



PALOMA CARVALHO DINIZ

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE TOLERÂNCIA À SECA
PARA PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO BRASIL**

LAVRAS – MG

2023

PALOMA CARVALHO DINIZ

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE TOLERÂNCIA À SECA PARA
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de
Bacharel.

Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe
Orientador

Me. Fernanda Leite Cunha
Coorientadora

LAVRAS – MG

2023

PALOMA CARVALHO DINIZ

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE TOLERÂNCIA À SECA PARA
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO BRASIL**

**FUNCTIONAL ATTRIBUTES OF DROUGHT TOLERANCE FOR
EUCALYPTUS PLANTATIONS IN BRAZIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADA em 11 de julho de 2023.
Dr. Otávio Camargo Campoe UFLA
Me. Fernanda Leite Cunha UFLA
Me. Josiana Jussara Nazaré Basílio UFLA

Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe
Orientador

Me. Fernanda Leite Cunha
Coorientadora

LAVRAS – MG

2023

*Aos meus amados avós, Maria e Benerval,
pelo incentivo, amor e carinho.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus avós Maria e Benerval e minha mãe Lucivania, por todo incentivo durante os anos de faculdade.

Às minhas tias Jacinelma, Silvia, Vanessa e Nidiane, que são como mães para mim. Que nunca mediram esforços para que eu concluísse mais essa etapa. Agradeço por estarem presentes, compartilhando risadas, conselhos e apoio nos momentos bons e difíceis.

Aos meus primos Glaubert e Vinicius pela amizade.

Ao Francisco por sua amizade e por ter me acolhido em sua casa durante esses anos de estudo. Sua generosidade e apoio foram fundamentais para que eu pudesse focar nos meus objetivos acadêmicos.

Ao meu namorado Paulo Henrique, gostaria de expressar minha gratidão. Seu apoio e dedicação em me auxiliar nos estudos foram verdadeiramente inestimáveis. Sempre estive ao meu lado, oferecendo suporte emocional e encorajamento durante os momentos desafiadores na minha jornada acadêmica. Suas palavras de estímulo, paciência e confiança foram fundamentais para que eu pudesse superar obstáculos e alcançar meus objetivos.

Aos amigos que tive a oportunidade de conquistar ao longo desta caminhada. Em especial, aos colegas Diana Suzete, Walquiria Moura, Bruno Barros, Carolina Bernini, Denise Madeira e Vinivenci.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), pela oportunidade concebida para a realização da graduação.

Ao meu orientador Otávio Camargo Campoe, pela oportunidade, ensinamentos e exemplo de professor.

À Fernanda Leite Cunha, pela coorientação, paciência, pelas considerações e sugestões ao longo da construção deste trabalho.

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) pela bolsa de estágio.

Ao Programa TECHS pela disponibilidade do banco de dados.

Aos colegas do Laserf e EcoMAPS, em especial a Josiana Basílio pela paciência e generosidade.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

RESUMO

O Brasil é um importante produtor de florestas plantadas de *Eucalyptus*, porém, a produtividade do gênero está sendo afetada pelas mudanças climáticas. As alterações no clima estão aumentando a frequência e intensidade das secas, o que impacta negativamente a produção de madeira. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é reunir os atributos funcionais de tolerância à seca dos clones *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*, a fim de melhorar o desenvolvimento dos materiais genéticos adaptados a condições de escassez hídrica. A metodologia utilizada envolveu a integração de dados ecofisiológicos do projeto TECHS e trabalhos publicados sobre os clones selecionados para análise. Os dados foram compilados em uma tabela única e analisados para obter informações relevantes sobre os atributos funcionais. Os resultados foram apresentados em tabelas e gráficos para melhor visualização dos dados. A análise conjunta dos atributos funcionais desses clones de eucalipto com comportamentos contrastantes em produtividade e tolerância à seca é essencial para selecionar e aprimorar geneticamente clones adaptados, fornecendo informações cruciais para modelos ecofisiológicos e plantações sustentáveis diante dos desafios da escassez de água e das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Ecofisiologia. Mudanças climáticas. Produtividade. Integração de dados. Clones de *Eucalyptus*.

ABSTRACT

Brazil is an important producer of planted *Eucalyptus* forests; however, the productivity of the gener is being affected by climate change. Climate alterations are increasing the frequency and intensity of droughts, negatively impacting wood production. The aim of this study is to gather the functional attributes of drought tolerance for the *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* clones in order to improve the development of genetic materials adapted to water scarcity conditions. The methodology involved integrating eco-physiological data from the TECHS project and published works on the selected clones for analysis. The data was compiled into a single table and analyzed to obtain relevant information about the functional attributes. The results were presented in tables and graphs for better visualization. The joint analysis of the functional attributes of these *Eucalyptus* clones with contrasting behaviors in productivity and drought tolerance is essential to select and genetically improve adapted clones, providing crucial information for eco-physiological models and sustainable plantations in the face of water scarcity and climate change challenges.

Keywords: Ecophysiology. Climate change. Productivity. Data integration. *Eucalyptus* clones.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	O <i>Eucalyptus</i> no Brasil	10
2.2	Atributos funcionais de plantas	10
3	METODOLOGIA	13
3.1	Sítios experimentais e genótipos	13
3.2	Integração de dados ecofisiológicos.....	14
3.3	Análise de dados.....	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1	Atributos funcionais	17
4.1.1	Estoque de carbono	17
4.1.2	Fluxos e partição de carbono	18
4.1.3	Profundidade de enraizamento e Biomassa de raízes finas	21
4.1.4	Amplitude de temperaturas ótimas para o crescimento	22
4.1.5	Eficiência no uso da água	24
4.1.6	Características morfométricas estomáticas.....	25
4.1.7	Índice de área foliar.....	27
4.1.8	Ângulos foliares.....	28
4.1.9	Radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel	29
4.1.10	Eficiência do uso da luz	30
4.1.11	Parâmetros dendrométricos	31
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como um dos principais produtores mundiais de florestas plantadas, apresentando mais de nove milhões de hectares plantados, em que 7,53 é composta pelo gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2022). O Brasil se destaca por apresentar a maior produtividade por área e um ciclo curto, nos plantios de *Eucalyptus*. (OLIVEIRA; DE PAULA; DE PAULA, 2022). No entanto, nos últimos anos, tem-se observado uma queda na produtividade do gênero, possivelmente em decorrência das mudanças climáticas (IBÁ, 2022).

As mudanças climáticas têm como consequência alterações nos regimes de precipitação e temperatura, sendo previsto que agravem a intensidade e a frequência de secas futuras (PINHEIRO, 2019). O crescimento das florestas plantadas de eucalipto é fortemente influenciado pelo clima, e as variações anuais na quantidade de chuva podem ter um impacto significativo na produção de madeira (STAPE et al., 2010). Portanto, é provável que as variações climáticas regionais resultem em alterações na produtividade (BINKLEY et al., 2017).

A seca é uma das principais causas de perda de produtividade, qualidade da madeira e até mesmo de mortalidade de florestas em todo o mundo (WU et al., 2011). Com o aumento das mudanças climáticas, a seca tornou-se ainda mais comum e intensa em muitas regiões, afetando plantações em larga escala, como as de eucalipto. Como resultado, há uma necessidade crescente de selecionar genótipos mais tolerantes à seca que possam resistir a períodos prolongados de falta d'água (BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2016).

A maioria dos plantios florestais comerciais de *Eucalyptus* no Brasil é composta por clones de híbridos desenvolvidos por programas de melhoramento. Esses clones são o resultado de cruzamentos entre as espécies, sendo geneticamente superiores e selecionados para se adaptarem as características específicas de cada região. Eles apresentam diferenças significativas em crescimento, uso de água, produção de madeira e tolerância ao déficit hídrico (DE ARAUJO et al., 2019; GONÇALVES et al., 2017).

A busca por genótipos adequados para serem implantados em condições ambientais adversas representa um desafio para diversas empresas florestais (TATAGIBA, 2016). Geralmente, essas empresas optam por cultivar os genótipos A1 (*E. urophylla*) e C3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) devido às características distintas, influenciadas pelos diferentes ambientes de seleção (BASÍLIO, 2021). O clone A1 é o mais plantado no Brasil devido à sua

alta produtividade e plasticidade, sendo encontrado em diferentes regiões do país no zoneamento clonal. Por outro lado, o clone C3 é tolerante à seca, porém apresenta baixa produtividade, sendo estrategicamente plantado apenas em áreas com déficit hídrico.

