to water and heat stresses: The TECHS project. **Forest Ecology and Management**, v. 462, p. 117953, 2020.
- BOLAND, D. *et al.* **Forest trees of Australia**. 5ª ed. Melbourne: CSIRO, 2006.
- BONORA, F. S. *et al.* Spotted gums and hybrids: Impact of pests and diseases, ontogeny and climate on tree performance. **Forest Ecology and Management**, v. 472, p. 118235, 2020.
- BOSCHETTI, W. T. N.; VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M. Densidade e sua variação na madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; CARNEIRO, A. C. O. (Org.). **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil**. Vitória: EDUFES, 2020.

BRÄUNING, A. *et al.* Studying tree responses to extreme events. **Frontiers in plant science**, v. 8, n. 506, 2017.

BRAWNER, J. T *et al.* Classifying genotype by environment interactions for targeted germplasm deployment with a focus on *Eucalyptus*. **Euphytica**, v. 191, n. 3, p. 403-414, 2013.

BRAWNER, J. T. *et al.* Relationships between early growth and *Quambalaria* shoot blight tolerance in *Corymbia citriodora* progeny trials established in Queensland, Australia. **Tree Genetics and Genomes**, v. 7, n. 4, p. 759-772, 2011.

BRITO, A. S. *et al.* Effect of planting spacing in production and permeability of heartwood and sapwood of *eucalyptus* wood. **Floresta e Ambiente**, v. 26, p. 1-9, 2019.

BUSH, D.; HARWOOD, C.; PINKARD, E. Species for changing climates - Australian dryland forestry opportunities. **Australian Forestry**, v. 81, n. 2, p. 102-115, 2018.

CAMARGO, A. P. DE. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo**. Bragantia, 1962.

CAMPOE, O. C. *et al.* Meteorological seasonality affecting individual tree growth in forest plantations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p.149-160, 2016.

CASTRO, V. R. **Efeito do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis***. 2014. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2014.

CHOAT, B. *et al.* Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**. v. 491, p. 752-756, 2012.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**. v. 30, p. 1-19, 1974.

DOWNES, G. *et al.* Wood properties of *Eucalyptus globulus* at three sites in Western Australia: Effects of fertilizer and plantation stocking. **Australian Forestry**. v. 77,n. 3-4, p. 179-188, 2014.

ELLI, E. F. *et al.* Gauging the effects of climate variability on *Eucalyptus* plantations productivity across Brazil: A process-based modelling approach. **Ecological Indicators**, v. 114, p. 106325, 2020 a.

ELLI, E. F. *et al.* Global sensitivity-based modelling approach to identify suitable *Eucalyptus* traits for adaptation to climate variability and change. **in silico Plants**, v. 2, n. 1, p. 1-17, 2020 b.

FLORES, T. B. *et al.* ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto**: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, 2005. 109 p.

FREITAS, T. P. *et al.* Environmental effect on growth and characteristics of *Eucalyptus* wood. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. 1-9, 2019.

GARDNER, R. A. W.; LITTLE, K. M.; ARBUTHNOT, A. Wood and fibre productivity potential of promising new eucalypt species for coastal Zululand, South Africa. **Australian Forestry**, v. 70, n. 1, p. 37-47, 2007.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

GONÇALVES, J. L. M. *et al.* Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p.6-27, 2013.

GRATTAPAGLIA, D. *et al.* Progress in Myrtaceae genetics and genomics: *Eucalyptus* as the pivotal genus. **Tree Genetics & Genomes**, v. 8, p. 463-508, 2012.

HACKE, U. **Functional and Ecological Xylem Anatomy**. Switzerland: Springer, 2015.

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. **IAWA Bulletin**, v.10, n.3, p. 219-332, 1989.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual 2020**. Brasília: IBÁ, 2020. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 15 Jan. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014**. In: PACHAUI, R. K.; MEYER, L. A. (Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. 151 p.

LANDSBERG, J. J. Modelling forest ecosystems: state of the art, challenges, and future directions. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, n. 3, p. 385-397, 2003.

LEE, D. J. Achievements in forest tree genetic improvement in Australia and New Zealand 2: Development of *Corymbia* species and hybrids for plantations in eastern Australia. **Australian Forestry**, v. 70, n. 1, p. 11-16, 2007.

LEE, D. J. *et al.* Comparative performance of *Corymbia* hybrids and parental species in subtropical Queensland and implications for breeding and deployment. **Silvae Genetica**, v. 58, n. 5, p. 202-212, 2009.

