

PIETRO GRAGNOLATI FERNANDES

BROTAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE *Eucalyptus spp.* SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Fevereiro - 2023

PIETRO GRAGNOLATI FERNANDES

BROTAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES *DE Eucalyptus spp.* SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de Concentração: Silvicultura.

Orientador: PROF. DR RODRIGO EIJI HAKAMADA

Coorientadora: PROFA. DRA. RUTE BERGER

RECIFE

Pernambuco – Brasil

Fevereiro – 2023

PIETRO GRAGNOLATI FERNANDES

**BROTAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE *Eucalyptus*
spp. SOB DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

APROVADA em 15/02/2023

Banca Examinadora

Prof. Eliane Cristina Sampaio De Freitas – UFRPE

Prof. Otávio Camargo Campoe – UFLA

Orientador

Prof. Rodrigo Eiji Hakamada – UFRPE

RECIFE-PE

Fevereiro/2023

DEDICATÓRIA

*À minha mãe, Natacha,
Ao meu pai, Antônio (in memoriam),
À minha avó, Griselda,
Ao meu tio, Guillermo,
Dedico.*

*“Tempo rei, ó, tempo rei, ó, tempo rei
Transformai as velhas formas do viver
Ensinai-me, ó, pai, o que eu ainda não sei”*

Gilberto Gil

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, às pessoas que me permitiram chegar até aqui:

Agradeço à pessoa que mais lutou para me dar condições de chegar onde agora estou: minha mãe, Natacha Gragnolati, que com muita luta conseguiu colocar os três filhos em universidades públicas de referência, sendo eu o segundo a adquirir o título de mestre. Antes de tudo, este trabalho é para você, mãe!

Ao meu pai, Antônio Eduardo de Andrade Garcia Fernandes, que, apesar de todos os problemas financeiros, psicológicos e emocionais, sempre esteve presente em minha vida da forma que pôde. Desde o início deste trabalho meu pai enfrentou um câncer de pulmão, e faleceu antes de poder me ver concluir esta etapa de minha vida. Por isso, este trabalho também é para você, pai!

A toda minha família, em especial à minha avó Griselda Noemi Gragnolati de Gragnolati e ao meu tio Guillermo Gragnolati pelo apoio financeiro que me deram durante a graduação, e às minhas irmãs Maisha e Paola, pelo apoio emocional e pela cumplicidade eterna.

À Associação República Covil, pelo apoio financeiro que me permitiu concluir a graduação em Engenharia Florestal com dignidade, e aos meus amigos da República Covil, que me acompanharam nas empreitadas que uma graduação na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) pode oferecer.

Agradeço, agora, àqueles que me apoiaram desde o começo desta jornada de 2 anos no mestrado:

Primeiramente à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), pelo ensino e condições de trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida nos 2 anos de projeto;

Ao meu orientador, Prof. Rodrigo Eiji Hakamada, por todas as orientações, oportunidades, e parceria desenvolvida ao longo do trabalho;

À minha coorientadora, Prof. Rute Berger, pelo apoio, parceria e hospitalidade durante os dias que passei em Recife;

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), pela coordenação do Programa Cooperativo sobre Produtividade da Brotação de Clones de Eucalyptus (PCoppice);

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), pela condução de um dos sítios experimentais do programa, em especial ao Prof. Gualter Guenther Costa Da Silva e aos alunos que me receberam e me apoiaram nas medições;

A todas as empresas participantes do programa PCoppice, em especial aos seus funcionários da área de pesquisa, com quem estive em contato durante todo o trabalho;

Aos meus amigos queridos de Ubatuba, que tornaram esta fase da minha vida inesquecível;

Por fim, à minha companheira Marina Duarte dos Santos Mattos, que me acompanhou pelos altos e baixos deste caminho e a quem devo grande parte deste trabalho.

Muito obrigado a todos!

GRAGNOLATI FERNANDES, PIETRO, Brotação e crescimento inicial de clones de *Eucalyptus spp.* sob diferentes condições edafoclimáticas. 2023. Orientador: Rodrigo Eiji Hakamada. Coorientadora: Rute Berger.

RESUMO

A maioria dos estudos sobre talhadia foi realizada em condições específicas de clima, ou com poucos materiais genéticos, limitando sua aplicação a uma escala regional. Este trabalho teve como objetivo principal comparar a sobrevivência, emissão de brotos e crescimento inicial de 17 materiais genéticos de *Eucalyptus* manejados por talhadia sob diferentes condições edafoclimáticas. Como objetivos específicos, este trabalho pretende esclarecer as relações entre clima, espaçamento e brotação dos materiais, bem como verificar as relações entre crescimento em 1ª rotação (R1) e 2ª rotação (R2) em área total e no nível individual. O trabalho foi realizado em 8 sítios experimentais distribuídos pelo Brasil entre as latitudes -5,9 e -30,19 graus. Foram testados 17 materiais clonais de *Eucalyptus* de espécies tropicais e subtropicais. Os materiais foram plantados em testes clonais com parcelas de 80 plantas e arranjo de 3m x 3m, e em testes de espaçamento com densidades de estande variando entre 450 e 14.000 árvores/ha. As variáveis climáticas foram obtidas da plataforma NASA/POWER, e corrigidas com base nos dados do INMET. Aos 6 meses, foi realizada uma amostragem para ajuste de equações e predição da biomassa de brotação por hectare de cada clone. Foram realizadas medições de altura e DAP semestrais dos 12 aos 24 meses, e após essa idade passaram a ser anuais. A comparação entre os materiais foi feita por meio de rankings de sobrevivência, biomassa de brotação e de lenho. As relações entre variáveis climáticas e variáveis de crescimento, crescimento em R1 x R2, e espaçamento x biomassa foram analisadas por meio de análises gráficas, de regressão e correlação. Apenas 2 materiais tiveram taxas de brotação abaixo de 80%. Os materiais tropicais apresentaram melhores resultados de biomassa de brotação e crescimento inicial que os materiais subtropicais. Sítios que sofreram maior *déficit* hídrico na R1 apresentaram maior vigor de brotação e crescimento inicial. Supõe-se que isso se deva à maior partição de C para as raízes em locais secos, favorecendo a brotação na R2. Clones que alocaram mais carbono para as raízes na R1 tiveram performances superiores no início da R2 em relação ao final da R1. Entretanto, aos 12 meses a precipitação da R2 começou a exercer maior influência sobre o crescimento, indicando que ao longo da R2 os sítios mais secos perderão produtividade. A sobrevivência, o índice de crescimento e o de uniformidade em R1 e R2 apresentaram correlações significativas no nível do clone, indicando que clones mais produtivos em R1 tendem a ser os mais produtivos na fase inicial da R2. No nível do indivíduo, as correlações foram fracas, indicando que fatores operacionais podem alterar as relações de dominância entre os indivíduos. Na R2, a sobrevivência e biomassa média por indivíduo reduziram com o aumento da densidade de plantio. Por outro lado, a biomassa por hectare aumentou com o aumento da densidade de plantio em alguns casos. Nos sítios com maior *déficit* hídrico, a resposta da produtividade ao espaçamento foi menor. A continuação das medições deste projeto é fundamental para validar as hipóteses levantadas no fim da R2.

Palavras-chave: Silvicultura; Talhadia; Clima.

GRAGNOLATI FERNANDES, PIETRO, Sprouting and initial growth of *Eucalyptus spp.* under different edaphoclimatic conditions. 2023. Adviser: Rodrigo Eiji Hakamada. Comit e: Rute Berger.

ABSTRACT

Most studies on coppice were carried out under specific climate conditions, or with little genetic material, limiting its application to a regional scale. The main objective of this work was to compare the survival, shoot emission and initial growth of 17 *Eucalyptus* genetic materials managed by coppice under different edaphoclimatic conditions. As specific objectives, this work intends to clarify the relations between climate, spacing and sprouting of the materials, as well as verify the relations between growth in 1st rotation (R1) and 2nd rotation (R2) in total area and at the individual level. The work was carried out in 8 experimental sites distributed throughout Brazil between latitudes -5.9 and -30.19 degrees. Seventeen *Eucalyptus* clonal materials from tropical and subtropical species were tested. The materials were planted in clonal tests with plots of 80 plants and 3m x 3m arrangement, and in spacing tests with stand densities varying between 450 and 14,000 trees/ha. Climatic variables were obtained from the NASA/POWER platform, and corrected based on INMET data. At 6 months, a sampling was carried out to fit the equations and predict the sprouting biomass per hectare of each clone. Height and DBH measurements were taken every six months from 12 to 24 months, and after that age they became annual. Comparison between materials was performed using rankings of survival, sprouting and wood biomass. The relationships between climatic variables and growth variables, growth in R1 x R2, and spacing x biomass were analyzed using graphical, regression and correlation analyses. Only 2 materials had sprouting rates below 80%. Tropical materials showed better results for sprouting biomass and initial growth than subtropical materials. Sites that suffered greater water deficit in R1 showed greater budding vigor and initial growth. It is assumed that this is due to the greater partition of C to the roots in dry places, favoring sprouting in R2. Clones that allocated more carbon to the roots in R1 had better performances in the beginning of R2 compared to the end of R1. However, at 12 months R2 precipitation began to exert greater influence on growth, indicating that throughout R2 the driest sites will lose productivity. Survival, growth index and uniformity in R1 and R2 showed significant correlations at the clone level, indicating that more productive clones in R1 tend to be more productive in the initial phase of R2. At the individual level, correlations were weak, indicating that operational factors can change dominance relationships between individuals. In R2, survival and average biomass per individual reduced with increasing planting density. On the other hand, biomass per hectare increased with increasing planting density in some cases. In sites with greater water deficit, productivity response to spacing was lower. The continuation of measurements in this project is essential to validate the hypotheses raised at the end of R2.

Keywords: Forestry; Coppice; Climate.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i> NO MUNDO	12
2.2 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i> NO BRASIL.....	13
2.3 TALHADIA.....	14
2.3.1 Histórico.....	14
2.3.2 Capacidade de brotação do gênero <i>Eucalyptus</i>	15
2.3.3 Fatores que influenciam a tomada de decisão	16
2.3.4 Vantagens e desvantagens da talhadia	17
2.3.5 Práticas silviculturais.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS SÍTIOS EXPERIMENTAIS.....	20
3.2 MATERIAIS GENÉTICOS	22
3.3 TESTE CLONAL E DE ESPAÇAMENTO	22
3.4 COLHEITA DA 1ª ROTAÇÃO.....	24
3.5 TRATOS SILVICULTURAIS	25
3.6 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	26
3.7 BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL	28
3.8 AVALIAÇÕES DE CAMPO.....	29
3.8.1 Pós-colheita	29
3.8.2 Biomassa de brotação	29
3.8.3 Inventários	31
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DOS SÍTIOS	33
4.2 DANOS ÀS CEPAS CAUSADOS PELA COLHEITA	36
4.3 MODELOS GERAIS DE BIOMASSA DE BROTAÇÃO	38
4.4 RELAÇÃO ENTRE NÚMERO DE BROTOS, ALTURA, E VIGOR DE BROTAÇÃO ...	39
4.5 TAXA DE BROTAÇÃO, BIOMASSA DE BROTAÇÃO E BIOMASSA DE LENHO	40
4.6 RELAÇÕES ENTRE CLIMA, BROTAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL	45

4.7 RELAÇÕES ENTRE SOBREVIVÊNCIA, CRESCIMENTO E UNIFORMIDADE EM R1 E R2.....	49
4.8 INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO NA BIOMASSA DE BROTAÇÃO E DE LENHO .	55
5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS DOS RESULTADOS.....	61
6. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE	75

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Localização dos 10 sítios do projeto PCoppice e os tipos climáticos nos quais estão localizados, segundo a classificação climática de Köppen. Os sítios em amarelo não foram considerados neste trabalho.21
- Figura 2: Arranjo espacial do teste clonal (A) e do teste de espaçamento (B) nos sítios experimentais do PCoppice. Fonte: Campoe e Binkley (2020).23
- Figura 3: Comparações entre as estimativas fornecidas pela plataforma NASA/POWER e os dados observados pelas estações automáticas do INMET.27
- Figura 4: Classes de intensidade de danos às cepas. Classe A: quando a cepa não está danificada, apresentando bom estado de sua estrutura. Classe B: quando a cepa apresenta danos apenas na casca, sem comprometer sua estrutura. Classe C: quando a cepa apresenta danos severos causados pelo processo de colheita, comprometendo regiões da casca e do lenho da cepa.29
- Figura 5: *Déficit* hídrico acumulado de 2012 a 2022 por sítio experimental do programa PCoppice.34
- Figura 6: Comparação entre precipitação anual média e temperatura média entre a 1ª e a 2ª rotação em cada sítio. Os anos incompletos de cada rotação (ano de plantio e colheita) foram descartados do cálculo das médias de precipitação anual.35
- Figura 7: Precipitação, temperatura média e *déficit* hídrico do 1º ano da 2ª rotação nos sítios do PCoppice.36
- Figura 8: Proporções dos níveis de danos às cepas observados nos testes clonais de cada sítio (acima), e nos testes de espaçamento agrupados (abaixo). Nível de dano A representa uma cepa sem danos, nível B representa uma cepa com poucos danos na casca, e nível C representa uma cepa com danos severos na casca e no lenho.37
- Figura 9: Relação entre número de brotos e altura média da brotação nos sítios 6, 8, 13 e 22.40
- Figura 10: Rankings com as médias de taxa biomassa de brotação medidas aos 6 meses e biomassa de lenho medida aos 12 meses, de 17 materiais de *Eucalyptus spp.* plantados nos sítios do programa PCoppice. Os clones O6 e L3 não possuem barras de erro padrão da média pois possuem apenas uma parcela medida. ...41
- Figura 11: Médias de biomassa de brotação aos 6 meses e biomassa de lenho aos 12 meses dos clones classificados como tropicais e subtropicais, onde n representa o número de parcelas disponíveis de cada tipo. A barra de erro indica o erro padrão da média.44
- Figura 12: Matrizes de correlação entre altura média da brotação aos 6 meses (acima), biomassa de lenho aos 12 meses (abaixo) e as variáveis climáticas da R1 e R2, acumuladas até a data da respectiva medição.47

Figura 13: Relação entre altura média da brotação de clones de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 6 meses, temperatura máxima da 1ª rotação, e déficit hídrico da 1ª e da 2ª rotação.	48
Figura 14: Relações entre biomassa de lenho de clones de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 12 meses, latitude, e déficit hídrico da 1ª e da 2ª rotação.	48
Figura 15: Relação entre sobrevivência inicial da R2 e sobrevivência final da R1 agrupadas por clone de <i>Eucalyptus spp.</i>	50
Figura 16: Correlação entre sobrevivência inicial da R2 e sobrevivência final da R1 agrupadas por sítio do programa PCoppice.	51
Figura 17: Correlação entre índice de crescimento inicial da R2 e índice de crescimento no final da R1.	52
Figura 18: Comparação entre os rankings em R1 e R2 nos sítios que possuem a maior quantidade de clones em comum. O ranking considerado se refere à última medição feita em cada sítio.	53
Figura 19: Correlação entre PV50 do final da R1 e PV50 da R2 em função da idade de medição.	54
Figura 20: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 8, aos 12 meses de idade.....	56
Figura 21: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 35. Os materiais A1, C3, D4, E5 e R9 foram medidos aos 12 meses, e os demais foram medidos aos 18 meses de idade.	57
Figura 22: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 17, aos 24 meses de idade.....	58
Figura 23: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 20, aos 36 meses de idade.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações geográficas e edafoclimáticas dos sítios experimentais do PCoppice considerados neste trabalho	21
Tabela 2: Materiais genéticos avaliados no PCoppice	22
Tabela 3: Número de parcelas e sítios medidos de cada material nos testes clonais e de espaçamento	24
Tabela 4: Informações sobre a colheita de cada sítio experimental do PCoppice	25
Tabela 5: Equações ajustadas para corrigir os dados da plataforma NASA/POWER	27
Tabela 6: Estações automáticas do INMET utilizadas para ajustar as equações de correção dos dados do NASA/POWER	27
Tabela 7: Resumo das variáveis climáticas de cada sítio na 1ª rotação	33
Tabela 8: Resumo das variáveis climáticas de cada sítio na 2ª rotação	34
Tabela 9: Modelos, coeficientes ajustados e parâmetros das equações de predição de biomassa de brotação em função da altura e número de brotos	39

1. INTRODUÇÃO

Considerando os três gêneros popularmente conhecidos como eucalipto (*Eucalyptus*, *Corymbia* e *Angophora*), existem mais de 700 espécies nativas da região da Austrália, Indonésia, Filipinas e Nova Guiné (CHIPPENDALE, 1988; FLORES et al., 2016).