Embora esses clones sejam conhecidos por terem boa adaptação ao clima tropical e subtropical, eles ainda são afetados pela escassez de água em períodos de seca (HUBBARD et al., 2020). Sendo assim, identificação dos principais atributos funcionais de tolerância à seca é fundamental para selecionar genótipos mais resistentes à escassez de água. Um dos atributos essenciais para o sucesso de qualquer empreendimento florestal é a escolha adequada dos genótipos a serem utilizados (CONTI JUNIOR, 2019). Portanto, é fundamental identificar parâmetros fisiológicos, morfológicos e anatômicos que contribuam para a tolerância à seca em clones de *Eucalyptus*, a fim de aprimorar o processo de seleção e identificação de clones em resposta às mudanças climáticas (CONTI JUNIOR, 2019).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é reunir os principais atributos funcionais de tolerância à seca para plantações de eucalipto no Brasil, fornecendo informações relevantes para os modelos ecofisiológicos, o melhoramento genético e seleção de materiais genéticos mais adaptados às condições desafiadoras de escassez de água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O *Eucalyptus* no Brasil

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, possui cerca de 800 espécies, além de um grande número de variedades e híbridos (PALUDETO et al., 2020). Essas árvores possuem uma ampla plasticidade e capacidade de adaptação, permitindo seu crescimento satisfatório em diversas condições edafoclimáticas ao redor do mundo (DA SILVA OLIVEIRA et al., 1999; SANTOS; AUER; ALBINO, 2001). São conhecidas por seu rápido crescimento, alta produtividade e diversidade de aplicações econômicas, como produção de celulose, papel, madeira serrada, móveis e outros produtos (CORREIA, 2011).

No Brasil, o *Eucalyptus* foi introduzido comercialmente no início do século XX (CORREIA, 2011) e atualmente ocupa uma área de cerca de 7,5 milhões de hectares (IBÁ, 2022). Inicialmente concentrado nas zonas temperadas dos estados das regiões Sudeste e Sul, os plantios se expandiram para regiões mais tropicais, como o Nordeste e o Centro-Oeste. No entanto, essas áreas enfrentam longos períodos de estação seca durante o ano, o que pode causar estresse hídrico nas plantas (GONÇALVES, 2022). Para lidar com esse desafio, têm sido desenvolvidos genótipos adaptados a essas condições de alta temperatura e baixa pluviosidade, visando manter o crescimento e a produtividade das árvores nessas regiões (GONÇALVES et al., 2013).

Dois importantes híbridos plantados no Brasil são o *Eucalyptus urophylla* (A1) e o *E. grandis* x *E. camaldulensis* (C3), os quais apresentam comportamentos contrastantes em relação à produtividade e tolerância à seca. O clone A1 tem se destacado como um dos clones mais cultivados no Brasil, devido à sua alta produtividade em diversas regiões (CALDEIRA et al., 2020). Por outro lado, o clone C3 é plantado em áreas mais secas, devido a sua tolerância ao stress hídrico e suas taxas de crescimento mais baixas (HUBBARD et al., 2020).

2.2 Atributos funcionais de plantas

Os atributos funcionais são características morfológicas, anatômicas, fisiológicas e fenológicas que afetam o desempenho das plantas em seu ambiente, incluindo sua capacidade de crescimento, reprodução e sobrevivência (VIOLLE et al., 2007).

As plantas mais abundantes em locais com forte pressão seletiva possuem atributos funcionais capazes de tolerar, resistir ou evitar condições ambientais adversas (EDUARDO, 2017). Ao longo do processo evolutivo, as plantas desenvolveram esses atributos em resposta

a diversas pressões ambientais, como a disponibilidade de água, luz, nutrientes, temperatura, herbívora, competição e outras interações bióticas e abióticas (GRATANI, 2014; VIOLLE et al., 2007).

Nesse contexto, é possível classificar os diferentes grupos de espécies ou indivíduos de acordo com as suas funções, ou respostas semelhantes aos atributos funcionais (ROSENFELD; MÜLLER, 2020). À medida que os atributos variam em resposta a mudanças ambientais ou têm impacto nos processos ecossistêmicos, eles podem ser chamados de atributos resposta ou atributos de efeito (LAVOREL; GARNIER, 2002).

Os atributos de resposta são aqueles que indicam a variação de determinados atributos, como densidade básica da madeira ou área foliar, em respostas às condições ambientais, como, por exemplo, em regiões onde há maior temperatura e disponibilidade hídrica (MOSER et al., 2019; WRIGHT et al., 2017). Os atributos de efeito, exercem influência sobre as condições ambientais ou os processos ecossistêmicos. Um exemplo desses atributos é a taxa de decomposição da serapilheira, a qual é afetada por características como alta área foliar (OLIVEIRA; MARQUES; MARQUES, 2019; PANTALEÃO, 2020; PETCHEY; GASTON, 2006; ROSENFELD; MÜLLER, 2019). Portanto, dependendo da pergunta a ser investigada, um mesmo atributo pode ser classificado como de efeito ou de resposta.

Os atributos funcionais de plantas têm sido amplamente utilizados, principalmente devido à disponibilidade de informações de bases de dados globais e regionais (CHAVE et al., 2009; GALETTI; PIZO; MORELLATO, 2011; KATTGE et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2019; ROSENFELD; MÜLLER, 2020). Existem diversas técnicas para avaliar os atributos funcionais das plantas. Cada uma delas permite obter informações específicas sobre aspectos como a produção de biomassa, a eficiência do uso de recursos (como luz e água), o estoque de carbono, o crescimento da planta, a absorção de nutrientes, entre outros.

A medição da biomassa de raízes finas e da profundidade de enraizamento é importante para entender a capacidade das plantas em adquirir recursos do solo e sua adaptação às condições de disponibilidade de nutrientes e água (BASÍLIO, 2021; GERMON et al., 2016).

O estoque de carbono e fluxo de carbono nas plantas está relacionado ao processo de sequestro de carbono, ou seja, à capacidade das plantas de capturar e armazenar o carbono atmosférico em sua biomassa (CAMPOE et al., 2020; CAMPOE, 2012; HINCAPIE, 2020).

A altura, o diâmetro à altura do peito (DAP), a área basal e o volume são medidas que fornecem informações sobre o crescimento e o desenvolvimento da planta. O incremento médio anual para avaliar a produtividade e a taxa de crescimento das plantas. A temperatura ótima para o crescimento está relacionada à faixa de temperatura em que as plantas apresentam o melhor desempenho fisiológico (QUEIROZ et al., 2020).

O ângulo foliar, o índice de área foliar e a área específica estão relacionados à eficiência da captação de luz pelas folhas e à troca gasosa (CAMPOE, 2012; MATTOS, 2015). Os teores de macro e micronutrientes nas folhas fornecem informações sobre a disponibilidade e a capacidade das plantas de absorver e utilizar esses nutrientes (GALDINO, 2015). As características morfométricas dos estômatos em folhas estão relacionadas à capacidade das plantas de regular a transpiração e a troca gasosa (PECH, 2020).

Essas técnicas permitem uma avaliação abrangente dos atributos funcionais das plantas, fornecendo informações valiosas sobre sua adaptação e desempenho em diferentes condições ambientais.

3 METODOLOGIA

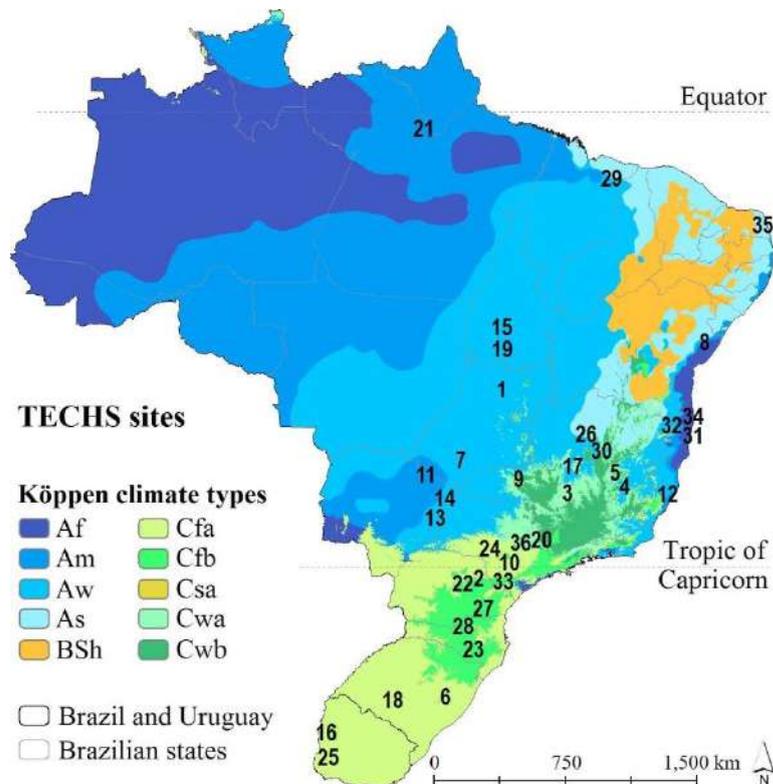
3.1 Sítios experimentais e genótipos

Nesse estudo, foram integrados bancos de dados do Programa Cooperativo TECHS (Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biótico) (BINKLEY et al., 2017, 2020), coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Além de outros bancos de dados importantes que estão disponíveis por meio de publicações científicas.