LEE, D. J. *et al.* Selecting hardwood taxa for wood and fibre production in Queensland's subtropics. **Australian Forestry**, v. 73, n. 2, p. 106-114, 2010.

LI, B. *et al.* Evaluation of *Eucalyptus* red gum species and provenances for inland humid subtropical regions of southern China. **Australian Forestry**, v. 79, n. 1, p. 43-52, 2016.

LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. p. 352.

MÄKELÄ, A. *et al.* Simulating wood quality in forest management models. **Forest Systems**. v. 19, p. 48-68, 2010.

MCDOWELL, N. *et al.* Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? **New Phytologist**, v. 178, n. 4, p. 719-739, 2008.

MELESSE, S. F.; ZEWOTIR, T. The effect of correlated climatic factors on the radial growth of eucalypt trees grown in coastal Zululand of South Africa. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 14, p. 1233-1244, 2013.

MENESES, V. A. *et al.* Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 101-116, 2015.

NENNEWITZ, I. *et al.* **Manual de Tecnologia da Madeira**. São Paulo: Blucher, 2008. 354 p.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p.22-31.

OLIVEIRA, J. C. L. *et al.* Casca de *Eucalyptus*: crescimento e desenvolvimento em diferentes locais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 4. Santarém, 2019. **Anais...** Santarém: UNIOESTE, 2019.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, 1999.

PAULA NETO, F. *et al.* Variação da percentagem de casca ao longo do tronco e entre árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 16, n. 3, p. 309-318, 1992.

PLOYET, R. *et al.* A systems biology view of wood formation in *Eucalyptus grandis* trees submitted to different potassium and water regimes. **New Phytologist**, v. 223, n. 2, p. 766-782, 2019.

POU, A. *et al.* Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behaviour. **Plant and Soil**, v. 359, n. 1-2, p. 335-349, 2012.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa, MG: UFV, 4 p, 1987.

- RATNAM, J. *et al.* Functional traits of trees from dry deciduous 'forests' of southern India suggest seasonal drought and fire are important drivers. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 8, 2019.
- REIS, C. A. F. *et al.* ***Corymbia torelliana***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. (Documentos / Embrapa Florestas, 261).
- ROCHA, M. G. B. *et al.* Avaliação genética de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E(EQM). **Ciência Florestal**, v.16, n. 4, p. 369-379, 2006.
- ROCHA, S. M. G. *et al.* Influence of climatic variations on production, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species. **Forest Ecology and Management**, v. 473, p. 118290, 2020.
- ROCKWOOD, D. L. History and status of Eucalyptus improvement in Florida. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, ID 607879, 2012.
- SANGUMBE, L. M. V.; ALBERTO, L. U. J. Variação radial e longitudinal da densidade básica das madeiras de *Eucalyptus saligna* e de *Pinus radiata*. **Revista digital de Meio Ambiente "Ojeando la agenda"**, n. 66, p. 24-35, 2020.
- SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 142-151, 2004.
- SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose Kraft branqueada**. 2015. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.
- SETTE JR., C. R. *et al.* Relationship between climate variables, trunk growth rate and wood density of *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden Trees. **Revista Árvore**. v. 40, n. 2, p. 337-346, 2016.
- SILVA, A. P. C. **Respostas estruturais do xilema de *Eucalyptus* à diferentes condições hídricas**. 2020. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2020.
- SILVA, P. H. M. *et al.* Adaptability and stability of novel eucalypt species and provenances across environments in Brazil at two assessment. **New Forests**, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09886-7>
- SILVA, P. H. M. *et al.* Selecting for rust (*Puccinia psidii*) resistance in *Eucalyptus grandis* in São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 303, p. 91-97, 2013.
- SILVA, P. H. M. *et al.* Sobrevivência e crescimento inicial de espécies de eucalipto em diferentes condições climáticas. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 563-571, 2017.
- SILVA, P.H. M. *et al.* Selecting for stable and productive families of *Eucalyptus urophylla* across a country-wide range of climates in Brazil. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 49, p. 87-95, 2019.

SOUZA, T. S. *et al.* Performance of *Eucalyptus* clones according to environmental conditions. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 601-610, 2017.

STAPE, J. L. *et al.* The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980, 633p

VENEGAS-GONZÁLEZ, A. *et al.* Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology volume**, v. 123, n. 1-2, p. 233-245, 2016.