Atualmente, espécies desses gêneros são plantadas em quase todos os continentes, em pelo menos 95 países, cobrindo mais de 22 milhões de hectares (ZHANG; WANG, 2021). Os maiores centros de produção são Brasil, China e Índia, que juntos representam aproximadamente 70% da área total de plantios de *Eucalyptus* no mundo. Estes plantios estão se expandindo rapidamente, tornando-se uma das fontes mais importantes de madeira, fibras de celulose e biomassa para produção de energia (PAINE et al., 2010; LACLAU et al., 2020).

Um dos motivos do sucesso do gênero *Eucalyptus* é a sua capacidade de emitir brotos após o corte raso. Esta característica possibilita que algumas espécies deste gênero tenham sua brotação conduzida, reestabelecendo a produtividade do povoamento sem exigir um novo plantio, em um sistema silvicultural conhecido como talhadia.

Desde a inserção dos plantios comerciais de *Eucalyptus* no Brasil até o surgimento da silvicultura clonal, a condução da rebrota desses povoamentos por meio da talhadia se tornou a prática predominante entre os produtores de floresta (ANDRADE, 1961; BALLONI & SILVA, 1978; STAPE, 1997; FERRARI et al., 2004). A adoção deste sistema de manejo ocorreu principalmente pela redução de custos em comparação à reforma florestal, por dispensar a produção de mudas, preparo de solo, plantio, e reduzir os tratamentos silviculturais (CAMARGO et al., 1997; SILVA et al., 2020).

A partir da década de noventa, o desenvolvimento de materiais genéticos superiores tornou a reforma florestal uma opção mais interessante, tendo em vista que geralmente a produtividade diminuía da primeira para a segunda rotação. Sendo assim, a maioria das indústrias de base florestal passaram a optar pelo replantio das áreas com mudas de materiais melhorados geneticamente (FERRARI et al., 2004; GONÇALVES et al., 2013; ROCHA et al., 2018).

Segundo Ferrari et al. (2004), a diminuição do interesse na condução da rebrota causou uma interrupção nas pesquisas sobre o manejo da talhadia. Contudo, a crise

econômica de 2008 trouxe de volta ao cenário florestal brasileiro o interesse por este sistema de manejo (GONÇALVES et al., 2015).

A retomada deste sistema de manejo foi acompanhada por diversas pesquisas que buscaram compreender as diferenças de produtividade entre as rotações, e elevar a produtividade pelo aprimoramento das técnicas de manejo (GONÇALVES et al., 2014; FONTENELE et al., 2018; ROCHA et al., 2018; PEREIRA FILHO et al., 2020; SILVA et al., 2020).

Entretanto, os trabalhos citados acima foram realizados em condições específicas de clima, ou com poucos materiais genéticos, limitando sua aplicação a uma escala regional. Para compreender com mais clareza o potencial de brotação de diferentes materiais genéticos e obter aplicações práticas em nível nacional, faz-se necessária a implementação de redes experimentais com designs de gradiente (KREYLING et al, 2018), em que se testem diversos materiais genéticos em locais com diferentes condições climáticas.

Um exemplo de experimento deste tipo é o projeto TECHS – Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico e Térmico. O projeto cooperativo coordenado pelo IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais), que contou com a colaboração de 26 empresas e pesquisadores de universidades e outras instituições de pesquisa, começou em 2011 com 36 sítios distribuídos do norte do Brasil ao Uruguai, abrangendo um gradiente de 3500 km. Nos 12 meses de duração do trabalho de Binkley et al. (2017), os 27 sítios do projeto TECHS considerados apresentaram uma amplitude de aproximadamente 10°C entre as temperaturas máximas (23-33°C) e mínimas (12-23°C), com precipitação anual variando de 400 a 2000 mm. Nos sítios mais quentes, foram plantados 7 clones de *Eucalyptus* considerados tropicais, e nos sítios mais frios foram plantados outros 7 materiais subtropicais. Além destes, em todos os sítios foram plantados 4 clones considerados plásticos, totalizando 11 clones diferentes em cada local (BINKLEY et al., 2020).

O projeto TECHS foi finalizado em 2018, e desde sua implantação tem gerado resultados fundamentais para a compreensão das interações entre os principais genótipos de *Eucalyptus* plantados no Brasil e diferentes condições climáticas. A estatística clássica para analisar padrões de crescimento florestal tem se mostrado poderosa. Os resultados do projeto confirmaram que uma redução de 100 mm ano⁻¹ na precipitação anual está relacionada à redução de 0,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ na produtividade, e que o aumento de 1°C na temperatura média dos sítios resultou em

uma redução de 2,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (BINKLEY et al., 2020). Resultados como esses só podem ser obtidos em experimentos com muitos sítios em um longo gradiente climático (CAMPOE; BINKLEY, 2020). Neste momento, o projeto está na sua segunda fase, chamada de PCoppice - Programa Cooperativo sobre Produtividade da Brotação de Clones de Eucalipto (<https://www.ipef.br/pcoppice/>), que tem como foco o estudo da influência do clima e do espaçamento na brotação e produtividade em 2ª rotação dos materiais genéticos clonais de *Eucalyptus* mais plantados no Brasil.

Sendo assim, como parte do projeto PCoppice, este trabalho tem como objetivo principal comparar a sobrevivência, emissão de brotos e crescimento inicial de 17 materiais genéticos de *Eucalyptus* manejados por talhadia sob diferentes condições edafoclimáticas. Como objetivos específicos, este trabalho objetiva compreender as relações entre clima, espaçamento, brotação e crescimento inicial dos materiais, bem como verificar as relações entre crescimento em 1ª rotação (R1) e 2ª rotação (R2) em área total e no nível individual.

As hipóteses levantadas sobre os objetivos citados acima foram:

- 1) A genética tem efeito sobre a brotação e crescimento inicial na 2ª rotação, sendo que materiais genéticos constituídos de espécies tropicais tenderão a possuir um maior vigor de brotação;
- 2) O clima tem efeito sobre a brotação e crescimento inicial na 2ª rotação, sendo que ambientes com menor estresse ambiental tenderão a ter um maior crescimento inicial;
- 3) Os clones mais produtivos na 1ª rotação manter-se-ão como mais produtivos na 2ª rotação, uma vez que um dos fatores que definem o potencial produtivo de um povoamento é a genética;
- 4) No nível do indivíduo, as árvores dominantes na 1ª rotação podem se tornar dominadas na 2ª rotação, uma vez que fatores operacionais podem afetar esta relação;
- 5) A resposta da produtividade ao aumento da densidade de plantio será menor em sítios com alto *déficit* hídrico, uma vez que nesses locais a água se torna um limitante da produtividade em espaçamentos mais adensados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O GÊNERO *Eucalyptus* NO MUNDO

Segundo Andrade (1922), os gêneros popularmente conhecidos como eucalipto começaram a ser introduzidos na Europa por volta de 1788. Porém, até meados do século XIX, o eucalipto não tinha nenhuma importância comercial, ficando restrito às coleções botânicas da época. A partir de 1843, surgiram os primeiros plantios comerciais na Índia. Apenas 11 anos depois a Europa plantou seus primeiros povoamentos de eucalipto para fins produtivos, principalmente o *Eucalyptus globulus* em Portugal. Na América do Sul, o eucalipto foi introduzido por volta de 1823, primeiramente no Chile, e posteriormente no Uruguai (1853) e na Argentina (1865) (MARTINI, 2004).

Atualmente, a produtividade dos plantios de *Eucalyptus spp.* pode variar bastante ao redor do mundo. Entretanto, em todos os continentes onde o gênero está plantado é possível encontrar sítios de alta produtividade com valores acima de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Na Ásia as médias de produtividade ainda são relativamente baixas se comparadas às do Brasil, entretanto, alguns sítios podem atingir altos valores de produtividade. Na China, um dos maiores produtores de *Eucalyptus* do mundo, a produtividade média dos plantios dobrou nos últimos 20 anos, saindo de $4,14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (1994 – 1998) para $8,57 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (2014 – 2018), podendo atingir valores acima de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em algumas regiões do país (ZHANG; WANG, 2021). Hardiyanto et al. (2022), ao comparar parcelas de *E. pellita* em 1ª e 2ª rotação plantadas em sítios de alta produtividade no sul da Indonésia, observaram produtividades de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $32,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ respectivamente.

Na África, também podem ser encontrados exemplos de sítios de alta produtividade. Na República Democrática do Congo, a produtividade média de plantios de *E. saligna* ao redor de 6 anos de idade em 2 sítios localizados na região nordeste do país foi de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (KASEKETE et al., 2022). Little e Gardner (2003) reportaram produtividades variando de 6,2 a $37,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2 sítios na África do Sul com 18 espécies de *Eucalyptus* tolerantes ao frio. Em um teste conduzido no noroeste da Tunísia, apenas duas das oito espécies de *Eucalyptus* atingiram um incremento anual médio entre 5 e $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ aos 20 anos. As demais apresentaram produtividades abaixo de $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (MHAMDI et al., 2021).

Melun e The (2012) reportaram médias de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o *E. gundal* e $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o *E. gunii*, em 160 ensaios que cobriram todo o sul da França.

Na América do Norte, Stanturf et al. (2018) estimaram a produtividade do *E. grandis* e *E. benthamii* para a região sul dos Estados Unidos usando o modelo 3-PG, e obtiveram médias de produtividade potencial de $42,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $21,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Sandoval et al. (2012) reportaram produtividades variando de 7 a $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 56 parcelas de *E. urophylla* e *E. grandis* distribuídas em 21 áreas no sudeste do México.

A América do Sul e Central possuem as produtividades de *Eucalyptus spp.* mais altas dos trópicos (ITTO, 2009). Rodriguez et al. (2009) reportaram produtividades de 47 a $52 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em parcelas de *E. nitens*. A produtividade média da região para o *Eucalyptus* está em torno de $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, mas pode chegar até $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em sítios de alta produtividade (ITTO, 2009).

2.2 O GÊNERO *Eucalyptus* NO BRASIL

Segundo Martini (2004), o gênero *Eucalyptus* foi oficialmente inserido para fins produtivos no Brasil por volta de 1904, com algumas das centenas de espécies testadas pelo agrônomo Edmundo Navarro de Andrade. Navarro foi contratado pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF) com a missão de descobrir qual espécie florestal melhor se adaptaria às condições climáticas do sudeste brasileiro.

O início da produção de recursos florestais no Brasil tinha por objetivo garantir a oferta de matéria prima para a produção de carvão e dormentes. Após a criação de 18 hortos florestais no interior de São Paulo, sendo o Horto de Rio Claro o mais conhecido dentre eles, Navarro obteve resultados inéditos e extremamente importantes para o desenvolvimento da silvicultura nacional.

Ao testar lado a lado diversas essências nativas e exóticas, Navarro identificou o enorme potencial do gênero *Eucalyptus* para a produção de recursos florestais na região. Com estes resultados, lançou em 1939 o que é considerado por muitos a obra prima da silvicultura brasileira, o livro O Eucalipto (MARTINI, 2004).

Graças ao trabalho de Edmundo Navarro de Andrade, e de milhares de Engenheiros Agrônomos e Florestais que dedicaram suas vidas ao estudo e desenvolvimento da cultura do *Eucalyptus*, hoje o Brasil é referência mundial em produtividade florestal. O gênero *Eucalyptus* no Brasil saiu de uma produtividade

média de 10 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em 1970 para 38,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em 2021, e um ciclo produtivo médio de 7 anos (IBÁ, 2022).

Ainda segundo o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022), o Brasil possui cerca de 7,53 milhões de hectares de plantios de *Eucalyptus*, distribuídos majoritariamente entre os estados de Minas Gerais (2,24 milhões), Mato Grosso do Sul (1,04 milhões) e São Paulo (0,98 milhões).

De toda a área de florestas plantadas no país, 36% são destinadas à produção de celulose e papel, 29% são de produtores independentes, 12% para a siderurgia e carvão vegetal, 6% para painéis de madeira e pisos laminados, 10% para fundos de investimentos denominados Timber Investment Management Organization (TIMO), 4% para produtos sólidos de madeira, e 3% para outros fins (IBÁ, 2019).

Apesar de representar menos de 1% da área do território nacional, o setor de florestas plantadas contribuiu com 1,2% do PIB Nacional em 2021, com uma receita bruta total de R\$ 244,6 bilhões (IBÁ, 2022).

2.3 TALHADIA

2.3.1 Histórico

A talhadia é um sistema silvicultural que consiste em conduzir a brotação dos indivíduos após o corte raso da floresta, com a finalidade de reestabelecer a produtividade do povoamento sem precisar replantá-lo. Portanto, este sistema só é aplicável em espécies que possuam a capacidade de emitir brotos das gemas dormentes ou adventícias (PANCEL, 1993; STAPE, 1997; SAVILL, 2004).

Este tipo de manejo florestal é o mais antigo do mundo. No fim do período medieval (século XV), a maioria das florestas da Europa acessíveis já tinham sido intensivamente utilizadas sob o manejo da talhadia. Nossos ancestrais eram em sua maioria pequenos fazendeiros autossuficientes, que dependiam dos recursos da floresta para cozinhar, esquentar-se, construir, alimentar-se e alimentar seus animais. Entretanto, na época não havia uma logística capaz de transportar grandes toras, o que obrigava os fazendeiros a cortarem as árvores mais jovens e mais finas. Com o tempo, foram identificando as espécies que possuíam mais capacidade de emitir brotos, o que facilitava a remoção e transporte da madeira, pois uma única árvore produzia uma grande quantidade de madeira fina. Dessa forma, os fazendeiros foram deliberadamente cultivando tais espécies e desenvolvendo técnicas de manejo para otimizar a emissão de brotos (BECKER; UNRAU, 2018).

Após a revolução industrial, a demanda por madeira fina para produção de energia aumentou drasticamente. A talhadia se tornou uma forma sustentável, econômica e eficiente para produzir madeira para os processos industriais da época, expandindo-se significativamente ao redor dos centros produtivos. Atualmente, este sistema é mais praticado por países em desenvolvimento na América, Ásia e África, para produção de madeira fina para geração de energia, para fins industriais ou domésticos. Entretanto, a tendência é que seja um sistema cada vez mais utilizado por países desenvolvidos para processos industriais, como produção de celulose (EVANS, 1992; BECKER; UNRAU, 2018).