O projeto TECHS tem como um de seus objetivos o estudo dos estresses ambientais que afetam negativamente a produtividade do gênero *Eucalyptus*, buscando identificar os mecanismos ecofisiológicos pelos quais os diferentes materiais genéticos conseguem tolerar condições de escassez de água e altas temperaturas. Essa identificação é essencial para direcionar as estratégias de melhoraria na seleção clonal para ambientes de cultivo específico em todo o Brasil (CONTI JUNIOR, 2019).

No planejamento experimental do TECHS, foram selecionados quatro clones plásticos, plantados em 36 locais distintos (conforme ilustrado na figura 1). Desses clones, dois foram escolhidos para análise neste estudo devido a serem os clones mais plantados em ambientes contrastantes (HUBBARD et al., 2020). O clone A1 (*E. urophylla*), amplamente cultivado no Brasil, foi escolhido devido à sua alta taxa de crescimento em condições ambientais favoráveis (CALDEIRA et al., 2020). Em contrapartida, o clone C3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) foi selecionado devido à sua conhecida tolerância à seca (CAMPOE et al., 2020; GONÇALVES et al., 2017).

Figura 1 – Distribuição espacial dos sítios do Projeto TECHS.



Fonte: Binkley et al. (2017).

3.2 Integração de dados ecofisiológicos

A integração dos dados ecofisiológicos envolveu a combinação de informações provenientes do projeto TECHS. Esse projeto forneceu dados dos sítios experimentais que representam parte da diversidade climática do Brasil. Esses dados abrangem informações sobre os efeitos do clima sobre a produtividade de florestas plantadas de *Eucalyptus*. Além disso, foram realizadas pesquisas em trabalhos já publicados que abordaram especificamente os dois clones selecionados como representantes dos genótipos altamente produtivos e genótipos tolerantes à seca (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista dos atributos utilizados no estudo e fonte dos dados.

Atributos	Unidade	Fonte dos dados
Biomassa de raízes finas	Mg ha ¹	Basílio (2021)
Profundidade de enraizamento	m	Basílio (2021)
Estoque de carbono	Mg C ha ¹	Cunha (em elaboração)
Fluxo de carbono	g C m ² ano ¹	Campoe et al. (2020)
Altura	m	Binkley et al. (2020)
Diâmetro à altura do peito	cm	Binkley et al. (2020)
Área basal	m ² ha ¹	Binkley et al. (2020)
Volume	m ³ ha ¹	Binkley et al. (2020)
Incremento médio anual	m ³ ha ¹ ano ¹	Binkley et al. (2020)
Temperatura ótima para o crescimento	°C	Queiroz (2020)
Ângulo foliar	°	de Mattos et al. (2020)
Índice de área foliar	m ² m ²	de Mattos et al. (2020)
Área foliar específica	cm ² g ¹	de Mattos et al. (2020)
Eficiência do uso da luz	g MJ ¹	Mattos (2015)
Radiação fotossinteticamente ativa	MJ m ²	Mattos (2015)
Eficiência do uso da água	kg m ³	Hubbard et al. (2020)
Comprimento do estômato	µm	Pech (2020)
Largura do estômato	µm	Pech (2020)
Comprimento do poro	µm	Pech (2020)
Largura do poro	µm	Pech (2020)
Densidade do estômato	mm ²	Pech (2020)

Fonte: Da autora (2023).

3.3 Análise de dados

A análise de dados consistiu em utilizar os atributos mencionados anteriormente para obter informações relevantes sobre os principais atributos funcionais de tolerância à seca. Após coletar os dados, eles foram compilados em uma tabela única. Em seguida, foram realizadas análises estatísticas utilizando o recurso da Tabela Dinâmica no software Microsoft Excel®, visando determinar os valores de média e amplitude dos dados. Para a visualização dos dados, eles foram compilados em tabelas e gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

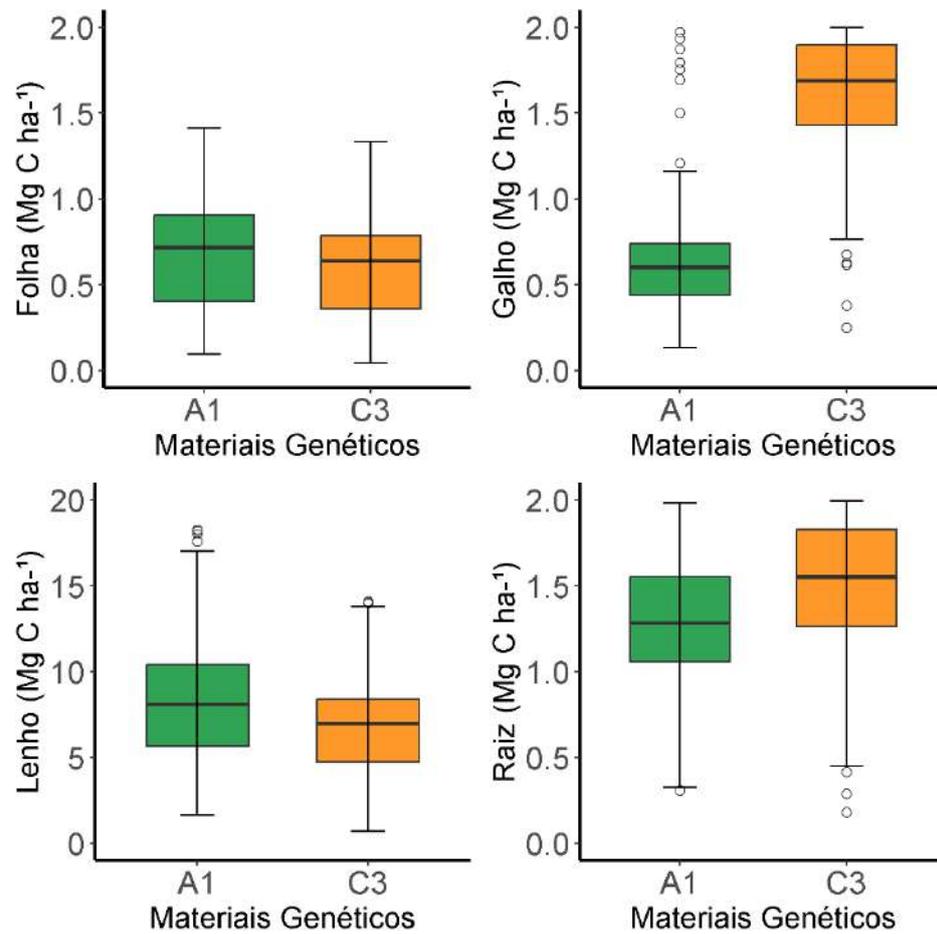
4.1 Atributos funcionais

4.1.1 Estoque de carbono

Na Figura 2, os resultados apresentados indicam que não houve variação significativa no compartimento folha entre os clones, apresentando amplitudes semelhantes. No entanto, é importante destacar as características distintas em relação à copa dos clones A1 e C3. O clone A1 exibe uma copa mais densa, enquanto o clone C3 apresenta uma copa rala e folhas de menor tamanho e ângulo foliar reduzido, que consequentemente produz um baixo índice de área foliar.

O clone C3 demonstrou um maior acúmulo de carbono nos galhos e nas raízes, enquanto o clone A1 apresentou um valor mais elevado para o estoque de carbono no lenho. Isso pode ser atribuído à sua maior biomassa em relação aos outros compartimentos analisados, corroborando com os achados de estudos anteriores (STAPE, BINKLEY, RYAN, 2008; GATTO et al., 2014; SILVA et al., 2015). De acordo com Gatto et al. (2014), o lenho é o compartimento das árvores que apresenta o maior acúmulo de biomassa total, representando 63,67% do total. Em seguida, as raízes contribuem com 9,35%, os galhos com 8,97%, a casca com 5,58% e as folhas com 4,46%. Já os resultados de Silva et al. (2015) para o estudo de estoque de carbono em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp. indicam que os teores de carbono para os compartimentos do lenho, casca, galhos vivos, galhos secos e as folhas, que foram de 74%; 17,3%; 4,%; 1,1%; 2,8%, respectivamente. Esses resultados evidenciam a maior importância do lenho na acumulação de biomassa e, consequentemente, no armazenamento de carbono.