Em 2008, o manejo da talhadia era aplicado em 5% das florestas plantadas de *Eucalyptus* no Brasil, e em 2009, ocorreu um aumento para 25% (ABRAF, 2013; ROCHA et al., 2018) por conta da crise financeira ocorrida nos anos de 2008 e 2009. Atualmente, as principais indústrias do setor florestal utilizam o sistema de talhadia de forma bem expressiva. A antiga Copener, atual Bracell, conduziu a brotação de cerca de 15% das suas áreas em 2014 (ARBEX; SILVA, 2015). Já a CENIBRA (Celulose Nipo-Brasileira S/A), para o mesmo ano, destinou 40% das suas áreas de plantios de eucalipto para o manejo da talhadia (JESUS, 2015). Na antiga Duratex, atual Dexco, em torno de 26% das áreas eram conduzidas sob o manejo da talhadia em 2013, e para 2014 a empresa planejava conduzir mais 17 mil hectares (CHAVES; MARRICHI, 2015).

2.3.2 Capacidade de brotação do gênero *Eucalyptus*.

Em geral, espécies do gênero *Eucalyptus* possuem alta capacidade de regeneração após o corte raso ou desfolhamento. Isso ocorre devido à alta quantidade de gemas epicórmicas e lignotúberes presentes na casca e no câmbio (REIS; REIS, 1997; LITTLE; GARDNER, 2003;). Lignotúberes são estruturas com grandes reservas de carboidratos localizadas no colo da planta, que colaboram para a emissão de brotos em algumas espécies, principalmente em condições edafoclimáticas adversas (BALLONI; SILVA, 1978).

Entretanto, nem todas as espécies do gênero podem ser conduzidas sob o sistema da talhadia. Algumas espécies não possuem capacidade de brotação, são suscetíveis a ataques de fungos nos brotos ou não atingem as dimensões comerciais mínimas sob este sistema (ABBOTT; LONERAGAN 1982, GELDRES et al., 2004). Espécies como *E. camaldulensis*, *E. grandis*, *E. globulus*, *E. urophylla* e *E. saligna*

geralmente apresentam altas taxas de brotação. Já espécies como *E. fastigata*, *E. pilularis* e *E. fraxinoides* tendem a possuir taxas de brotação mais variadas (FERREIRA, 1992; HIGA; STURION, 1997; SIMS et al., 1999).

Em um estudo conduzido por Sbardella (2021), materiais clonais apresentaram taxas de brotação superiores aos materiais seminais. Além disso, dentre os 16 materiais genéticos testados, as 3 piores taxas de brotação foram de materiais de *E. grandis*, sendo 2 seminais e um clonal. Os mesmos materiais também apresentaram as menores alturas e números de broto por cepa. Segundo a autora, a ausência de lignotúberes em indivíduos de *E. grandis* puros resulta em uma capacidade de brotação regular. Quando o material é hibridado com outras espécies, como o *E. urophylla* sua capacidade de brotação aumenta consideravelmente.

2.3.3 Fatores que influenciam a tomada de decisão

Segundo Stape (1997), os três grupos de fatores que afetam diretamente o sucesso da brotação de povoamentos de *Eucalyptus* são: fatores genéticos, fatores operacionais e fatores ambientais. Entretanto, cada um desses fatores tem maior influência em diferentes fases da brotação.

Podem ser identificadas três fases da brotação: fase de emissão dos brotos, fase de estabelecimento dos brotos e fase de crescimento dos fustes. Na fase de emissão dos brotos, que ocorre de 2 a 3 meses após o corte raso, os fatores genéticos são os que exercem maior influência, diferenciando materiais que possuem alta ou baixa capacidade de brotação. Na fase de estabelecimento, que ocorre de 6 a 12 meses após o corte raso, os fatores operacionais como altura de corte, danos e sombreamento das cepas, controle de pragas e densidade de plantio são os que mais afetam o desenvolvimento dos brotos. Por fim, a fase de crescimento dos fustes, que vai dos 12 meses até o corte raso da rotação, é majoritariamente afetada pelos fatores ambientais, como o regime hídrico, térmico, nutrição e condições edáficas (STAPE, 1997).

Dessa forma, os três grupos de fatores dão origem a diversos indicadores que podem ser usados para tomar a decisão de conduzir ou reformar um talhão. Cada empresa do setor possui seus indicadores e protocolos. Dentre os indicadores considerados pelas empresas que colaboraram para a elaboração da série técnica do IPEF sobre Manejo da Brotação de Eucalipto para Produção de Madeira (ALMADO,

2015; ARBEX; SILVA, 2015; CHAVES & MARRICHI, 2015; JESUS, 2015; MOTTER et al., 2015), estão:

- Produtividade acima da média de todos os talhões, ou acima de um valor mínimo definido pela empresa;
- Sobrevivência pré-corte acima de 80 - 90%;
- Sobrevivência 120 dias após o corte acima de 80% - 90%;
- Baixa susceptibilidade do material genético plantado a pragas e doenças;
- Alta capacidade de brotação do material genético;
- Não deve haver sinais de deficiência hídrica ou nutricional;
- O local não pode sofrer com ocorrências severas de vento;
- Possibilidade de troca de material genético por outro mais vantajoso (mais tolerante a pragas, doenças bióticas e abióticas, mais produtivo ou que possua maior densidade)
- O custo da madeira posto fábrica, caso seja feita a condução da rebrota, não deve ultrapassar o valor despendido caso seja realizado o manejo por reforma.

2.3.4 Vantagens e desvantagens da talhadia

Sobre a talhadia, a vantagem que mais se destaca em relação à reforma é a econômica. O manejo da brotação pode representar uma redução em torno de 50% em relação aos custos de uma reforma, por dispensar a maioria das operações necessárias para um plantio. Dentre elas, pode-se destacar a produção de mudas, preparo de solo e plantio, e a redução da intensidade de tratamentos silviculturais como capina e controle de formigas (STAPE, 1997; ALMADO, 2015). Na região de Araripe (PE), Fontenele et al. (2018) reportaram um custo de implantação em torno de 4.800 reais por hectare para as parcelas reformadas, e de apenas 1.600 reais por hectare para as parcelas conduzidas. Na Bahia, os custos de uma área reformada giram em torno de 7.000 reais por hectare, contra 4.150 reais por hectare em áreas conduzidas (ARBEX; SILVA, 2015).

Além das vantagens econômicas, a condução da rebrota também possui algumas vantagens fisiológicas. O sistema radicular bem desenvolvido e a reserva de carboidratos da brotação anterior proporcionam à brotação um crescimento inicial mais acelerado do que um plantio de mudas (SAVILL, 2004). Este crescimento inicial acelerado faz com que o ciclo de corte seja reduzido, antecipando o retorno financeiro (LAMPRECHT, 1990; EVANS, 1992).

A condução da rebrota também oferece aos plantios de *Eucalyptus spp.* maiores benefícios ambientais. Hakamada et al. (2015) afirmam que este sistema silvicultural resulta em um menor consumo de água e uso de fertilizantes. O crescimento inicial acelerado promove um fechamento de copa mais precoce, protegendo o solo mais rapidamente contra a erosão. A realização da desbrota deposita sobre o solo uma grande quantidade de matéria orgânica que fornece nutrientes e proteção física. O sistema radicular já desenvolvido tende a aumentar a drenagem de água pelo solo, criando canais de infiltração (CHAVES; MARRICHI, 2015; BUCKLEY et al. 2018). Além dos benefícios ambientais relacionados à proteção do solo, a talhadia também pode sequestrar mais carbono que áreas de reforma. Pegoraro et al. (2021) observaram que áreas de talhadia apresentaram estoques de C acima do solo semelhantes às áreas de reforma, porém, abaixo do solo o estoque foi em média 51% maior nas áreas de talhadia. Entretanto, para promover um sequestro de carbono maior que a reforma, a produtividade da talhadia deve ser igual ou maior que a da área reformada.

Em relação às desvantagens, pode-se destacar que o produto deste sistema são madeiras finas de baixo valor agregado, não sendo interessante para produtores de madeira para serraria (STAPE, 1997). Além disso, fatores genéticos, operacionais e ambientais podem causar grandes perdas de produtividade entre as rotações, trazendo grandes prejuízos econômicos (FONTENELE et al., 2018). Entretanto, segundo Stape (1997), no balanço final, as vantagens da talhadia predominam sobre as desvantagens.

2.3.5 Práticas silviculturais

Quando os fatores genéticos e ambientais estão bem ajustados ao manejo da talhadia, os fatores operacionais se tornam os maiores responsáveis pelo sucesso ou não da rotação (STAPE, 1997). Dessa forma, áreas sob o manejo da talhadia devem receber tratamentos silviculturais específicos que favoreçam a emissão e desenvolvimento dos brotos.

Inicialmente, deve-se realizar um controle de formigas pouco antes do corte raso da rotação anterior, e outro em torno de 15 dias depois da retirada da madeira do talhão (STAPE, 1997).

A colheita é uma das atividades mais importantes para o manejo da talhadia, pois pode ocasionar danos às cepas e reduzir a sobrevivência e brotação dos indivíduos (ARTHUR JUNIOR et al., 2015). Balloni e Silva (1978) recomendam que a colheita seja feita no período de chuvas, pois isso favorecerá a emissão de brotos dos materiais, principalmente daqueles com menor potencial de brotação e resistência ao estresse hídrico. É importante minimizar o tráfego e evitar manobras dentro do talhão, para evitar possíveis danos às cepas (GOMES, 2015). Dessa forma, sistemas de colheita mecanizados tendem a ocasionar mais danos às cepas que a colheita com motosserra. Gomes (2015) observou perdas de 27% na sobrevivência da brotação ao comparar o sistema mecanizado com a motosserra. Hakamada et al., (2015) observaram uma redução de 10% e 50% nos danos às cepas ao utilizar o sistema motosserra + carregador em comparação aos sistemas Harvester + Forwarder e Feller Buncher + Skidder respectivamente. Além disso, os autores reportaram porcentagens de falhas de 4%, 7% e 12%, respectivamente.

A altura de corte é outro fator importante na colheita de áreas que serão conduzidas. Tocos maiores possuem maior quantidade de gemas epicórmicas e lignotúbers, aumentando a capacidade de brotação (STAPE, 1993). Segundo Gomes (2015), a altura de corte deve ser entre 10 e 15 centímetros. Entretanto, Chaves e Marrichi (2015) demonstram que para alguns materiais clonais essa altura pode ser reduzida para 5 centímetros, aumentando o aproveitamento de madeira da primeira rotação sem prejudicar a brotação da segunda. Por fim, é essencial realizar o manejo dos resíduos após a colheita para evitar o sombreamento das cepas (GOMES, 2015). Camargo et al. (1997) reportaram uma mortalidade 8% maior em parcelas de *E. grandis* em que as cepas estavam sombreadas pelos resíduos.

A prática silvicultural mais característica dos plantios de *Eucalyptus* sob o manejo da talhadia é a desbrota. Esta operação tem o objetivo de reduzir a competição entre os brotos, mantendo na cepa de um a três brotos mais vigorosos e removendo os excedentes (FERRAZ FILHO et al., 2014). Souza et al. (2012) observaram que parcelas de *E. grandis* que sofreram desbrota aos 9 meses, mantendo dois brotos por cepa, apresentaram maiores diâmetros que as parcelas sem desbrota.

Existem dois tipos de desbrota, a desbrota convencional, em que os brotos são removidos por volta dos 12 meses de idade, e a desbrota precoce, que ocorre entre 3 e 4 meses de idade (SOUSA, 2016). O tipo de desbrota mais adequado dependerá

do material genético e das condições ambientais, principalmente da incidência de ventos fortes. Sousa (2016) não encontrou diferenças significativas na biomassa média por árvore entre tratamentos com desbrota precoce e convencional. Entretanto, as parcelas que sofreram desbrota convencional apresentaram uma sobrevivência significativamente menor, resultando em uma produção de biomassa por hectare 21% menor que as parcelas de desbrota precoce. Silva et al. (2020) testaram diferentes sistemas de desbrota em parcelas do clone GG157 com e sem fertilização. Os autores perceberam que nas parcelas fertilizadas, o sistema de desbrota precoce (desbrota quando a brotação atingiu cerca de 1 metro) resultou em produtividade maior que os sistemas de desbrota convencionais e tardia (desbrota quando a brotação atingiu 2 e 4 metros, respectivamente). Além disso, a manutenção de 2 brotos por cepa resultou em produtividades maiores, porém diâmetros menores. As parcelas não adubadas apresentaram maiores diâmetros nos sistemas de desbrota convencional, indicando que em casos de *déficit* nutricional a desbrota precoce pode não ser a melhor opção. Segundo Reis e Reis (1997), cada broto comporta-se como um indivíduo, competindo com os demais brotos pelos recursos disponíveis. Portanto, o momento ideal da desbrota dependerá da disponibilidade e da eficiência de uso dos recursos de cada material genético.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS SÍTIOS EXPERIMENTAIS

Este trabalho foi desenvolvido utilizando as informações geradas pelo projeto PCoppice (Programa Cooperativo sobre Produtividade da Brotação de Clones de Eucalipto), que dá sequência ao projeto TECHS (Tolerância de Eucalyptus Clonais aos Estresses Hídrico e Térmico). Nesta fase, 10 dos 36 sítios do projeto TECHS seguirão sendo analisados em 2ª rotação.

Os 10 sítios experimentais (Fig.1) estão distribuídos entre as latitudes -11,86 e -32,2 graus (Tab. 1), abrangendo os diversos tipos de clima do território brasileiro, com mais de 600 mm de gradiente de precipitação e 6,5 °C de diferença na temperatura média entre o sítio mais quente e o mais frio. Entretanto, para este trabalho não serão considerados os sítios 18 e 30, pois, até o presente momento, os dois sítios ainda não foram medidos.

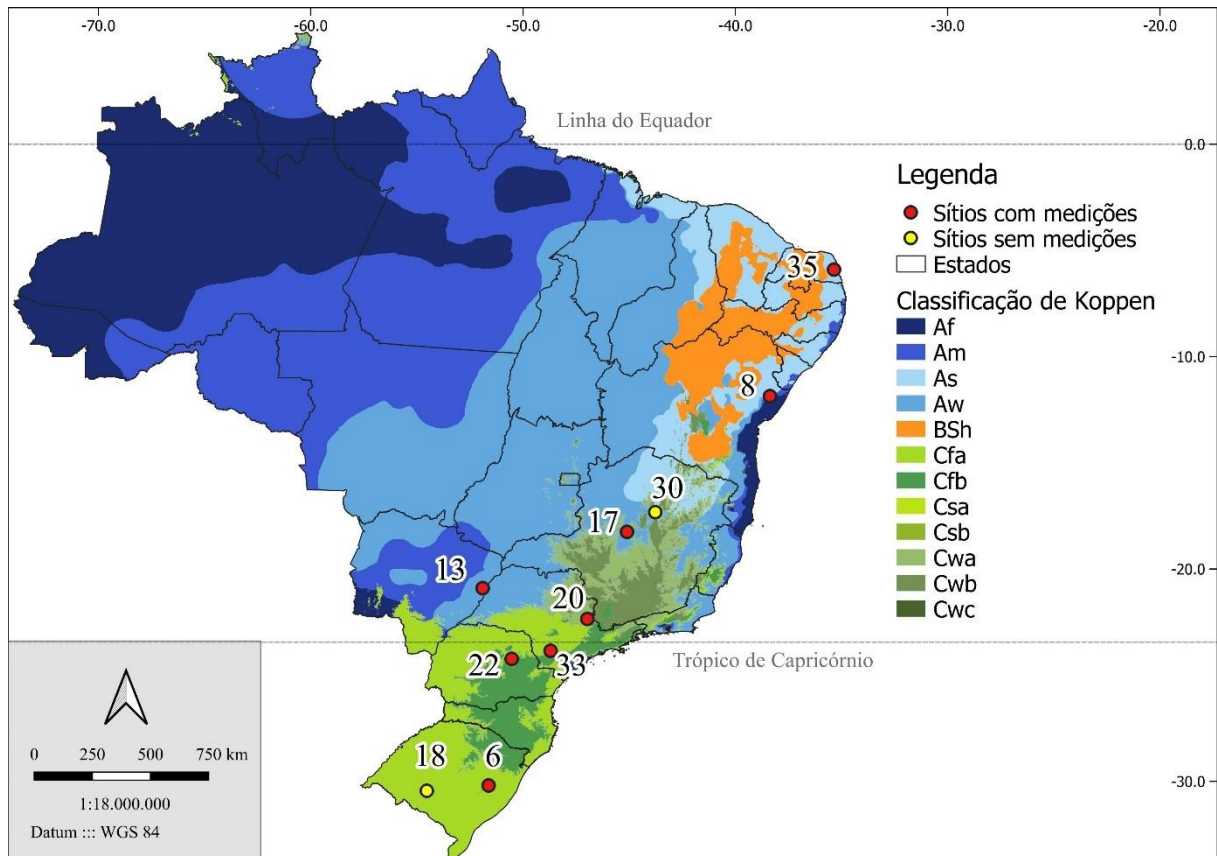


Figura 1: Localização dos 10 sítios do projeto PCoppice e os tipos climáticos nos quais estão localizados, segundo a classificação climática de Köppen. Os sítios em amarelo não foram considerados neste trabalho.

Tabela 1: Informações geográficas e edafoclimáticas dos sítios experimentais do PCoppice considerados neste trabalho.

Sítio	Lat (graus)	Long (graus)	Alt (m)	Ppt anual média (mm)*	Temperatura média (°C)*	Tipo de solo	CAD (mm)**
6	-30,19	-51,62	150	1576,0	20,0	Argissolo	145
8	-11,86	-38,37	218	1131,1	25,6	Argissolo	89
13	-20,9	-51,9	361	1062,3	25,2	Latossolo	87
17	-18,25	-45,1	806	914,3	24,1	Latossolo	76
20	-22,35	-46,97	633	1199,0	22,2	Latossolo	165
22	-24,23	-50,53	888	1458,5	20,8	Latossolo	214
33	-23,85	-48,7	695	1386,7	20,6	Latossolo	196
35	-5,90	-35,35	650	1047,4	26,5	Argissolo	89

* Médias anuais considerando o período de 2012 (ano de plantio da R1) até o fim de 2022. **

Valores obtidos no trabalho de Binkley et al., (2017), com exceção do sítio 35. Como este sítio não foi avaliado por Binkley et al., (2017), foi considerado o valor da CAD do sítio mais próximo com o mesmo tipo de solo (sítio 8).

3.2 MATERIAIS GENÉTICOS

Foram avaliados 17 clones comerciais de *Eucalyptus* (Tab. 2), que foram subdivididos em nove clones tropicais (A1, C3, D4, E5, G7, H8, P7, Q8, R9), e oito clones subtropicais (F6, I9, J1, K2, L3, M4, N5, O6), segundo seu genótipo e clima de origem. Os 4 clones classificados como Plásticos no TECHS foram reclassificados em Tropicais e Subtropicais, pois não tiveram desempenho na R1 que justificasse a manutenção desta classe.

Tabela 2: Materiais genéticos avaliados no PCoppice

Clone	Genótipo	Abreviatura	Tipo	Clima de origem*
A1	<i>E. urophylla</i>	URO	Tropical	Cwa
C3	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	GRANCAM	Tropical	As
D4	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	GRANURO	Tropical	Aw
E5	<i>E. urophylla</i>	URO	Tropical	Cwa
F6	<i>E. benthamii</i>	BEN	Subtropical	Cfb
G7	<i>E. urophylla</i>	URO	Tropical	Cwa
H8	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	GRANURO	Tropical	Am
I9	<i>E. dunnii</i>	DUN	Subtropical	Cfb
J1	<i>E. benthamii</i>	BEN	Subtropical	Cfb
K2	<i>E. saligna</i>	SAL	Subtropical	Cfb
L3	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>	UROGLO	Subtropical	Cfb
M4	<i>E. dunnii</i>	DUN	Subtropical	Cfb
N5	<i>E. dunnii</i>	DUN	Subtropical	Cfb
O6	<i>E. grandis</i>	GRAN	Subtropical	Cfb
P7	<i>E. urophylla</i> x <i>E. brassiana</i>	UROBRA	Tropical	As
Q8	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	GRANURO	Tropical	Af
R9	<i>E. urophylla</i>	URO	Tropical	Aw

* Clima de origem do genótipo segundo a classificação de Köppen (BINKLEY et al., 2017).

3.3 TESTE CLONAL E DE ESPAÇAMENTO

Cada sítio experimental possui um teste clonal e um teste de espaçamento. O teste clonal consiste em parcelas de 80 plantas e arranjo de 3mx3m (~1110 árvores/ha) (Fig. 2A). O teste de espaçamento é formado por parcelas adicionais para cada clone, com distâncias variadas entre as linhas de plantio gerando densidades de estande de 450 a 14.000 árvores/ha (Fig. 2B). Nos sítios 6, 13, 22 e 33, o teste de espaçamento não foi conduzido devido à alta mortalidade na primeira rotação. O sítio

35 não possui teste clonal, e o teste clonal do sítio 17 ainda não foi medido devido a problemas de segurança na área.

A população de inferência deste trabalho é muito ampla, sendo ela todos os plantios dos materiais genéticos estudados localizados dentro da amplitude geográfica dos sítios ($\sim -11^\circ$ até -32° de latitude). Portanto, não há repetições dentro de cada sítio, pois deu-se prioridade mais para captar a variação do crescimento em função do clima do que comparar os materiais dentro de um único sítio. Entretanto, alguns sítios possuem mais de uma parcela do mesmo clone, e nem todos os sítios possuem todos os clones plantados, variando o número de parcelas disponíveis de cada material em cada teste (Tab. 3).



Figura 2: Arranjo espacial do teste clonal (A) e do teste de espaçamento (B) nos sítios experimentais do PCoppice. Fonte: Campoe e Binkley (2020).

Tabela 3: Número de parcelas e sítios medidos de cada material nos testes clonais e de espaçamento

Clone	Clonal		Espaçamento	
	Parcelas	Sítios	Parcelas	Sítios
A1	11	6	5	4
C3	9	5	4	4
D4	7	4	4	4
E5	5	3	2	2
F6	3	2	0	0
G7	9	5	4	4
H8	7	4	3	3
I9	3	2	0	0
J1	3	2	0	0
K2	8	5	3	3
L3	3	2	0	0
M4	3	2	0	0
N5	3	2	0	0
O6	3	2	0	0
P7	6	4	7	4
Q8	9	5	4	4
R9	7	4	4	4

3.4 COLHEITA DA 1ª ROTAÇÃO

Os anos de colheita variaram entre 2019 e 2021, e cada empresa utilizou o sistema de colheita praticado em suas áreas, variando entre sistemas de tora longa (Feller Buncher + Skkider), sistemas de tora curta (Harvester + Forwarder, ou Feller Buncher + garra traçadora + Forwarder) e corte semimecanizado (motosserra) (Tab. 4). Independente do sistema utilizado, os tocos foram cortados a uma altura de 10 a 15 centímetros do solo, tomando todos os cuidados para evitar danos às cepas.

Tabela 4: Informações sobre a colheita de cada sítio experimental do PCoppice.

Sítio	Data de colheita	Sistema de colheita	Maquinário utilizado
6	28/06/2021	Tora curta	Harvester + Forwarder
8	03/07/2021	Tora curta	Harvester + Forwarder
13	24/09/2021	Tora curta	Harvester + Forwarder
17	30/05/2020	Tora longa	Feller Buncher + Skkider
20	01/05/2019	Tora curta	Harvester + Forwarder
22	02/06/2021	Tora longa	Feller Buncher + Skkider
33	29/07/2020	Tora curta	Feller Buncher + garra traçadora + Forwarder
35	18/02/2021*	Semimecanizado	Motosserra
35	28/09/2021*	Semimecanizado	Motosserra

* No sítio 35, algumas parcelas foram cortadas em fevereiro e outras em setembro de 2021.

3.5 TRATOS SILVICULTURAIS

Em torno de 60 dias antes da colheita, todos os sítios realizaram um controle de formigas utilizando as iscas formicidas e dosagens já utilizadas em cada empresa.

Até 30 dias após a colheita a madeira foi retirada da área, e foi realizada uma limpeza das cepas, com o objetivo de remover resíduos que estivessem sombreando ou prejudicando a emissão de brotos dos indivíduos.

O período e o número de aplicações dos fertilizantes seguiram os padrões utilizados por cada empresa em suas áreas comerciais de talhadia. Entretanto, as dosagens de cada sítio foram calculadas de acordo com as análises de solo e formulações disponíveis em cada empresa, de modo a evitar qualquer limitação de crescimento por fatores nutricionais.

O controle da matocompetição foi feito de modo a manter as áreas experimentais livres de plantas daninhas. A frequência do controle variou em cada sítio, em função da intensidade de infestação de plantas daninhas em cada local.

A desbrota foi realizada aos 6 meses de idade, para que a operação acompanhasse a medição de biomassa de brotação (item 3.8.2). Os sítios 22 e 35, devido a problemas com ventos fortes, realizaram a desbrota aos 12 meses, quando os brotos já estivessem mais resistentes. Em todos os sítios foi mantido o broto mais vigoroso, e em caso de falhas, foram mantidos 2 brotos na árvore ao lado para manter a densidade de estande.

3.6 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Os dados climáticos foram obtidos da plataforma NASA/POWER – NASA Langley Research Center POWER Project, que fornece estimativas diárias de variáveis climáticas geradas por meio de modelos preditivos que utilizam imagens do satélite MERRA-2, com resolução espacial de 1° (STACKHOUSE et al., 2015). Foram coletadas séries na escala diária de temperatura máxima, mínima e média (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C), precipitação (mm), umidade relativa (%), velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s), pressão da superfície (kPa) e radiação incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de 01/01/2010 (2 anos antes do plantio da 1ª rotação) até 31/12/2022.

O NASA/POWER foi a fonte escolhida pois disponibiliza dados com atualização diária para a localização exata dos sítios, sendo a única base que permite o download de dados até o dia 31/12/2022, logo nos primeiros dias de janeiro de 2023.

Entretanto, como se tratam de dados estimados, foi realizada uma comparação com os dados de estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) próximas aos sítios experimentais (Tab. 5), a fim de corrigir possíveis desvios entre as estimativas e os dados observados. Sendo assim, foram ajustadas equações para corrigir as estimativas de precipitação, umidade relativa, temperatura máxima e mínima da NASA com base nos dados medidos diretamente nas estações do INMET mais próximas dos sítios experimentais. Estas equações foram aplicadas sobre a base de dados do NASA/POWER, gerando estimativas corrigidas das variáveis citadas acima. A temperatura do ponto de orvalho e a velocidade do vento não foram corrigidas por não estarem disponíveis nos dados das estações do INMET.

Para a umidade relativa e temperatura máxima, as estimativas da NASA tendem a superestimar os valores mais baixos, e subestimar os valores mais altos dessas variáveis. Para a temperatura mínima há uma leve subestimativa nos valores mais baixos, e para a precipitação há uma subestimativa considerável dos dados da NASA (Fig. 3).

As equações ajustadas que foram utilizadas para corrigir os dados da NASA estão na tabela 5.

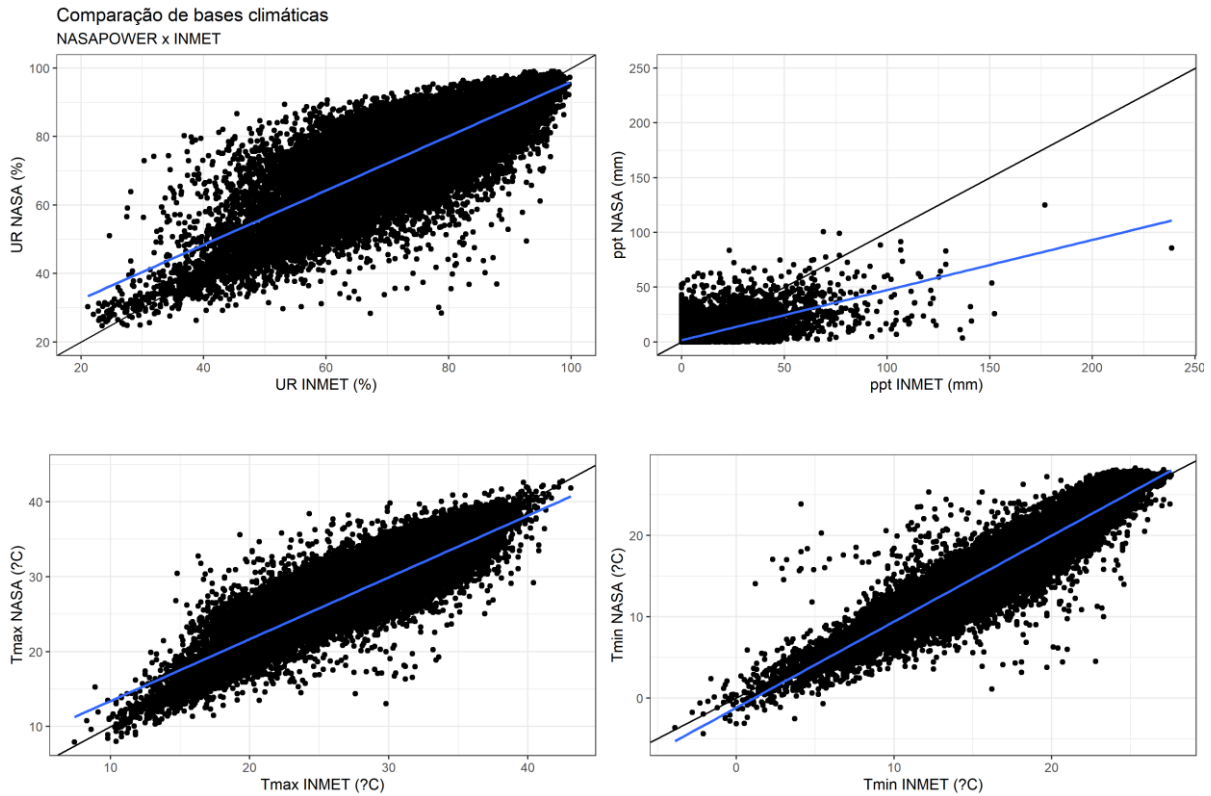


Figura 3: Comparações entre as estimativas fornecidas pela plataforma NASA/POWER e os dados observados pelas estações automáticas do INMET.

Tabela 5: Equações ajustadas para corrigir os dados da plataforma NASA/POWER

Variável	Equação	R ²	Valor p
Umidade relativa	$UR = 14,23 + 0,79 * UR_{NASA}$	0,62	< 0,0001
Precipitação	$ppt = 0,37 + 0,99 * ppt_{NASA}$	0,45	< 0,0001
Temperatura máxima	$tmax = 2,59 + 0,89 * tmax_{NASA}$	0,73	< 0,0001
Temperatura mínima	$tmin = 3,24 + 0,82 * tmin_{NASA}$	0,87	< 0,0001

Tabela 6: Estações automáticas do INMET utilizadas para ajustar as equações de correção dos dados do NASA/POWER

Sítio	Estação INMET
6	Rio Pardo
8	Serrinha
13	Três Lagoas
17	Três Marias

20	Itapira
22	Ventania
33	Itapeva
35	Natal

Para o cálculo da variável graus dia acumulado, foi utilizada a metodologia proposta por Villa Nova et al. (1972) (Eq. 1).

$$GD_{ACUMULADO} = \sum_{i=1}^n \left[(T_{min} - T_i) + \frac{(T_{max} - T_{min})}{2} \right] \quad (1)$$

Onde $GD_{ACUMULADO}$ = graus dia acumulado (°C), T_{min} = temperatura mínima diária (°C), T_{max} = temperatura máxima diária (°C), T_i = temperatura basal inferior da cultura (10 °C) (OLIVEIRA et al., 2012), n = número de dias.