Figura 2 – Estoque de carbono (Mg C ha^{-1}) nos compartimentos: folha, galho, lenho e raiz grossa, para os clones A1 e C3, aos dois anos de idade.



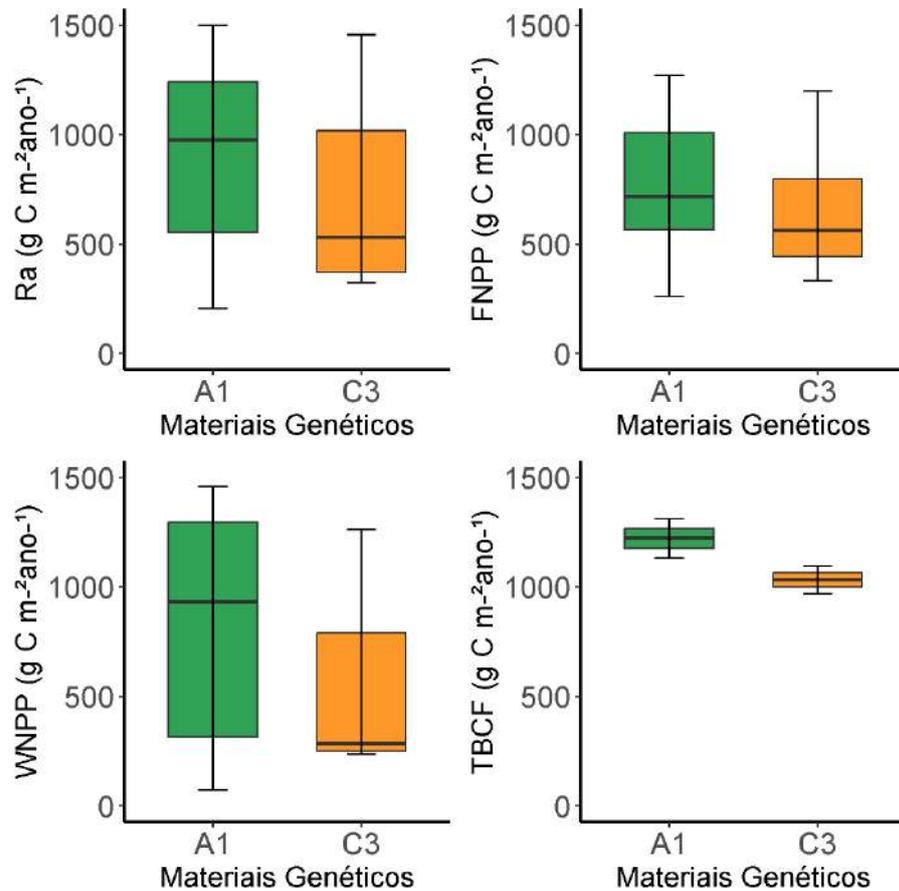
Fonte: Da autora (2023).

O clone A1 foi o mais produtivo em biomassa, o que resultou em uma maior fixação de carbono, quando comparado com o clone C3. Esse resultado indica haver um trade off entre o crescimento de biomassa e estratégias de tolerância a seca entre os clones.

4.1.2 Fluxos e partição de carbono

O clone A1 apresentou uma maior média de GPP (Produtividade Primária Bruta) em relação ao C3, o que resultou em maiores fluxos de carbono (Figura 3).

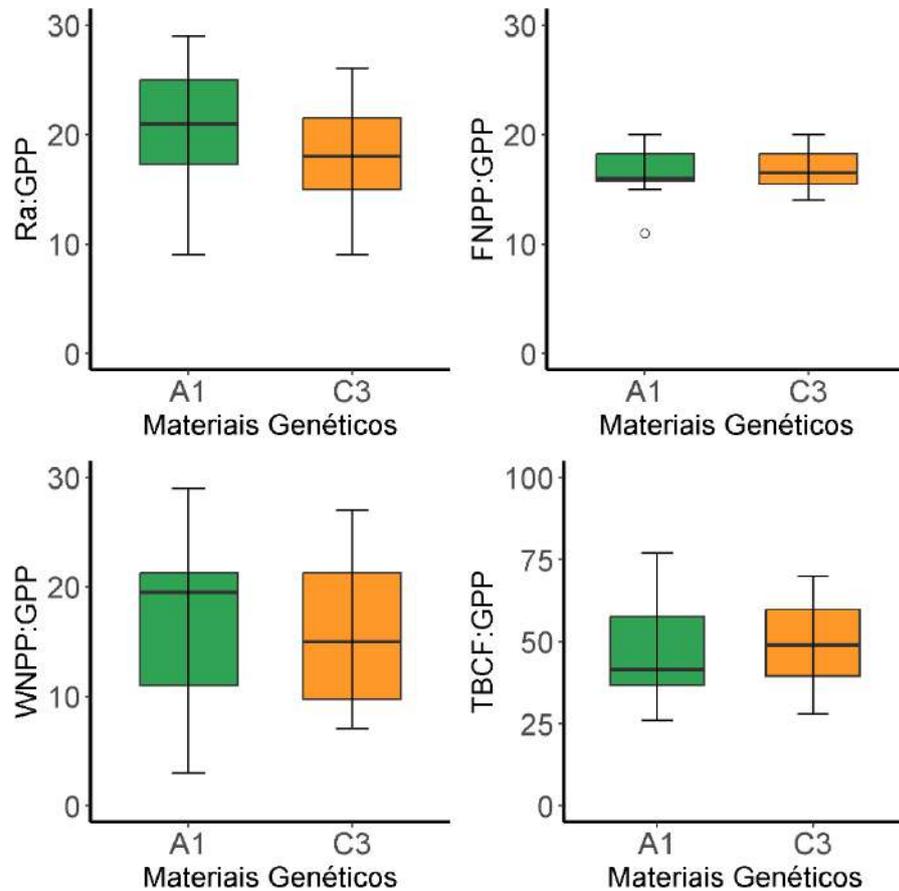
Figura 3 – Fluxos de carbono para os clones A1 e C3, aos dois e três anos de idade. TBCF= fluxo total de carbono abaixo do solo, WNPP= produtividade primária líquida de madeira, FNPP= produtividade primária líquida de folhas, Ra= respiração autotrófica.



Fonte: Da autora (2023).

A diferença nos fluxos de carbono pode ser interpretada como uma estratégia de crescimento adotada pelos genótipos, condizentes aos ambientes aos quais eles foram desenvolvidos (CAMPOE et al., 2020). O clone A1 apresenta um maior particionamento para WNPP do que para TBCF. Por outro lado, o clone C3, tolerante seca, apresentou maior particionamento do C para o TBCF, o que pode indicar uma estratégia de crescimento para explorar o solo em busca de diferentes fontes de água e nutrientes em locais com baixa disponibilidade de recursos, resultado que corrobora com o observado por Basílio (2020), em que a autora encontrou maior profundidade de raízes finas para o clone, quando comparado ao clone A1, em ambientes secos. Essa adaptação permite ao clone C3 uma vantagem em relação a outros clones não tolerantes à seca, que não possuem a mesma capacidade de acesso à água em camadas mais profundas do solo (Figura 4).

Figura 4 – Particionamento de carbono (%). GPP= produtividade primária bruta, TBCF= fluxo total de carbono abaixo do solo, WNPP= produtividade primária líquida de madeira, FNPP= produtividade primária líquida de folhas, Ra= respiração autotrófica.



Fonte: Da autora (2023)

Quando observamos as amplitudes do clone C3, podemos notar que elas são reduzidas em comparação com o clone A1. Isso indica que o clone C3 é mais conservacionista em seu uso de recursos. Como um clone tolerante à seca, ele possui adaptações que o permitem responder bem em diferentes condições climáticas.

Ao compará-lo com outros clones tolerantes à seca, podemos dizer que o clone C3 exibe uma plasticidade maior. Isso significa que ele tem a capacidade de se adaptar e responder de forma eficiente a uma ampla gama de condições, permitindo seu crescimento e desenvolvimento em diferentes ambientes. Essa plasticidade o torna um clone bastante versátil entre os clones tolerantes à seca.

Além disso, supondo que os fluxos máximos de carbono ocorram em condições favoráveis ao crescimento das plantas, o clone C3 reduz o particionamento do carbono para o TBCF em prol do particionamento para a WNPP, alcançando níveis semelhantes ao clone A1,

ou seja, quando bem manejado e sob condições adequadas ele pode alcançar níveis de produtividades satisfatórios. Contudo um dos problemas do uso do clone C3 é devido ao seu alto consumo de água, quando comparado ao clone A1, principalmente nos locais secos, quando comparados a ambientes úmidos (HUBBART et al 2020).