3.7 BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL

O balanço hídrico foi calculado por meio de uma adaptação do método de Thornthwaite e Mather (1955) proposta por Pereira et al., (2007). A ET₀ foi calculada pelo método de Penman-Montheith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1994), utilizando a função `penman` do pacote `SPEI` (<https://www.rdocumentation.org/packages/SPEI/versions/1.7/topics/Potential%20evapotranspiration>), no software R (R CORE TEAM, 2022). Foram fornecidos à função os dados de temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, latitude, radiação incidente, umidade relativa, pressão atmosférica e altitude. As variáveis ausentes foram estimadas pela função com base nas variáveis fornecidas.

O início do cálculo do balanço hídrico sequencial em cada sítio se deu após a 1ª sequência de meses em que a diferença entre precipitação e a ET₀ foi positiva, e a soma acumulada dessas diferenças ultrapassaram a CAD (capacidade de água disponível). Com isso, garante-se que o balanço hídrico começou em um mês no qual o armazenamento é igual à CAD, conforme Pereira et al., (2007). Por esse motivo, foram obtidas séries climáticas desde 2010, para garantir o início do balanço hídrico sequencial até o 1º mês do ano de plantio da 1ª rotação (2012).

As variáveis: Negativo Acumulado (NEG.ACUM), Armazenamento (ARM), Alteração (ALT), Evapotranspiração Real (ETR), *Déficit* (DEF) e Excedente (EXC) foram calculadas de acordo com o roteiro proposto por Pereira et al., (2007) no item 13.2.

3.8 AVALIAÇÕES DE CAMPO

3.8.1 Pós-colheita

Logo após a colheita, foi feito um controle de qualidade da operação, em que foi medida a altura da cepa e atribuída uma classe de dano a ela.

O dano à cepa foi classificado em 3 níveis (Fig. 4).



Figura 4: Classes de intensidade de danos às cepas. Classe A: quando a cepa não está danificada, apresentando bom estado de sua estrutura. Classe B: quando a cepa apresenta danos apenas na casca, sem comprometer sua estrutura. Classe C: quando a cepa apresenta danos severos causados pelo processo de colheita, comprometendo regiões da casca e do lenho da cepa.

3.8.2 Biomassa de brotação

A segunda avaliação foi realizada aos 6 meses, após o corte raso, antes da desbrota, e teve como objetivo determinar a sobrevivência e estimar a biomassa de brotação de cada material genético.

Os resultados de sobrevivência foram divididos em taxa de brotação e sobrevivência absoluta. Foi definido como taxa de brotação a porcentagem de cepas remanescentes da 1ª rotação que emitiram brotos. Já a sobrevivência absoluta consiste na porcentagem de cepas que emitiram brotos em relação ao total plantado em R1.

A estimativa da biomassa de brotação foi feita por meio do ajuste de equações em função da altura total e do número de brotos de cada indivíduo. Primeiramente, foi coletado o número de brotos e a altura total de todos os indivíduos da parcela, sendo a altura total definida como a altura da base da cepa até o ponteiro do broto mais alto. Com isso, foram calculadas 4 classes de altura para cada parcela, sendo elas:

- 1) Média -2dp até média -1dp
- 2) Média -1dp até média
- 3) Média até média +1dp
- 4) Média +1dp até média +2dp

Onde dp = desvio padrão.

Foram amostrados 2 indivíduos por classe de altura, totalizando 8 por parcela. Sempre que possível os 8 indivíduos deveriam possuir número de brotos diferentes entre si, garantindo a captação da amplitude dos dados para um ajuste adequado das equações. Estes indivíduos passaram pela desbrota comum, em que um ou dois brotos principais foram mantidos e o restante foi removido. Os brotos removidos foram separados em folhas, galho e lenho, e cada compartimento teve seu peso úmido aferido em campo. Posteriormente, foi separada 1 amostra por compartimento de aproximadamente 300 gramas para secar em estufa e determinar o teor de umidade. Com isso, o teor de umidade de cada compartimento foi aplicado ao seu respectivo peso úmido total aferido em campo para a obtenção das respectivas massas secas. Para considerar a biomassa dos brotos mantidos nas cepas, foi calculada uma média de biomassa por broto removido de cada indivíduo, e essa média foi aplicada aos brotos mantidos para que estes entrassem na somatória total de biomassa de brotação de cada indivíduo.

Por fim, foi ajustada uma equação por material genético por sítio, que estima a biomassa seca de brotação dos indivíduos em função da altura total e número de

brotos (Eq. 2).

$$Bb_{ijs} = \beta_{1js}H_{ijs} + \beta_{2js}NB_{ijs} \quad (2)$$

Onde Bb_{ijs} = Biomassa de brotação do indivíduo i , do clone j no sítio s ; H_{ijs} = altura total do indivíduo i , do clone j no sítio s ; NB_{ijs} = número de brotos do indivíduo i , do clone j no sítio s ; β_{1js} e β_{2js} são os coeficientes para o clone j no sítio s .

Além dos modelos específicos para cada parcela, que tiveram como objetivo estimar com maior precisão a biomassa de cada material, foram ajustados modelos gerais de biomassa de brotação utilizando todos os dados disponíveis. Com eles, é possível obter estimativas de biomassa de brotação para qualquer material genético do gênero *Eucalyptus* contemplado neste estudo.

Esta medição foi realizada apenas nos sítios 6, 8, 13 e 22. Nos sítios que já haviam sido cortados antes do início do programa, foi medida apenas a sobrevivência aos 6 meses.

3.8.3 Inventários

Após a realização da desbrota foram feitos inventários florestais semestrais até os 24 meses, e anuais a partir desta idade. A circunferência dos fustes foi medida com fita métrica e a altura com o hipsômetro da Haglof®.

Nos sítios que ainda não atingiram a idade prevista para a amostragem destrutiva de biomassa (36 meses), a massa seca (B , em kg arv^{-1}) de lenho foi predita usando o modelo linearizado de Schumacher e Hall (1933), com um intercepto específico para cada clone ajustado por Mattos (2015) (Eq. 3).

$$\ln B_j = \beta_0j + 1.8534 \ln(DAP) + 1.1414 \ln(H) \quad (3)$$

Onde B_j é a massa seca de lenho em kg arv^{-1} do clone j , β_0j é o intercepto específico do clone j , DAP é o diâmetro a altura do peito em centímetros, e H é a altura total da árvore em metros.

Devido às diferenças de idade entre os sítios, foi gerado um índice de crescimento que representasse o ranqueamento dos clones em cada sítio e permitisse a comparação entre eles mesmo com idades diferentes. Foi definido como índice de crescimento um valor que pode variar de 0 a 1, onde 1 representa a produtividade da parcela mais produtiva do sítio, e 0 representa uma parcela com 100% de mortalidade. Dessa forma, os índices das demais parcelas são definidos pela divisão da sua

produtividade pela produtividade da parcela mais produtiva do sítio (Eq. 4). Sendo assim, este índice representa a posição de um material genético em relação ao material mais produtivo do sítio, permitindo a comparação entre os materiais independentemente da idade de medição.

$$IC_{js} = \frac{P_{js}}{Pmax_s} \quad (4)$$

Onde IC_{js} é o índice de crescimento do clone j no sítio s , P_{js} é a produtividade do clone j no sítio s , e $Pmax_s$ é a produtividade máxima (produtividade do clone mais produtivo) do sítio s .

Para comparar a uniformidade das parcelas, foi utilizado o índice PV50 proposto por Hakamada (2012), que consiste na porcentagem da biomassa total presente em 50% das menores árvores da parcela, incluindo as falhas de plantio.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para compreender o comportamento das variáveis analisadas foram realizadas análises descritivas e exploratórias, utilizando visualizações gráficas, medidas de dispersão e de posição.

Para atender ao objetivo geral de comparar o potencial de brotação e crescimento inicial dos materiais genéticos, foram gerados rankings descritivos com os resultados de taxa e biomassa de brotação, e biomassa de lenho aos 12 meses, agrupados por clone e por grupos de materiais (tropicais e subtropicais);

Para responder as perguntas dos objetivos específicos, as relações entre as variáveis climáticas e espaçamento no crescimento das árvores, bem como a relação entre crescimento em 1ª e 2ª rotação foram verificadas por meio de análises de correlação, regressão e análises gráficas. Para o espaçamento, também foram ajustadas equações específicas para cada clone, sítio e idade de medição, que estimam a biomassa por hectare e biomassa média em função da densidade de plantio. No nível do indivíduo, as correlações entre índice de crescimento final da R1 e inicial da R2, DAP final da R1 e número de brotos da R2, foram realizadas individualmente para cada parcela. Sendo assim, foi criada uma tabela com os valores de correlação de Pearson e valor-p para cada correlação.

Todas as análises foram feitas no software R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DOS SÍTIOS

A sumarização das variáveis climáticas de cada sítio em R1 e R2 pode ser verificada nas tabelas 7 e 8, respectivamente.

O sítio experimental com menor *déficit* hídrico acumulado desde o plantio foi o sítio 22, localizado no município de Telêmaco Borba – PR. Por outro lado, o sítio 35, localizado em Natal – RN, foi o sítio com maior *déficit* acumulado de 2012 a 2022, acumulando neste período mais de 25 vezes o valor do sítio 22 (Fig. 5).

Ao comparar o clima da R1 com o da R2 até o momento, verifica-se que em quase todos os sítios o clima do início da R2 está mais chuvoso e mais frio do que a média da R1. Os sítios 13 e 20 são os únicos nos quais a precipitação caiu de uma rotação para outra, e o sítio 13 é o único que além de mais seco também está mais quente (Fig. 6).

Por fim, pode-se verificar que os sítios 35, 17 e 13 foram os que mais sofreram *déficit* hídrico no 1º ano da 2ª rotação, acumulando respectivamente 1255 mm, 991 mm e 852 mm (Fig.7).

Tabela 7: Resumo das variáveis climáticas de cada sítio na 1ª rotação

Sítio	PPT Acumulada mm	PPT Média* mm/ano	Temp Máxima °C	Temp Mínima °C	Temp Média °C	DEF mm	GD °C	Idade meses
6	14442,4	1598,5	31,0	9,9	20,0	975,2	33524,5	110
8	10017,2	1139,2	33,1	19,0	25,5	5137,6	51636,2	108
13	10224,2	1150,1	34,6	15,1	25,1	5249,4	51796,7	112
17	7440,0	875,4	33,2	15,7	24,2	7804,4	42914,6	98
20	7315,8	1233,4	31,5	13,4	22,4	1905,7	32127,4	69
22	13785,4	1534,7	29,1	11,9	20,9	347,8	36795,9	112
33	12286,5	1456,7	29,6	12,4	20,7	293,9	33610,2	103
35	7989,8	1078,3	32,8	20,6	26,5	7737,1	45540,9	90

*Média anual desconsiderando os anos incompletos (plantio e colheita). DEF = *Déficit* hídrico acumulado, e GD = Graus dia acumulado.

Tabela 8: Resumo das variáveis climáticas de cada sítio na 2ª rotação

Sítio	PPT Acumulada mm	PPT Média* mm/ano	Temp Máxima °C	Temp Mínima °C	Temp Média °C	DEF mm	GD °C	Idade meses
6	2715,6	2140,8	29,5	9,0	18,7	224,0	5299,2	18
8	2094,2	1359,9	32,7	18,9	25,2	375,6	8353,8	17
13	1219,4	906,1	36,8	16,8	26,8	952,6	7717,2	15
17	2506,1	1060,7	32,7	15,0	23,6	2529,0	13294,0	31
20	3749,4	1066,0	32,2	12,4	22,4	1841,6	16557,6	43
22	2217,2	1627,3	29,3	10,1	20,2	83,5	5850,6	18
33	3548,2	1565,5	30,5	11,1	20,5	184,6	9538,2	29
35	2148,5	1387,3	33,0	20,4	26,6	1549,8	11500,7	22

*Média anual desconsiderando o ano da colheita

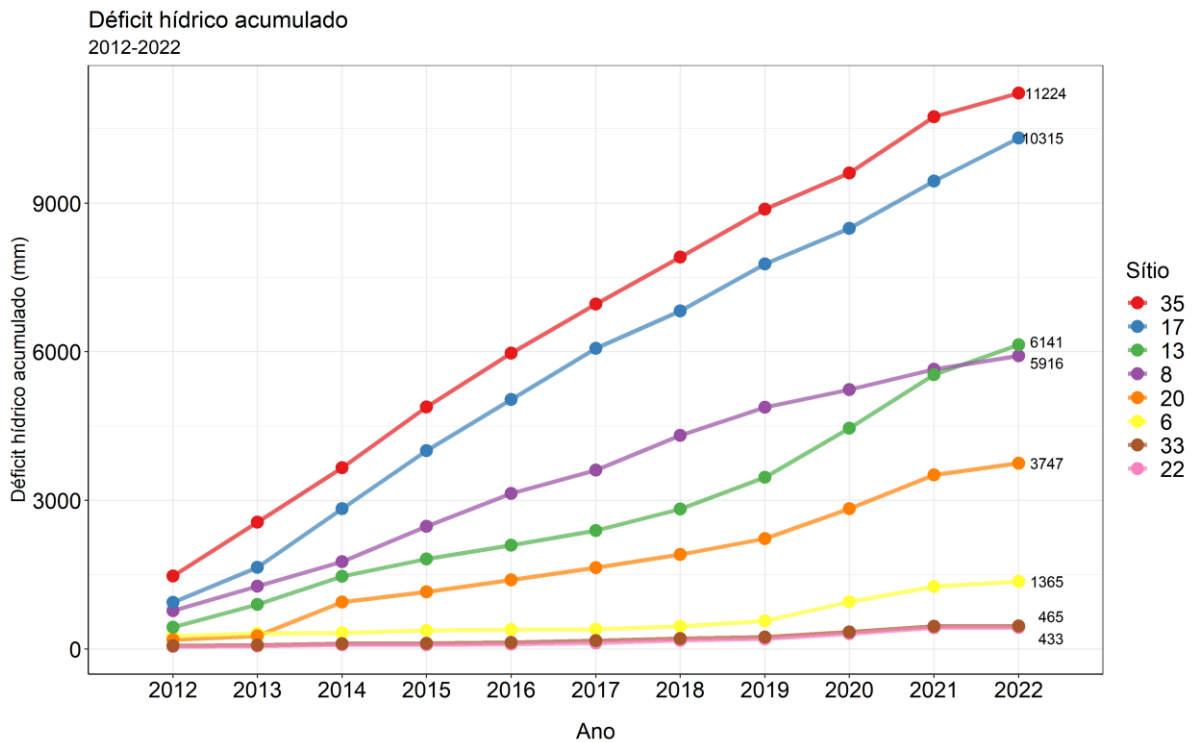


Figura 5: Déficit hídrico acumulado de 2012 a 2022 por sítio experimental do programa PCoppice.