4.1.3 Profundidade de enraizamento e Biomassa de raízes finas

Em ambientes com restrições hídricas, os clones A1 e C3 apresentaram um aumento na profundidade de enraizamento (Tabela 2). O clone A1 mostrou uma faixa de profundidade de enraizamento entre 5,25 e 10,75 m, enquanto o clone C3 apresentou uma faixa de profundidade entre 6,25 e 12,75 m. Os valores de biomassa de raízes finas para o clone A1 variaram de 1,47 a 13,58 Mg ha⁻¹. Em contrapartida, o clone C3 apresentou a biomassa de raízes finas entre 1,40 a 8,70 Mg ha⁻¹.

Tabela 2 – Valores absolutos da profundidade alcançada pelas raízes finas (em metros) e biomassa de raízes finas (Mg ha⁻¹) encontradas para os clones *E.urophylla* (A1) e *E. grandis* x *E. camaldulensis* (C3).

Clone	Profundidade de enraizamento (m)			Biomassa de raízes finas (Mg ha ⁻¹)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
A1	5,25	8,13	10,75	1,47	7,02	13,58
C3	6,25	9,21	12,75	1,40	5,24	8,70

Fonte: Da autora (2023).

Esses resultados evidenciam que esses clones conseguem explorar o solo em maiores profundidades por meio de raízes finas, o que os torna bem adaptados a ambientes com baixa disponibilidade hídrica (CAMPOE et al., 2020). Essa característica permite um maior contato das raízes com o solo, facilitando a absorção de água e nutrientes, e contribuindo para a sobrevivência e o crescimento saudável das árvores em condições de escassez de água (GERMON et al., 2016).

Além disso, os clones apresentaram maiores profundidades de raízes finas quando cultivados em ambiente subtropical (BASÍLIO, 2021). Comparando o consumo de água desses clones em ambientes subtropicais e tropicais, Hubbard et al. (2020) observaram um consumo superior no ambiente subtropical. Isso pode ser atribuído à capacidade adaptativa desses clones e à disponibilidade de recursos, como água para a transpiração.

Embora a profundidade das raízes finas não esteja diretamente relacionada ao teor de água no solo, supõe-se que a alocação de carbono para a formação das raízes profundas seja uma resposta fisiológica das plantas diante do rápido esgotamento da água nas camadas superficiais do solo (BASÍLIO, 2021; LAMBAIS et al., 2017). Essas características refletem a resistência à seca dos clones A1 e C3, demonstrando sua adaptabilidade a condições adversas de disponibilidade hídrica.

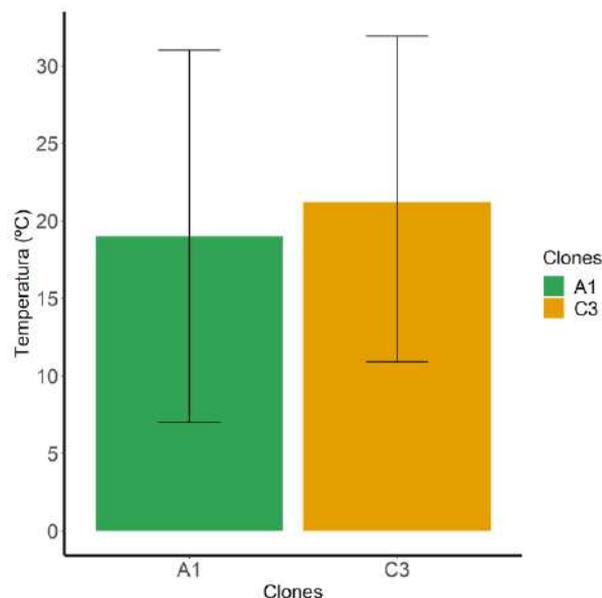
Em resumo, as diferenças nos sistemas radiculares entre os clones A1 e C3 refletem estratégias distintas de crescimento e adaptação. Proporcionalmente, as árvores do clone A1 exibem um tamanho maior, porém possuem uma menor proporção de raízes finas em relação ao seu porte. Por outro lado, o clone C3 apresenta uma menor quantidade de folhas e troncos mais reduzidos em relação ao seu tamanho, o que indica uma proporção maior de raízes finas em seu sistema radicular. Essa característica sugere uma estratégia de crescimento do clone C3, com um foco maior na exploração do solo para obter água e nutrientes.

Essas características ressaltam a plasticidade e a capacidade adaptativa dos clones diante das condições ambientais adversas. Compreender e aproveitar essas diferenças nos sistemas radiculares pode ser de grande importância para a seleção e o cultivo de clones mais adequados para diferentes contextos ambientais, contribuindo para uma maior eficiência na absorção de nutrientes e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade.

4.1.4 Amplitude de temperaturas ótimas para o crescimento

A faixa de temperatura ótima para o crescimento varia entre os clones A1 e C3, abrangendo valores de 19 a 21,2 °C. Para um crescimento adequado, a temperatura mínima anual deve ficar entre 7 e 10,9 °C, enquanto a temperatura máxima não ultrapasse os 31 °C (Figura 5).

Figura 5 – Limiares de temperatura para o crescimento dos genótipos A1 e C3. A barra representa valor mínimo e máximo.



Fonte: Da autora (2023).

Conforme observado por Asfaw et al. (2018), as faixas de temperatura exercem influência nos processos biológicos fundamentais, podendo resultar em variações na eficiência desses processos, influenciadas também por fatores como a precipitação.

Destaca-se o impacto das mudanças climáticas, conforme mencionado por Queiroz et al. (2020) e Gustafson et al. (2017), que podem ocasionar flutuações na temperatura do ar, impactando tanto positiva quanto negativamente a produtividade do eucalipto. Em situações de altas temperaturas combinadas com períodos de seca, observa-se o estímulo ao fechamento estomático, resultando na redução da absorção de carbono e no acúmulo de carbono não estrutural, como amido e açúcares. Essas alterações têm implicações significativas na atividade metabólica, defesa contra patógenos e osmorregulação, buscando facilitar a sobrevivência das plantas (MCDOWELL et al., 2011; QUEIROZ et al., 2020). Em contrapartida, temperaturas mais baixas têm o efeito de diminuir a taxa de fotossíntese líquida e o acúmulo de biomassa nas plantas, conforme apontado por Liu et al. (2019).

Além disso, conforme destacado por Shtein et al. (2011), a temperatura desempenha um papel fundamental na variação da morfologia das folhas. Essas variações têm impactos diretos no crescimento das plantas e influenciam indiretamente a disponibilidade de nutrientes no solo e a eficiência do uso da água (MCNOWN; SULLIVAN, 2013; PECH, 2020).

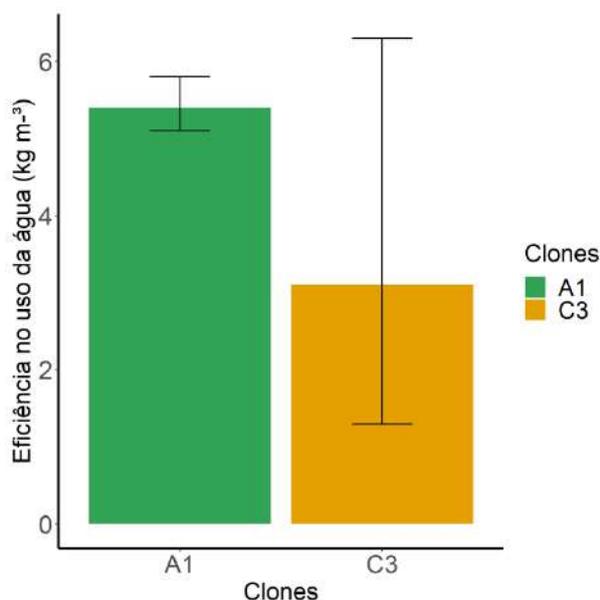
Cada clone apresenta demandas térmicas específicas para manter seu crescimento, além de temperaturas ótimas distintas para alcançar seu máximo potencial de crescimento. Por exemplo, o clone C3 é caracterizado por uma maior exigência térmica, recomendado para o cultivo em condições tropicais, onde as temperaturas médias são mais próximas de 21 °C.

A temperatura ótima para o crescimento de uma espécie é geralmente a temperatura média do ambiente no qual ela evoluiu. Isso ocorre porque as espécies são adaptadas às condições específicas do local onde surgiram, incluindo a faixa de temperatura. Quando expostas a temperaturas extremas, muito altas ou muito baixas, as espécies podem encontrar dificuldades em seu crescimento saudável. Portanto, compreender e respeitar a temperatura ideal de crescimento de uma espécie é fundamental para promover sua sobrevivência.

4.1.5 Eficiência no uso da água

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o clone C3, conhecido por sua resistência à seca, apresentou uma menor eficiência no uso da água (EUA) em comparação com o clone de alta produtividade. O clone C3 apresentou valores médios de EUA de 3,1 kg m⁻³, enquanto o clone A1 apresentou uma EUA de 5,4 kg m⁻³ (Figura 6).