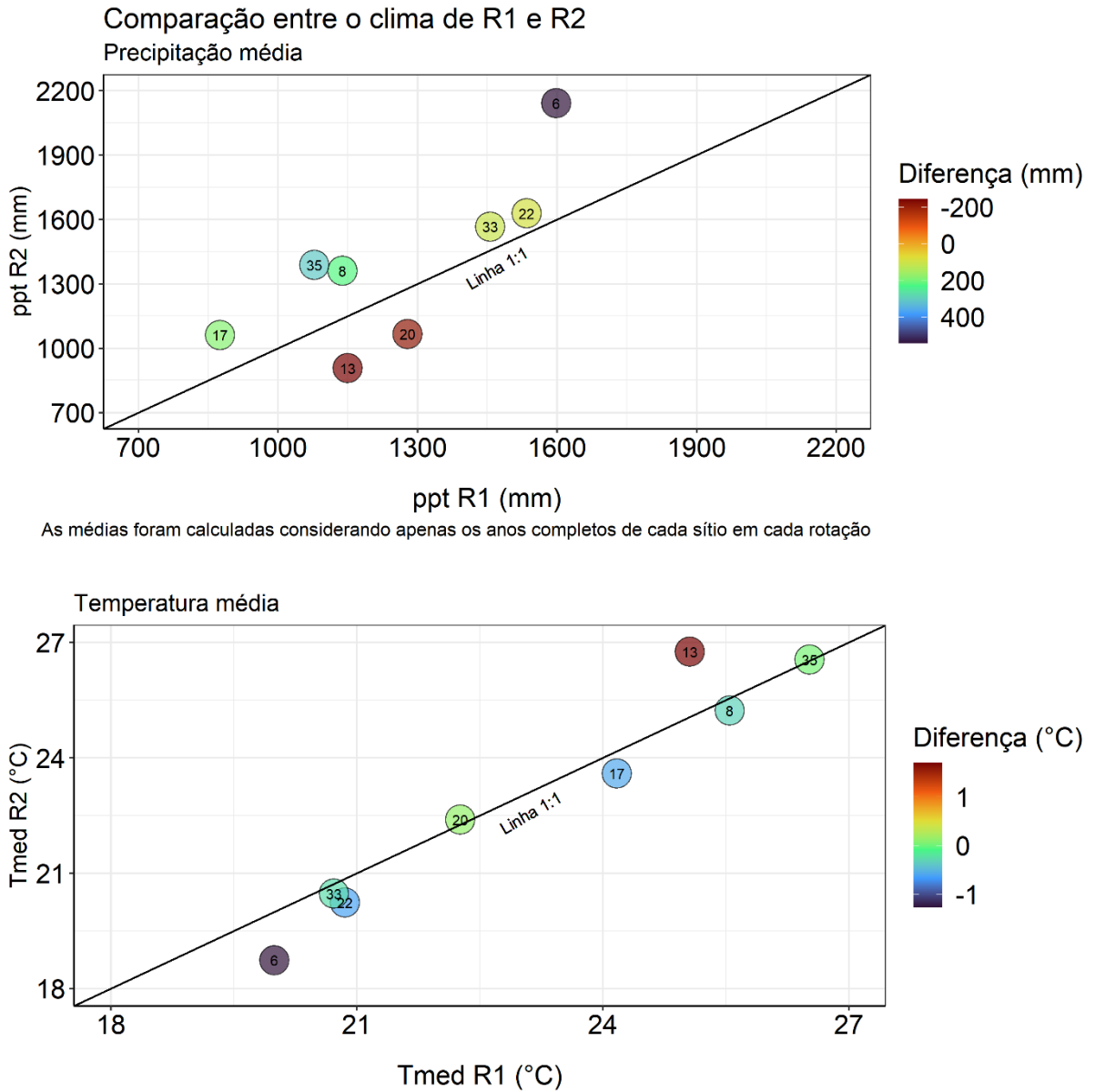


Figura 6: Comparação entre precipitação anual média e temperatura média entre a 1ª e a 2ª rotação em cada sítio. Os anos incompletos de cada rotação (ano de plantio e colheita) foram descartados do cálculo das médias de precipitação anual.

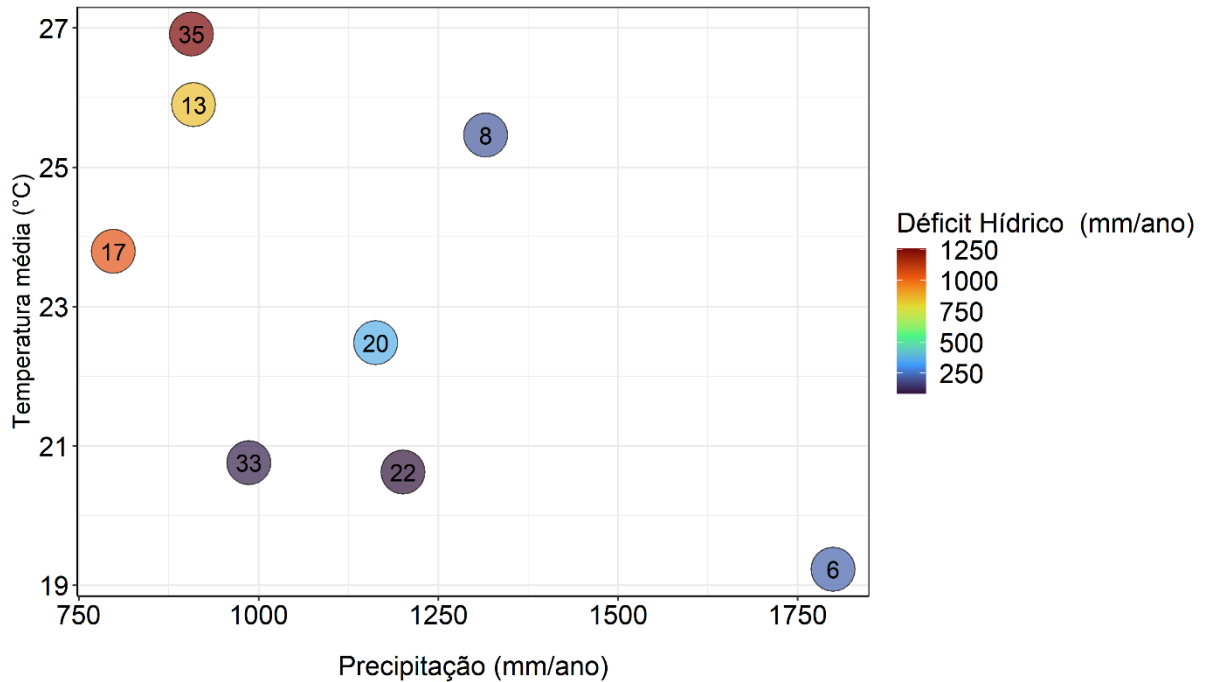


Figura 7: Precipitação, temperatura média e *déficit* hídrico do 1º ano da 2ª rotação nos sítios do PCoppice.

4.2 DANOS ÀS CEPAS CAUSADOS PELA COLHEITA

Os sítios 6 e 13 apresentaram as maiores proporções de danos às cepas, enquanto o sítio 22 foi aquele onde a colheita causou menos danos (Fig. 8).

Nos testes de espaçamento, a linha com maior ocorrência da classe de dano C foi a de maior densidade de plantio ($13.333 \text{ árvores ha}^{-1}$). Por outro lado, a linha com maior ocorrência da classe de dano A foi a de densidade $1.515 \text{ árvores ha}^{-1}$, bem próxima da densidade de plantio mais comum nos plantios de *Eucalyptus spp* (Fig. 8).

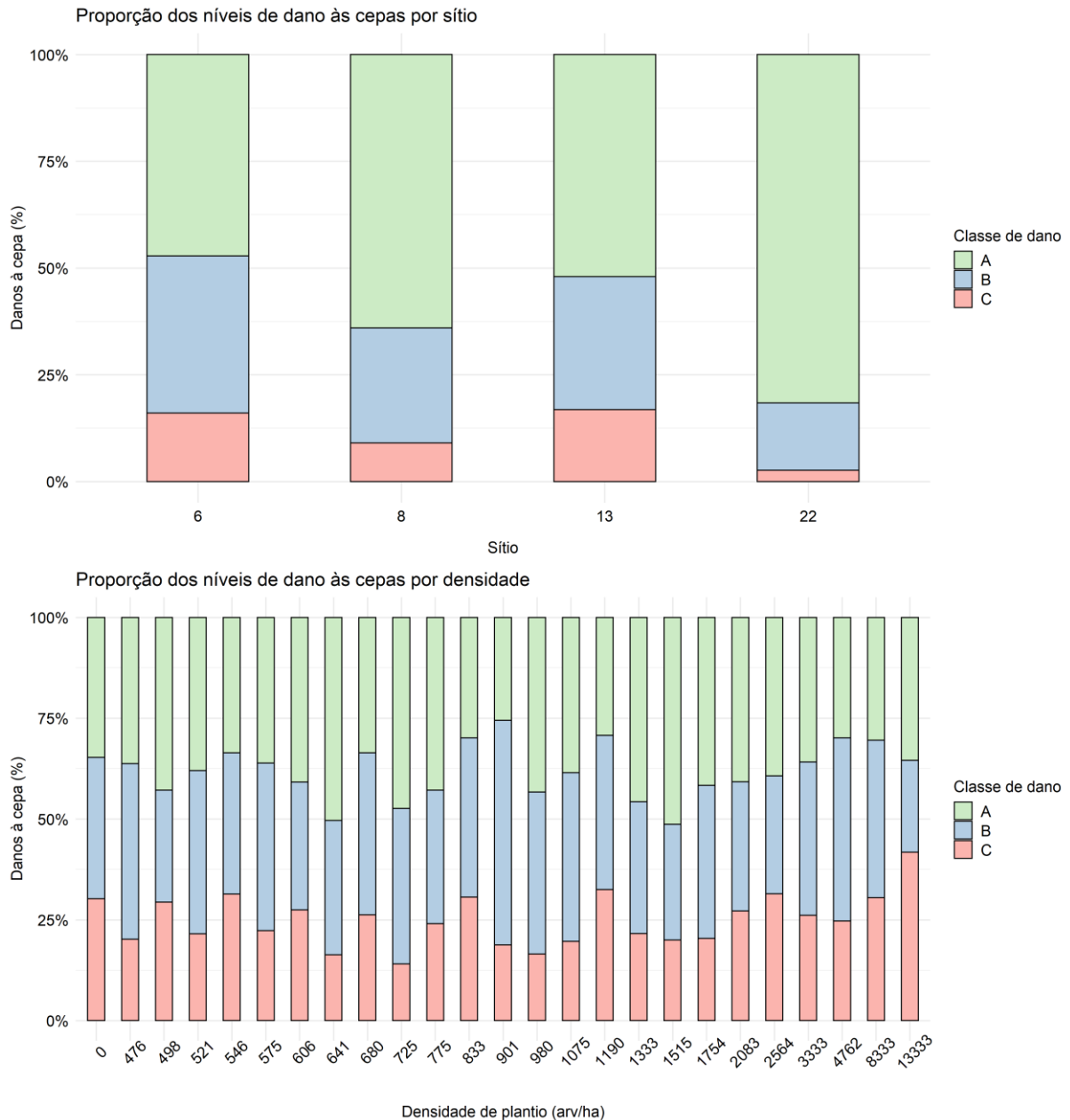


Figura 8: Proporções dos níveis de danos às cepas observados nos testes clonais de cada sítio (acima), e nos testes de espaçamento agrupados (abaixo). Nível de dano A representa uma cepa sem danos, nível B representa uma cepa com poucos danos na casca, e nível C representa uma cepa com danos severos na casca e no lenho.

Segundo Spinelli et al. (2017), um dos principais obstáculos na introdução da colheita mecanizada em áreas de talhadia é a prevenção de danos às cepas. Souza et al. (2016) afirmam que o nível de dano à cepa afeta significativamente a sua emissão de brotos. Em seu estudo, 95% das cepas com classe de dano 0 emitiram brotações, contra 83% de taxa de brotação das cepas com classe de dano 4.

Hakamada et al., (2015) e Souza et al., (2016) afirmam que a colheita feita em época seca pode reduzir o risco de danos às cepas e aumentar a taxa de brotação.

Dos 4 sítios envolvidos nesta análise, apenas o sítio 13 colheu no início da época chuvosa (setembro). Os demais sítios colheram entre o fim do outono e começo do inverno.

Outro fator importante que afeta diretamente o nível de danos às cepas é o método de colheita. Sistemas mecanizados tendem a causar mais danos às cepas do que sistemas semimecanizados ou manuais (Seixas, 1997; Hakamada et al., 2022). Comparando os dois tipos de maquinários utilizados nos 4 sítios, Seixas (1997) observou que o uso do Fellerbuncher resultou em danos mais severos que o uso do Harvester. Entretanto, alguns estudos não encontraram diferenças significativas entre os métodos de colheita na mortalidade e produtividade final da rotação (Souza et al., 2016; Schwegman et al., 2018). Schwegman et al. (2018) ainda afirmam que componentes específicos dentro de cada sistema de colheita podem ter mais impacto do que o sistema de colheita em si. Seixas (1997) afirma que a experiência do operador é determinante na qualidade da operação, podendo aumentar ou diminuir o nível de dano independentemente do sistema utilizado.

Portanto, nem a época e nem o sistema de colheita afetaram os níveis de danos às cepas encontrados nos 4 sítios que fizeram esta medição, indicando que as diferenças entre os sítios se devem à fatores operacionais. Sendo assim, é fundamental que haja um treinamento da equipe e definição de estratégias operacionais para minimizar os danos às cepas. Neste trabalho, o sítio que apresentou as menores proporções das classes de danos mais severos foi justamente o sítio que utiliza o sistema Fellerbuncher + Skidder, corroborando com as afirmações de Seixas (1997) e Schwegman et al. (2018).

4.3 MODELOS GERAIS DE BIOMASSA DE BROTAÇÃO

Foram ajustadas duas equações gerais (considerando todos os materiais genéticos juntos) que permitem estimar a biomassa de brotação em kg MS indivíduo⁻¹, uma apenas em função da altura total, e outra em função da altura total e número de brotos (Tab. 9). O modelo com as duas variáveis apresentou resultados ligeiramente melhores que o modelo apenas com altura total. Entretanto, devido à dificuldade operacional de obtenção da variável número de brotos e à pequena diferença de ajuste entre as duas equações, aquela com apenas altura total possui maior utilidade prática.

Tabela 9: Modelos, coeficientes ajustados e parâmetros das equações de predição de biomassa de brotação em função da altura e número de brotos.

Modelo	B0	B1	B2	R ² ajustado	SQ resíduos	AIC	Valor p
$y = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 n_{\text{brotos}}$	-3,87741	1,99842	0,10642	0,6291	1464,06	1230,674	< 0,001
$y = \beta_0 + \beta_1 h$	-2,54174	1,94943	-	0,6056	1562,9	1246,310	< 0,001

Onde y = biomassa de brotação em kg MS ha⁻¹, h = altura total do indivíduo e n_brotos = número de brotos da cepa.

4.4 RELAÇÃO ENTRE NÚMERO DE BROTOS, ALTURA, E VIGOR DE BROTAÇÃO

O vigor de brotação é a combinação entre o número e a altura dos brotos (GRAÇA; TOTH, 1990). Foi calculada a média de altura entre as cepas com o mesmo número de brotos, a fim de verificar se o aumento no número de brotos surte algum efeito sobre a altura da brotação. Pode-se concluir que até um certo limite (aproximadamente 10 brotos para os sítios 6 e 13, e em torno de 15 brotos para o sítio 8), o aumento no número de brotos é acompanhado pelo aumento da altura e representa um aumento no vigor de brotação (Fig. 9). Sbardella (2021) também encontrou correlações positivas entre número e altura dos brotos, entretanto o número médio de brotos observado pela autora foi bem abaixo dos valores encontrados neste trabalho. Ao observar cepas com muitos brotos foi possível detectar que a partir deste limite (10 a 15 brotos), o aumento do número de brotos está associado a menores alturas, indicando que a competição entre os brotos resulta em redução do crescimento individual. Este resultado corrobora com a definição de Reis e Reis (1997) de que cada broto se comporta como uma planta isolada, e que sendo assim, um elevado número de brotos na cepa resultará em maior pressão sobre os recursos e competição entre eles. Desta forma, estes resultados traçam o limite para cada sítio entre as definições de Graça e Toth (1990) e Reis e Reis (1997) sobre as interações entre número, altura e vigor de brotação.