Figura 6 – Eficiência no uso da água média para cada clone. A barra representa valor mínimo e máximo.



Fonte: Adaptado de Hubbard et al. (2020).

O clone A1 demonstrou uma maior eficiência no uso da água, apresentando uma taxa de conversão superior em comparação ao clone C3. Por outro lado, o clone C3 não pode ser considerado tolerante à seca simplesmente porque usa pouca água. Na verdade, ele utiliza

uma quantidade significativa de água, mas devido ao seu sistema radicular mais profundo, consegue acessar reservas de água em camadas mais profundas do solo, que outros clones não são capazes de alcançar. Assim, embora utilize uma quantidade considerável de água, o clone C3 é capaz de sobreviver e se desenvolver durante períodos de seca devido à sua capacidade de explorar recursos hídricos menos acessíveis. No entanto, é importante ressaltar que o clone A1 apresenta uma capacidade superior de produção de madeira em relação ao clone C3, principalmente durante o processo de transpiração.

A hipótese para os dados apresentados era de que o clone resistente à seca apresentaria uma maior eficiência no uso da água, quando comparado com o clone produtivo (HUBBARD et al., 2020). Contudo, devido à estratégia de sobrevivência do clone C3 em locais secos, o clone apresenta maior transpiração e maior particionamento do carbono para o TBCF e o crescimento de raízes finas, assim como observado na Figura 3 e Tabela 2. Somando o maior consumo de água e a menor produtividade do clone C3, quando comparado ao clone A1, este apresentou menor EUA. Contudo, uma curiosidade encontrada por Hubbard et al (2020), é que em locais úmidos, a EUA entre os clones é similar. Esses resultados ressaltam a importância de considerar não apenas a resistência à seca, mas também outros aspectos relacionados à eficiência no uso de recursos, como a água, na seleção e desenvolvimento de clones visando alcançar melhorias produtivas e sustentáveis.

Portanto, ao selecionar clones para regiões secas, é importante considerar não apenas a eficiência no uso da água. A simples escolha de um clone com alta eficiência no consumo de água pode ser insuficiente, uma vez que ele pode esgotar rapidamente os recursos hídricos disponíveis em uma região seca. É imprescindível levar em conta outros aspectos, como a tolerância à seca, a capacidade de explorar reservatórios de água mais profundos e a resistência a condições adversas.

4.1.6 Características morfométricas estomáticas

Os estômatos nas folhas dos clones A1 e C3 demonstraram diferenças morfométricas significativas (Tabela 3). O clone A1 apresentou uma densidade de estômatos superior em relação ao clone C3. A densidade máxima observada foi de 1727 estômatos/mm², e a mínima foi de 715 estômatos/mm².

No caso do clone C3, os valores mais altos de densidade estomática foram observados na face abaxial, com 754,7 estômatos/mm², enquanto a menor densidade foi de 414 estômatos/mm². Na face adaxial do mesmo clone, os valores foram inferiores, com uma média de 299,6 estômatos/mm². Quanto ao comprimento e largura do poro estomático, a média encontrada na face abaxial foi de 13 e 9,7 µm, enquanto na face adaxial foi de 12,7 e 9,4 µm. Ao comparar as variáveis estomáticas entre os clones, observam-se diferenças em todas as características analisadas.

Para que os estômatos exerçam adequadamente suas funções, é essencial, que estejam espaçados de forma adequada e presentes em números suficientemente altos na superfície da folha (DE BOER et al., 2016; FRANKS; FARQUHAR, 2007; PECH, 2020). Essas estruturas desempenham um papel crucial na fisiologia das plantas, controlando os fluxos de gases que entram e saem da planta, sendo que o tamanho do poro estomático e a densidade de estômatos são fatores determinantes nesse processo (DOW; BERRY; BERGMANN, 2014).

As plantas têm duas estratégias para melhorar a condutância estomática: aumentar a densidade estomática, ou seja, o número de estômatos por unidade de área foliar, e/ou reduzir o tamanho dos estômatos (FRANKS; FARQUHAR, 2007). A opção de redução do tamanho dos estômatos leva à diminuição da profundidade dos poros devido à redução da seção transversal das células-guarda, resultando em uma maior condutância estomática (PECH, 2020).

A densidade estomática em uma folha pode variar entre plantas e indivíduos da mesma espécie (PECH, 2020). Além disso, Dow, Berry e Bergmann (2014) afirmam que as respostas estomáticas são influenciadas por fatores ambientais, pois as células-guardas devem perceber e ajustar o tamanho do poro estomático de acordo com uma variedade de sinais externos.

Tabela 3 - Características morfométricas estomáticas em folhas de *E. urophylla* (A1) e *E. grandis* x *E. camaldulensis* (C3).

<i>E. urophylla</i> (A1)						
	Face abaxial			Face adaxial		
Características	Mínimo	Médio	Máxima	Mínimo	Médio	Máxima
DE (mm ²)	715	1097,4	1727	-	-	-
CE (µm)	15	19,3	22,0	-	-	-
LE (µm)	11,5	14,1	17,1	-	-	-
CP (µm)	11,2	8,6	13,4	-	-	-
LP (µm)	6,4	8,2	10,4	-	-	-
<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> (C3)						
	Face abaxial			Face adaxial		
Características	Mínimo	Médio	Máxima	Mínimo	Médio	Máxima
DE (mm ²)	414	609,5	754,7	202,7	299,6	438
CE (µm)	19	22,1	25,5	19,6	22,7	25,3
LE (µm)	13,6	16,2	18,9	14,1	16,7	18,8
CP (µm)	10,9	13,0	15,3	9,4	12,7	15
LP (µm)	7,9	9,7	11,6	6,9	9,4	11

Em que: DE: densidade estomática; CE: comprimento do estômato; LE: largura do estômato; CP: comprimento do poro; LP: largura do poro.

Fonte: Da autora (2023).

4.1.7 Índice de área foliar

O resultado apresentado na Tabela 4 representa o Índice de Área Foliar (IAF) para os clones A1 e C3 em diferentes idades. O IAF é uma medida que indica a proporção da área foliar em relação à área de solo ocupada pelas plantas.

No caso do clone A1, observamos que o IAF aumenta de 2.88 (1 ano) para 3.69 (3 anos) e depois diminui para 3.03 (6 anos). Isso pode indicar um crescimento inicial acelerado de área foliar durante os primeiros anos, seguido de um ligeiro declínio na área foliar conforme a planta amadurece.

No clone C3, o IAF também apresenta um aumento de 1.38 (1 ano) para 2.15 (3 anos) e depois diminui para 1.60 (6 anos). Nesse caso, também observamos um crescimento inicial da área foliar até os 3 anos, seguido por uma redução na área foliar aos 6 anos.

Essas variações no IAF podem ser influenciadas por diversos fatores, como o desenvolvimento das plantas, fatores ambientais, genéticos e práticas de cultivo.

Tabela 4 – Médias dos valores de Índice de Área foliar (IAF) em m^2m^2 para os clones A1 e C3 em diferentes idades.

Clone	1 Ano	3 Anos	6 Anos
A1	2,88	3,69	3,03
C3	1,38	2,15	1,60

Fonte: Da autora (2023).

O IAF se torna uma medida importante para avaliar a produtividade das plantas, pois está diretamente relacionado à quantidade de radiação interceptada pelo dossel. Ao expressar o tamanho do aparato fotossintético e sua capacidade de absorver luz, o IAF desempenha um papel crucial na determinação da eficiência fotossintética e, por conseguinte, na produtividade das plantas.

Um menor IAF resulta em uma redução na interceptação da luz, o que por sua vez diminui a taxa de fotossíntese. Essa é uma das razões pelas quais o clone apresenta uma menor GPP. O IAF refere-se à área total de folhas em relação à área de solo, e um IAF menor significa que há menos folhagem para capturar a luz solar. Com menos luz sendo capturada, a taxa de fotossíntese, que é o processo pelo qual as plantas produzem energia a partir da luz solar, é reduzida. Portanto, o clone com um menor IAF possui uma capacidade fotossintética inferior, refletindo em um menor GPP.

4.1.8 Ângulos foliares

Na Tabela 6 são apresentados os ângulos foliares dos clones A1 e C3. Os clones de *Eucalyptus* apresentara uma ampla variedade na arquitetura da copa, os ângulos médios das folhas variando de 27° e 77° . Para todos os clones, o ângulo das folhas aumentou consistentemente com a posição da copa.

Tabela 5 – Médias dos ângulos foliares medidos na base, meio e topo da copa.

Clone	Ângulos foliares (°)		
	Base	Meio	Topo
A1	27	35	50
C3	61	67	77

Fonte: Da autora (2023).

A arquitetura foliar é determinada pela combinação de vários atributos morfológicos, incluindo o ângulo foliar, que representa o ângulo entre o pecíolo e o ramo (LARCHER; BOEGER, 2009). O ângulo de inclinação das folhas desempenha um papel fundamental no cálculo de parâmetros relativos à interceptação luz pelo dossel, bem como em seu efeito na atenuação da radiação ao longo do perfil do dossel (DE MATTOS et al., 2020).

O ângulo de inclinação das folhas pode ser um fator crucial para determinar a quantidade de radiação interceptada, especialmente no início e no final do dia (MATTOS, 2015).

4.1.9 Radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel

A Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA ou PAR) está diretamente associada à produção de biomassa e desempenha um papel crucial no crescimento e desenvolvimento das plantas (TARDIVO, 2017). Além disso, a quantidade de radiação interceptada pelo dossel desempenha papel crucial na produtividade. Na Tabela 6, os valores apresentados representam a quantidade de PAR interceptada pelo dossel das plantas, medidos em MJ m², nas escalas mensal e anual. A interceptação da luz foi medida a cada dois meses utilizando o AccuPAR LP-80, dos 18 aos 32 meses de idade (DE MATTOS et al., 2020). Para cada clone, são fornecidos os valores mínimos, médios e máximos de interceptação mensal.

No caso do Clone A1, a quantidade mínima de PAR interceptada mensalmente foi de 109,5 MJ m⁻², enquanto o valor máximo atingiu 302,1 MJ m⁻². Para o Clone C3, a interceptação mensal mínima de PAR foi de 96,9 MJ m⁻², com um valor máximo de 234,4 MJ m⁻². Esses valores fornecem informações sobre a variação da quantidade de PAR interceptada pelo dossel das plantas temporalmente, permitindo uma compreensão da eficiência de captação de energia luminosa pelos clones em estudo.

Tabela 6 – Valores da quantidade de PAR interceptada pelo dossel em MJ m⁻² nas escalas mensal e anual. Sendo que *s* representa o valor do desvio padrão de cada clone, respectivamente.

Clone	Mensal				Anual
	Mínimo	Médio	Máximo	<i>s</i>	
A1	109,5	205,8	302,1	54,3	2593
C3	96,9	165,7	234,4	36,6	2099

Fonte: Adaptado de Mattos (2015).

O ângulo de inclinação foliar, densidade estomática, índice de área foliar e eficiência do uso da luz afetam a quantidade de luz interceptada pelas plantas. Plantas com ângulo foliar aberto, maior densidade estomática, maior índice de área foliar e maior eficiência do uso da luz interceptam mais luz, resultando em uma maior GPP. Isso ocorre porque essas plantas têm uma maior capacidade de captar luz e converter energia luminosa em energia química de maneira eficiente.

4.1.10 Eficiência do uso da luz

Os valores de eficiência do uso da luz (LUE) referentes exclusivamente ao crescimento em biomassa do fuste, sem considerar a produção de folhas ou galhos, encontram-se na Tabela 7. A LUE mensal variou entre 1,12 e 2,76 g MJ⁻¹, com uma média entre os clones de 1,20 e 2,72 g MJ⁻¹. Os dois materiais genéticos exibiram um padrão semelhante de eficiência do uso da luz. Esses resultados enfatizam a capacidade de ambos os clones em converter a energia luminosa em crescimento de biomassa do fuste de forma eficiente.

Tabela 7 – Eficiência do uso da luz (g MJ⁻¹) nas escalas mensal e anual. Em que *s* representa o valor do desvio padrão de cada clone, respectivamente.

Clone	Mensal				Anual
	Mínimo	Médio	Máximo	<i>s</i>	
A1	1,12	1,9	2,68	0,41	1,69
C3	1,27	2,02	2,76	0,49	1,95

Fonte: Adaptado de Mattos (2015).

No estudo realizado por de Mattos et al. (2020), observou-se que o clone C3 apresentou o dobro da LUE em comparação com o clone *E. urophylla* x *E. tereticornis*, o que

resultou em uma produção de caule muito maior para o clone C3. A diferença no padrão de produção de caule entre os clones é resultado da influência combinada das disparidades na interceptação de luz e na eficiência de produção de madeira por unidade de luz interceptada.

No trabalho conduzido por Stape, Binkley e Ryan (2008), que investigaram os padrões de alocação de carbono em clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições de suprimento de recursos, foram encontrados valores de LUE variando entre 0,78 e 1,98 g MJ⁻¹. Os resultados revelam que esses valores aumentaram cerca de duas vezes quando as condições hídricas foram modificadas, sendo o ano mais seco associado a um aumento de eficiência de aproximadamente 112%, em comparação com 16% no ano mais úmido (MATTOS, 2015). Mattos (2015) e Ryan et al. (2010), destacam a importância do estudo desse parâmetro, devido a sua relevância como indicador para analisar as mudanças nos fluxos de carbono nas plantas.

4.1.11 Parâmetros dendrométricos

Os parâmetros dendrométricos médios para os dois clones estudados, que podem ser observados na Tabela 8. Como já esperado, foram encontrados valores superiores de produtividade e crescimento para o clone A1. Contudo, os clones analisados apresentaram um crescimento satisfatório, segundo a Indústria Brasileira de Árvores⁻¹ (IBÁ, 2022), a produtividade média nacional de eucalipto em 2021 foi de 38,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. No entanto, os resultados médios encontrados neste estudo variaram entre 35,4 e 50,0 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 8 – Parâmetros dendrométricos médios para os clones estudados, aos 6 anos. Sendo: H= altura da copa; DAP= diâmetro a 1,30 m o solo; G= área basal por hectare; V= volume por hectare; IMA= incremento médio anual.

Clone	H (m)	DAP (cm)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
A1	27,1	17,2	24,5	327	50,0
C3	25,0	15,8	20,9	227	35,4

Fonte: Da autora (2023).

No estudo realizado por Caldeira et al. (2020), foram encontrados valores médios para o clone *Eucalyptus urophylla* entre 64 e 74 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, valores próximos aos encontrados para a produtividade potencial dos plantios de eucalipto (STAPE et al., 2010). Vários fatores podem ter contribuído para a alta produtividade da região. Esses fatores incluem a redução do número de dias em que as temperaturas estiveram acima do máximo e abaixo do mínimo para o crescimento das plantas, a diminuição da ocorrência de déficit de pressão de vapor acima do valor crítico e a quantidade significativa de precipitação (CALDEIRA et al., 2020).

A análise integrada dos atributos funcionais de clones de eucalipto com comportamentos contrastantes em produtividade e tolerância à seca, como os clones A1 e C3, é crucial para o melhoramento genético e seleção de clones mais adaptados a essas condições desafiadoras. Esses atributos funcionais fornecem informações essenciais para o desenvolvimento de modelos ecofisiológicos que descrevem a produtividade florestal com base nos processos fisiológicos e biofísicos que controlam o crescimento das árvores. Ao reunir dados sobre a tolerância à seca nesses clones, os pesquisadores podem obter insights valiosos sobre como eles respondem e se adaptam a condições de estresse hídrico, auxiliando na seleção de clones mais tolerantes à seca. Os modelos ecofisiológicos, alimentados com esses dados, são ferramentas poderosas para simular e prever o desempenho dos clones de eucalipto em diferentes condições climáticas, ajudando a entender como os processos fisiológicos das árvores respondem à disponibilidade de água e impactam a produtividade florestal. Em suma, a análise conjunta dos atributos funcionais de clones de eucalipto com comportamentos contrastantes fornece informações valiosas para o melhoramento genético e seleção de clones mais adaptados à seca, resultando em plantações mais produtivas e sustentáveis diante dos desafios da escassez de água e das mudanças climáticas.

5 CONCLUSÃO

Existem características típicas que descrevem clones tolerantes e produtivos de eucalipto. Os clones tolerantes apresentam atributos funcionais específicos que lhes conferem maior eficiência em condições de seca, enquanto os clones produtivos se destacam por sua alta produtividade. Esses atributos funcionais são relevantes para os programas de melhoramento genético e enriquecem a base de dados utilizada nos modelos ecofisiológicos.