Da mesma forma que para o trabalho de Sbardella (2021), para o sítio 22 não foi possível identificar o ponto de inflexão da curva, pois não foram obtidos valores de número de brotos altos o suficiente.

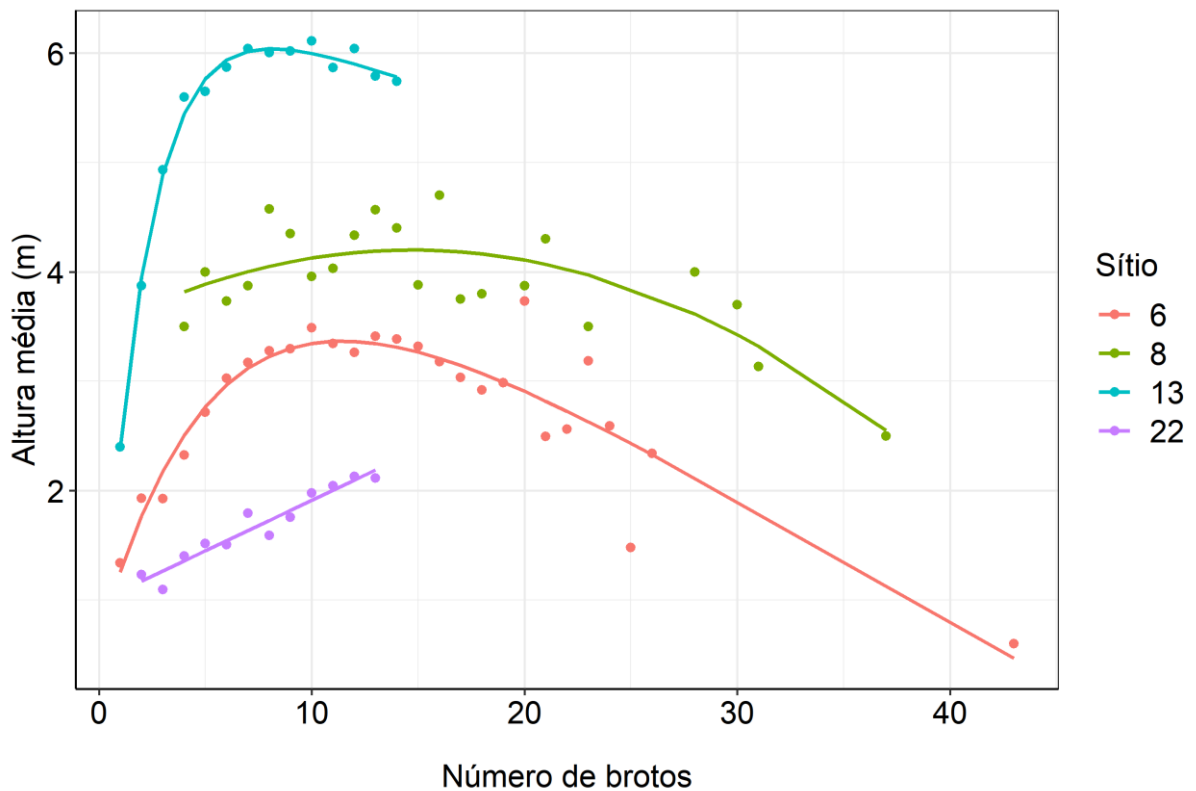


Figura 9: Relação entre número de brotos e altura média da brotação nos sítios 6, 8, 13 e 22.

4.5 TAXA DE BROTAÇÃO, BIOMASSA DE BROTAÇÃO E BIOMASSA DE LENHO

A maioria dos materiais apresentou taxa de brotação média acima de 80%. Isso significa que, em 15 dos 17 materiais testados mais de 80% das cepas remanescentes da R1 brotaram na R2. Os 2 materiais que apresentaram valores abaixo de 80% são das espécies: *E. grandis* (63,6%) e *E. urophylla* x *E. globulus* (29,3%) (Fig. 10). Higa e Sturion (1991) obtiveram valores semelhantes de taxa de brotação em materiais seminais de *Eucalyptus spp.* plantados em Uberaba - MG, onde 9 das 13 espécies testadas apresentaram mais de 80% de cepas com brotação. Outros autores também obtiveram valores semelhantes para as espécies subtropicais *E. benthamii* (87,3%) (GRAÇA et al., 1999), *E. saligna* (93%) (Sbardella, 2021), e *E. dunnii* (94,3%) (GRAÇA; TOTH, 1990).

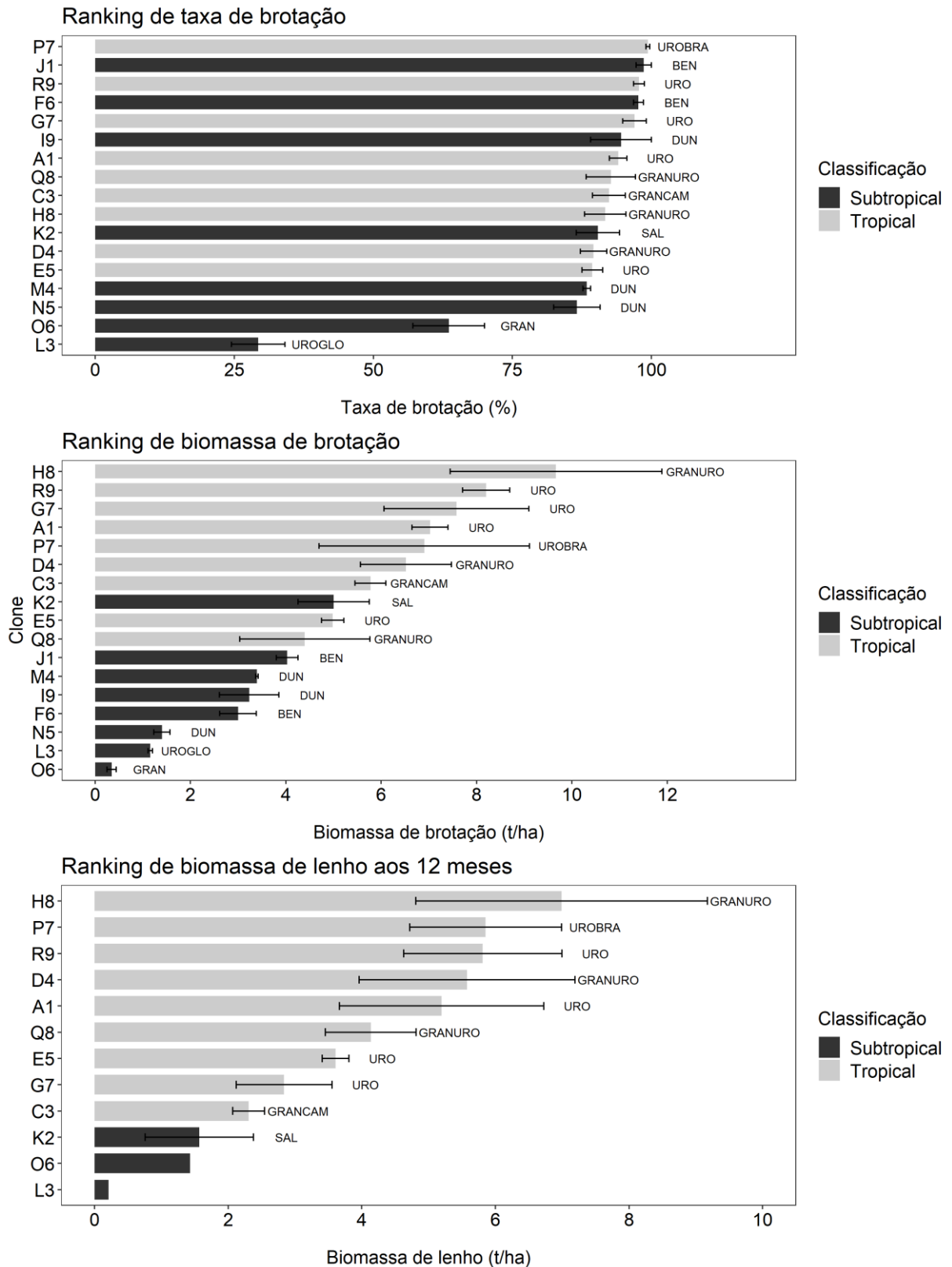


Figura 10: Rankings com as médias de taxa biomassa de brotação medidas aos 6 meses e biomassa de lenho medida aos 12 meses, de 17 materiais de *Eucalyptus spp.* plantados nos sítios do programa PCoppice. Os clones O6 e L3 não possuem barras de erro padrão da média pois possuem apenas uma parcela medida.

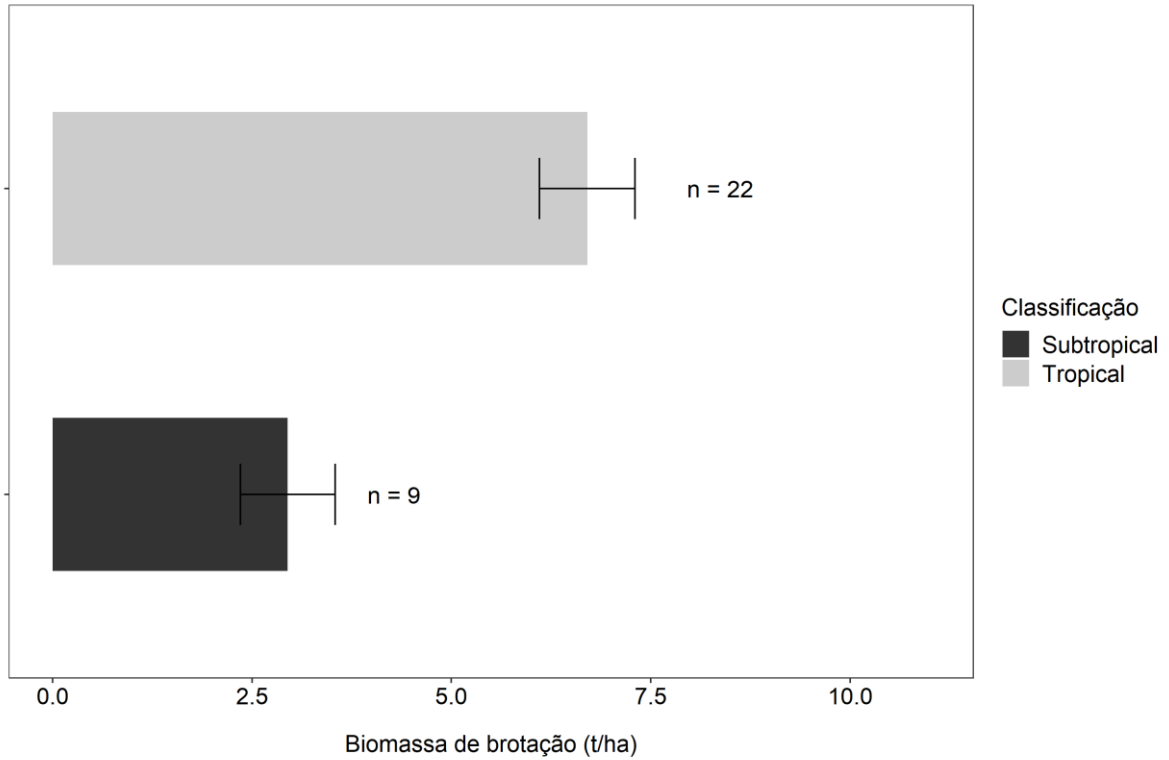
Segundo Blake (1983) a capacidade de rebrota da maioria das espécies de *Eucalyptus* é alta, com destaque para aquelas que possuem lignotúber. *E. urophylla*, *E. saligna* e *E. camaldulensis* são exemplos de espécies de *Eucalyptus* que possuem lignotúber (Ferreira, 1992), o que explica as boas taxas de brotação dos materiais destas espécies neste trabalho. Já o *E. grandis* não possui lignotúber, porém a espécie apresenta uma capacidade razoável de rebrota, o que justifica seu desempenho razoável quando puro (HIGA E STURION, 1991; SBARDELLA, 2021) e superior quando hibridado com espécies como *E. urophylla* e *E. camaldulensis* (SBARDELLA, 2021).

Observando os rankings de biomassa de brotação aos 6 meses e biomassa de lenho aos 12 meses, percebe-se uma diferença maior entre os materiais em relação àquela encontrada na taxa de brotação. Apesar de terem apresentado taxas de brotação semelhantes, materiais tropicais, principalmente aqueles com *E. urophylla* em sua genética, emitiram maior biomassa de brotação e de lenho que os materiais subtropicais (Fig. 10). Por sua vez, os materiais subtropicais permaneceram nas posições mais baixas do ranking com valores de biomassa de brotação inferiores a 5 toneladas de matéria seca por hectare (Fig. 10). Não foi encontrado na literatura nenhum trabalho que estimasse e comparasse a biomassa de brotação de diferentes materiais por meio de amostragens destrutivas. Little e Gardner (2003) utilizaram um índice de biomassa para comparar o potencial de brotação de 20 espécies subtropicais de *Eucalyptus*, incluindo algumas espécies presentes neste trabalho como *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. saligna*, em 2 sítios diferentes. Como o índice de biomassa dos autores é calculado por meio de uma equação generalista para todas as espécies, sem amostragens destrutivas e apresentado em m³, não é possível comparar os valores absolutos. Entretanto, em um dos sítios os autores reportaram que o *E. saligna* apresentou resultados superiores de índice de biomassa em relação ao *E. benthamii* e *E. dunnii*, corroborando com os resultados deste trabalho.

Por fim, fica evidente que os materiais classificados como tropicais foram superiores aos subtropicais em relação à biomassa de brotação e de lenho. Em média,

os materiais tropicais apresentaram biomassa de brotação aos 6 meses 131% maior que os materiais subtropicais. Para a biomassa de lenho esta diferença foi ainda maior, sendo a biomassa de lenho dos materiais tropicais quase 5 vezes maior que a dos subtropicais (Fig. 11).