REFERÊNCIAS

- ASFAW, A. et al. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. **Weather and Climate Extremes**, v. 19, n. December 2017, p. 29–41, 2018.
- BASÍLIO, J. J. N. **RAÍZES FINAS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO: EFEITOS GENÉTICOS E EDAFOCLIMÁTICOS**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2021.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. DE A. Adaptação Das Plantas Ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15–32, 2016.
- BINKLEY, D. et al. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, n. September, p. 271–283, 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, n. February, p. 117953, 2020.
- CALDEIRA, D. R. M. et al. Multisite evaluation of the 3-PG model for the highest phenotypic plasticity Eucalyptus clone in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 462, n. November 2019, p. 117989, 2020.
- CAMPOE, O. C. **Ecologia da produção e da competição intra-específica do Eucalyptus grandis ao longo de um gradiente de produtividade no Estado de São Paulo**. [s.l.] Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.
- CAMPOE, O. C. et al. Climate and genotype influences on carbon fluxes and partitioning in Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 475, n. May, 2020.
- CHAVE, J. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 351–366, 2009.
- CONTI JUNIOR, J. L. F. **PARÂMETROS FISIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE TOLERÂNCIA À SECA EM CLONES DE Eucalyptus spp.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2019.
- CORREIA, L. Q. **AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SNPs E MICROSSATÉLITES PARA IDENTIFICAÇÃO INDIVIDUAL, DETERMINAÇÃO DE PARENTESCO E ANCESTRALIDADE EM ESPÉCIES DE EUCALYPTUS**. [s.l.] Universidade Católica de Brasília, 2011.
- DA SILVA OLIVEIRA, J. T. et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 - Avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 56, p. 113–124, 1999.
- DE 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, n. September, p. 117631, 2019.
- DE BOER, H. J. et al. Optimal allocation of leaf epidermal area for gas exchange. **New Phytologist**, v. 210, n. 4, p. 1219–1228, 2016.
- DE MATTOS, E. M. et al. Variation in canopy structure, leaf area, light interception and light

use efficiency among Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, v. 463, n. February, p. 118038, 2020.

DOW, G. J.; BERRY, J. A.; BERGMANN, D. C. The physiological importance of developmental mechanisms that enforce proper stomatal spacing in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**, v. 201, n. 4, p. 1205–1217, 2014.

EDUARDO, D. F. **Atributos funcionais morfológicos e anatômicos foliares de plantas de campo rupestre ferruginoso respondem abundancia?** [s.l.] Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

FRANKS, P. J.; FARQUHAR, G. D. The mechanical diversity of stomata and its significance in gas-exchange control. **Plant Physiology**, v. 143, n. 1, p. 78–87, 2007.

GALETTI, M.; PIZO, M. A.; MORELLATO, L. P. C. Diversity of functional traits of fleshy fruits in a species-rich Atlantic rain forest. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 181–193, 2011.

GATTO, A. et al. CICLAGEM E BALANÇO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM UM PLANTIO DE *Eucalyptus* sp., NO DISTRITO FEDERAL. n. 1, p. 879–887, 2014.

GERMON, A. et al. Unexpected phenology and lifespan of shallow and deep fine roots of walnut trees grown in a silvoarable Mediterranean agroforestry system. **Plant and Soil**, v. 401, n. 1–2, p. 409–426, 2016.

GONÇALVES, A. F. A. **INTERAÇÃO GENÓTIPO E ESPAÇAMENTO NA FORMA DO FUSTE E EFICIÊNCIA NO USO DA LUZ EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* SOB UM GRADIENTE CLIMÁTICO NO BRASIL LAVRAS - MG.** [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2022.

GONÇALVES, J. L. DE 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.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests**, v. 79, n. 3, p. 169–183, 2017.

GRATANI, L. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. **Advances in Botany**, v. 2014, p. 1–17, 2014.

GUSTAFSON, E. J. et al. Do rising temperatures always increase forest productivity? Interacting effects of temperature, precipitation, cloudiness and soil texture on tree species growth and competition. **Environmental Modelling and Software**, v. 97, p. 171–183, 2017.

HINCAPIE, G. R. **FLUXOS E ALOCAÇÃO DE CARBONO DE CINCO GENÓTIPOS DE *Pinus taeda* COM DIFERENTES IDEOTIPOS DE COPA.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrômicas, 2020.

HUBBARD, R. M. et al. Contrasting water use of two *Eucalyptus* clones across a precipitation and temperature gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 475, n. June, p. 118407, 2020.

IBÁ. **Relatório Anual Indústria Brasileira de Árvores.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>.

- KATTGE, J. et al. TRY - a global database of plant traits. **Global Change Biology**, v. 17, n. 9, p. 2905–2935, 2011.
- LAMBAIS, G. R. et al. Contrasting phenology of *Eucalyptus grandis* fine roots in upper and very deep soil layers in Brazil. **Plant and Soil**, v. 421, n. 1–2, p. 301–318, 2017.
- LARCHER, L.; BOEGER, M. R. T. Arquitetura foliar de *Odontonema strictum* (Nees) O. Kuntze (Acanthaceae) em duas condições de luminosidade. **Hoehnea**, v. 36, n. 2, p. 321–327, 2009.
- LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, v. 16, n. 5, p. 545–556, 2002.
- LIU, L. et al. Response of biomass accumulation in wheat to low-temperature stress at jointing and booting stages. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, n. September 2018, p. 46–57, 2019.
- MATTOS, E. M. DE. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. [s.l.] Escola superior de agricultuta “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2015.
- MCDOWELL, N. G. et al. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 26, n. 10, p. 523–532, 2011.
- MCNOWN, R. W.; SULLIVAN, P. F. Low photosynthesis of treeline white spruce is associated with limited soil nitrogen availability in the Western Brooks Range, Alaska. **Functional Ecology**, v. 27, n. 3, p. 672–683, 2013.
- MOSER, P. et al. Interaction between extreme weather events and mega-dams increases tree mortality and alters functional status of Amazonian forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, n. 12, p. 2641–2651, 2019.
- OLIVEIRA, J. C. ; DE PAULA, N. F. ; DE PAULA, R. C. PRODUTIVIDADE DE CLONES DE EUCALYPTUS NAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE JABOTICABAL, SP. p. 46–49, 2022.
- OLIVEIRA, L. Z. et al. Towards the fulfillment of a knowledge gap: Wood densities for species of the subtropical atlantic forest. **Data**, v. 4, n. 3, p. 1–10, 2019.
- OLIVEIRA, R. A. C.; MARQUES, R.; MARQUES, M. C. M. Plant diversity and local environmental conditions indirectly affect litter decomposition in a tropical forest. **Applied Soil Ecology**, v. 134, n. September 2018, p. 45–53, 2019.
- PALUDETO, J. G. Z. et al. Genetic variability in a juvenile base population of *Eucalyptus viminalis*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 48, n. 126, 2020.
- PANTALEÃO, L. C. **Efeito dos atributos funcionais de plantas e biomassa acima do solo sobre processos ecossistêmicos do solo em comunidades de restauração ecológica na Mata Atlântica**. [s.l.] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós Graduação em Ciências, 2020.
- PECH, T. M. **GENÉTICA E GRADIENTE CLIMÁTICO COMO DETERMINANTES DE VARIAÇÕES ESTOMÁTICAS EM CLONES DE *Eucalyptus***. [s.l.] Universidade do Estado de Santa Catarina, 2020.
- PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: Back to basics and looking forward.

Ecology Letters, v. 9, n. 6, p. 741–758, 2006.

PINHEIRO, R. C. **AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA MÁXIMA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM FORMAÇÕES FLORESTAIS TROPICAIS USANDO ¹⁵N COMO MARCADOR**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2019.

QUEIROZ, T. B. et al. Temperature thresholds for Eucalyptus genotypes growth across tropical and subtropical ranges in South America. **Forest Ecology and Management**, v. 472, n. January, p. 118248, 2020.

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Assessing ecosystem functioning in forests undergoing restoration. **Restoration Ecology**, v. 27, n. 1, p. 158–167, 2019.

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Functional ecology as a tool for planning and monitoring ecosystems restoration. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 3, p. 550–565, 2020.

RYAN, M. G. et al. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1695–1703, 2010.

SANTOS, ÁLVARO F. DO; AUER, C. G.; ALBINO, G. J. Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle. **Embrapa Florestas - Circular técnica 45**, p. 1–20, 2001.

SHTEIN, I. et al. Interconnection of seasonal temperature, vascular traits, leaf anatomy and hydraulic performance in cut Dodonaea “Dana” branches. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, n. 2–3, p. 184–192, 2011.

SILVA, C. A. et al. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de Eucalyptus spp. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 135–146, 2015.

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.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 3–4, p. 920–930, 2008.

TARDIVO, L. **A radiação fotossinteticamente ativa no manejo florestal otimiza o crescimento de vegetação sob plantios de eucalipto**. [s.l.] USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Q, 2017.

TATAGIBA, S. D. **CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO EM DIFERENTES CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS E LÂMINAS DE ÁGUA NO SUBSTRATO**. p. 15, 2016.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007.

WRIGHT, I. J. et al. Global climatic drivers of leaf size. **Science**, v. 357, n. 6354, p. 917–921, 2017.

WU, Z. et al. **Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: A meta-analysis of experimental manipulation**. **Global Change Biology**, 2011.