Ranking de biomassa de brotação



Ranking de biomassa de lenho aos 12 meses

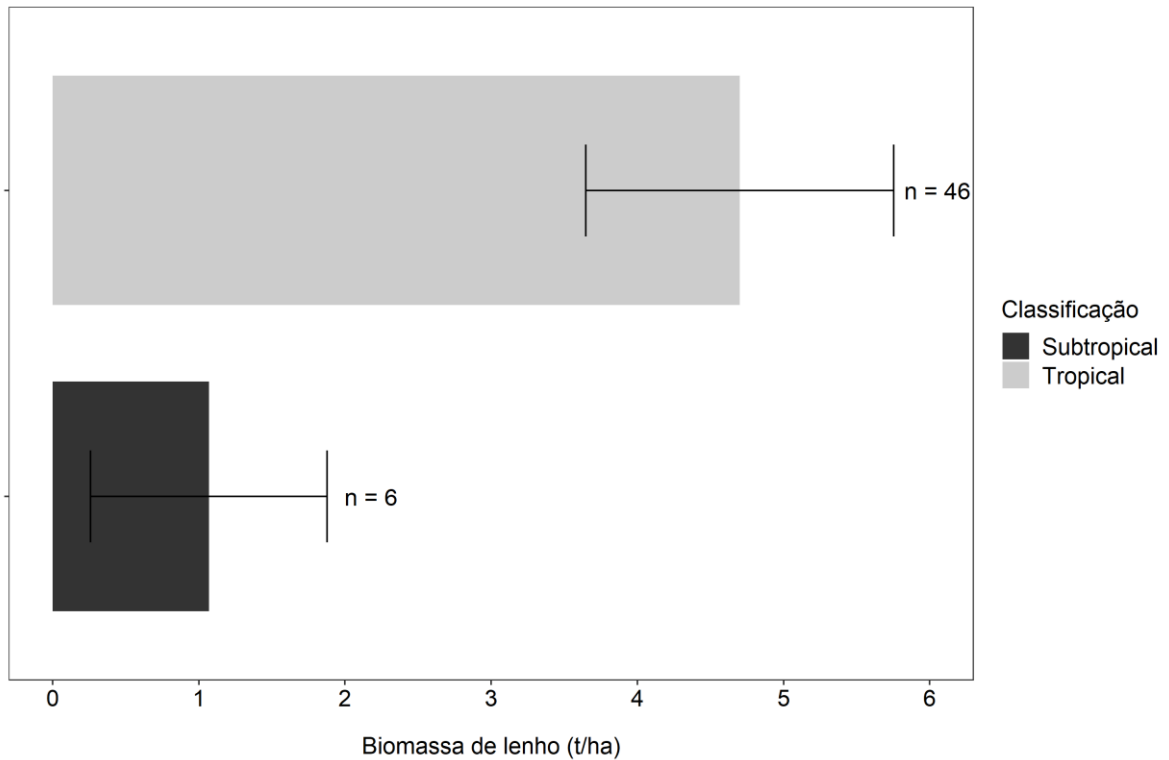


Figura 11: Médias de biomassa de brotação aos 6 meses e biomassa de lenho aos 12 meses dos clones classificados como tropicais e subtropicais, onde n representa o número de parcelas disponíveis de cada tipo. A barra de erro indica o erro padrão da média.

Uma das hipóteses que explica a diferença de emissão de brotos e crescimento inicial entre os materiais tropicais e subtropicais tem como ponto principal a alocação de carbono durante a R1. Segundo Campoe et al. (2020), a alocação de carbono para a parte aérea e parte subterrânea de 5 materiais do TECHS no fim da R1 seguiu padrões consistentes com a região onde foram desenvolvidos. O clone P7, por exemplo, desenvolvido em regiões com altas temperaturas e *déficit* hídrico, aloca mais carbono para as raízes do que clones subtropicais, desenvolvidos em regiões de baixas temperaturas e alta pluviosidade. Além disso, segundo os mesmos autores, nos sítios com maior *déficit* hídrico os materiais alocaram mais carbono para as raízes do que nos sítios com maior pluviosidade e temperaturas mais amenas. Barton e Montagu (2006) verificaram um efeito significativo da irrigação na proporção da biomassa de raízes em relação à biomassa da parte aérea em indivíduos de *E. camaldulensis*. Nos tratamentos irrigados, a proporção entre biomassa de raízes e parte aérea foi aproximadamente metade dos tratamentos não irrigados. Portanto, pode-se concluir que materiais desenvolvidos em regiões com *déficit* hídrico ou submetidos a essas condições durante seu crescimento, tendem a alocar mais carbono para o sistema radicular em detrimento da produção de lenho.

Segundo Bond e Midgley, (2001), alguns estudos avaliaram os padrões de alocação de carbono em espécies com e sem capacidade de brotação (PATE et al., 1990; BOWEN; PATE, 1993; BELL et al., 1996; BELL; OJEDA, 1999), e concluíram que espécies com essa capacidade tendem a possuir em torno de 5 vezes mais carboidratos nas raízes do que as que não rebrotam. Como consequência desta estratégia, estas espécies tendem a produzir menor biomassa na parte aérea e apresentarem menores taxas de crescimento. Palacio et al. (2007) confirmaram esta tendência, indicando que a alocação de carbono para as raízes está diretamente relacionada à capacidade de brotação.

Portanto, seguindo a lógica dos resultados expostos acima, o clone P7 foi o menos produtivo na 1ª rotação nos sítios considerados neste trabalho, com um IMA médio de $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Sua baixa produtividade é reflexo da sua maior alocação de carbono para o sistema radicular, o que confere ao material maior tolerância à seca

(CAMPOE et al., 2020). Como consequência, este material chega à 2ª rotação com mais carboidratos disponíveis para a emissão de brotos. Isso faz com que no início da 2ª rotação, o clone P7 seja o material com maior taxa de brotação, o 5º com maior biomassa de brotação aos 6 meses e o 2º clone mais produtivo aos 12 meses.

4.6 RELAÇÕES ENTRE CLIMA, BROTAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL

Como discutido nos itens anteriores, os resultados deste trabalho sugerem que genótipos que alocam mais carbono para o sistema radicular possuem maior vigor de brotação e crescimento inicial mais acelerado em R2. Da mesma forma, sítios que sofreram mais estresses hídrico e térmico durante R1 estão apresentando os melhores resultados iniciais em R2, indicando que o clima da 1ª rotação afeta diretamente o crescimento inicial da R2. Neste item, serão discutidas as relações de variáveis climáticas da R1 e R2 com a produtividade média dos sítios medidos aos 6 e 12 meses.

Tanto a altura média aos 6 meses quanto a biomassa de lenho aos 12 meses se correlacionam positivamente com as variáveis que indicam estresses hídrico e térmico em R1. As duas variáveis possuem alta correlação negativa com a precipitação da R1 (-0,77 e -0,91, respectivamente), indicando que os sítios mais secos em R1 estão com melhor desempenho em R2 (Fig. 12).

Figura 12: Matrizes de correlação entre altura média da brotação aos 6 meses (acima), biomassa de lenho aos 12 meses (abaixo) e as variáveis climáticas da R1 e R2, acumuladas até a data da respectiva medição.

Hmed = altura média da brotação aos 6 meses, biomassa = biomassa de lenho aos 12 meses, ppt = precipitação acumulada, tmax = temperatura máxima, tmin = temperatura mínima, tmed = temperatura média, def = *déficit* hídrico acumulado, gd = graus dia acumulado. As variáveis com R1 se referem à 1ª rotação, e R2 à 2ª rotação.

Aos 6 meses ainda havia uma forte relação positiva entre altura da brotação e *déficit* hídrico da 2ª rotação (Fig. 13). Porém, aos 12 meses essa relação começa a se inverter, e a biomassa de lenho passa a obter uma correlação positiva fraca com a precipitação da R2 (0,29) e nula com o *déficit* hídrico (0,08) (Fig. 12). Dentre os 4 sítios do PCoppice medidos aos 12 meses, o sítio 8 foi o mais produtivo, seguido pelos sítios 13, 33 e 22, respectivamente (Fig. 14). Na 1ª rotação o sítio 8 foi justamente o menos produtivo, com um IMA médio de $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Uma das justificativas foi o alto *déficit* hídrico acumulado durante o período (Tab. 7), ficando atrás apenas do sítio 13. Entretanto, nos primeiros 12 meses da R2 o sítio 13 apresentou 952,5 mm de *déficit* acumulado, enquanto o sítio 8 acumulou apenas 170 mm, fazendo com que nessa idade o sítio 8 ultrapassasse o sítio 13 em produtividade, indicando que ao longo do crescimento da 2ª rotação o regime de chuvas da R2 terá cada vez mais efeito sobre a produção de lenho. Por outro lado, o sítio 33 foi um dos mais produtivos na 1ª rotação, apresentando o menor *déficit* acumulado na R1 (430 mm), e mesmo com um baixo *déficit* acumulado nos primeiros 12 meses da R2 (188 mm) apresentou uma média de biomassa de lenho aos 12 meses menor que os sítios com maior estresse hídrico.

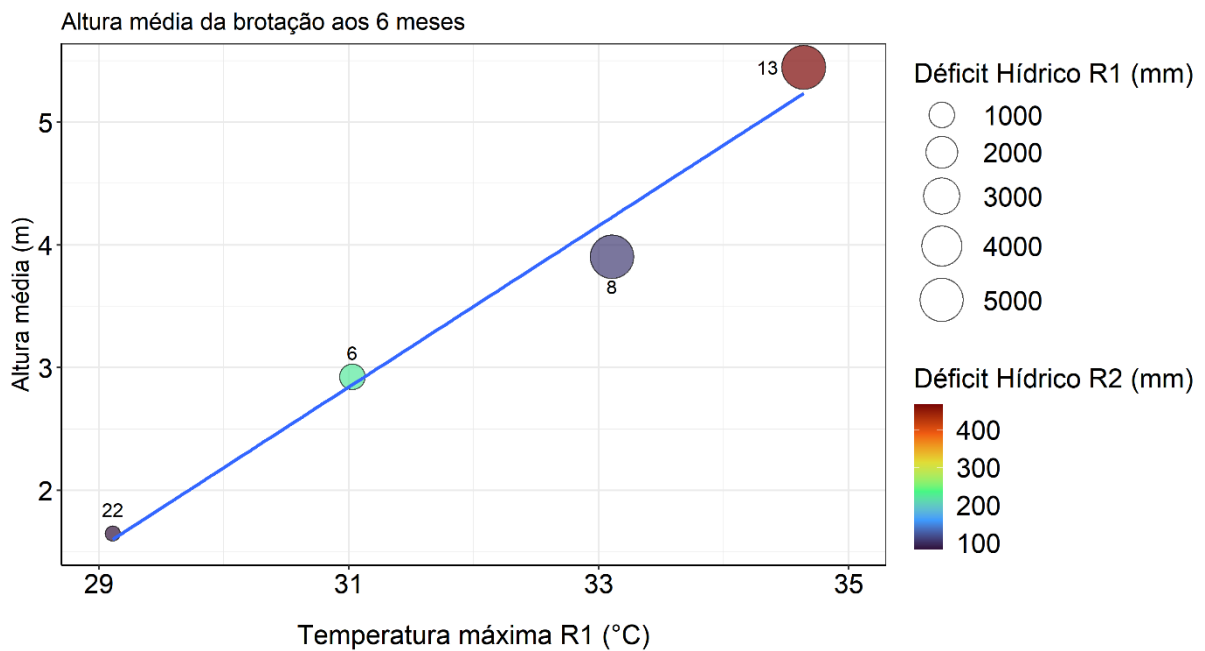


Figura 13: Relação entre altura média da brotação de clones de *Eucalyptus spp.* aos 6 meses, temperatura máxima da 1ª rotação, e *déficit* hídrico da 1ª e da 2ª rotação.

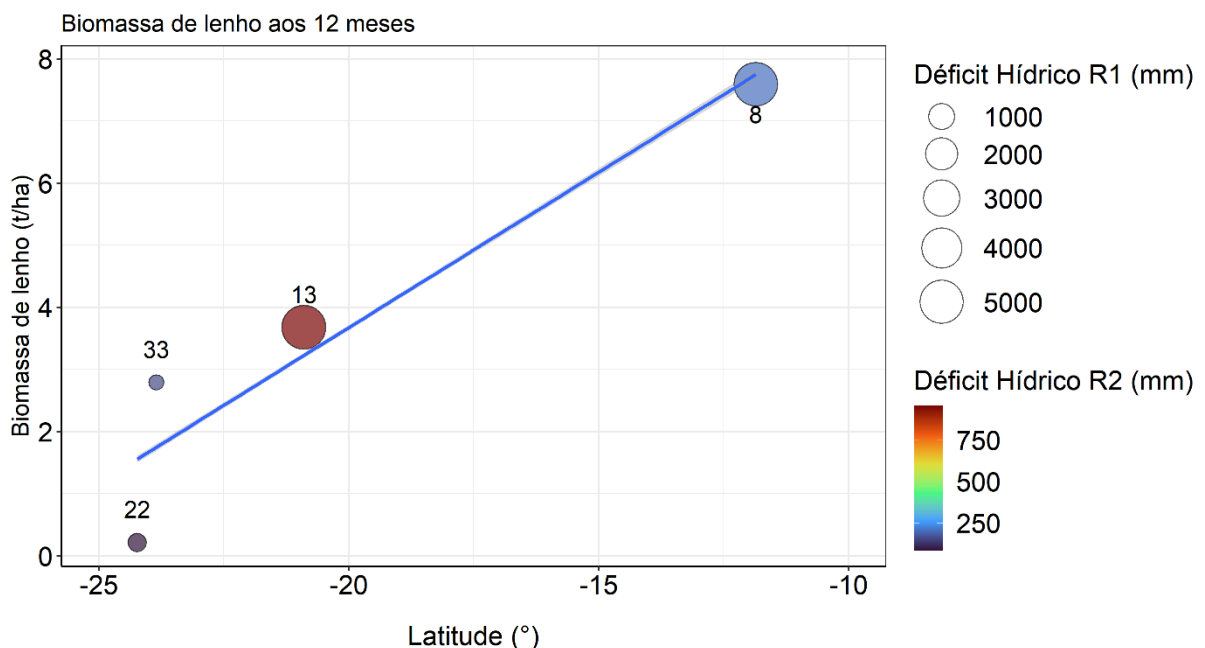


Figura 14: Relações entre biomassa de lenho de clones de *Eucalyptus spp.* aos 12 meses, latitude, e *déficit* hídrico da 1ª e da 2ª rotação.

Estes resultados corroboram com a hipótese levantada no item anterior, de que sítios que sofrem maior estresse hídrico e térmico durante a 1ª rotação favorecem a emissão de brotos e crescimento inicial dos materiais na 2ª rotação, por estimularem a alocação de carbono para as raízes durante a R1. Entretanto, como Gonçalves et

al. (2014) observaram, ao longo da 2ª rotação o clima vigente exerce maior influência sobre a produtividade.

Portanto, o crescimento inicial mais acelerado ocorreu justamente no sítio que sofreu um grande *déficit* hídrico em R1, mas que obteve um bom regime de chuvas no início da R2. Já o sítio 13, apesar de ter condições muito semelhantes às do sítio 8 em R1, teve seu crescimento inicial prejudicado pelo alto *déficit* acumulado no 1º ano da 2ª rotação. Mesmo com os altos *déficits* em R2, o sítio 13 ainda se manteve à frente dos sítios 33 e 22, o que evidencia que aos 12 meses ainda existe efeito do *trade-off* entre produção de lenho e raízes na R1 no crescimento inicial em R2.

4.7 RELAÇÕES ENTRE SOBREVIVÊNCIA, CRESCIMENTO E UNIFORMIDADE EM R1 E R2

Ao observar as relações entre sobrevivência (Fig. 15), índice de crescimento (Fig. 17), e ranqueamento dos materiais em R1 e R2 (Fig. 18), verifica-se uma tendência de que alguns dos materiais mais produtivos na R1 sejam também os mais produtivos na fase inicial de crescimento da R2. Amâncio et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes ao comparar diversos materiais de *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla* em 1ª e 2ª rotação em um programa de melhoramento genético. Os autores afirmam que em média 76% dos clones selecionados como melhores na R1 continuam sendo os melhores em R2.

Observando as relações entre sobrevivência na R1 e R2 pode-se verificar que ao agrupar os dados por clone (Fig. 15) e por sítio (Fig. 16) a tendência se mantém, porém, a inclinação da reta é bem mais intensa no nível clonal que no nível do sítio. No nível do sítio, a reta é praticamente paralela à linha 1:1, indicando que todos os sítios perderam valores muito próximos de sobrevivência da R1 para a R2. Com exceção do sítio 33, que teve sua sobrevivência reduzida em média 27,4%, os demais sítios tiveram em média 9,4% de redução na sobrevivência entre o final da R1 e o início da R2. Esta diferença de inclinação das retas entre os dados agrupados no nível clone e nível sítio indica que nos primeiros 6 meses a genética está exercendo maior influência na sobrevivência dos materiais do que as condições edafoclimáticas.

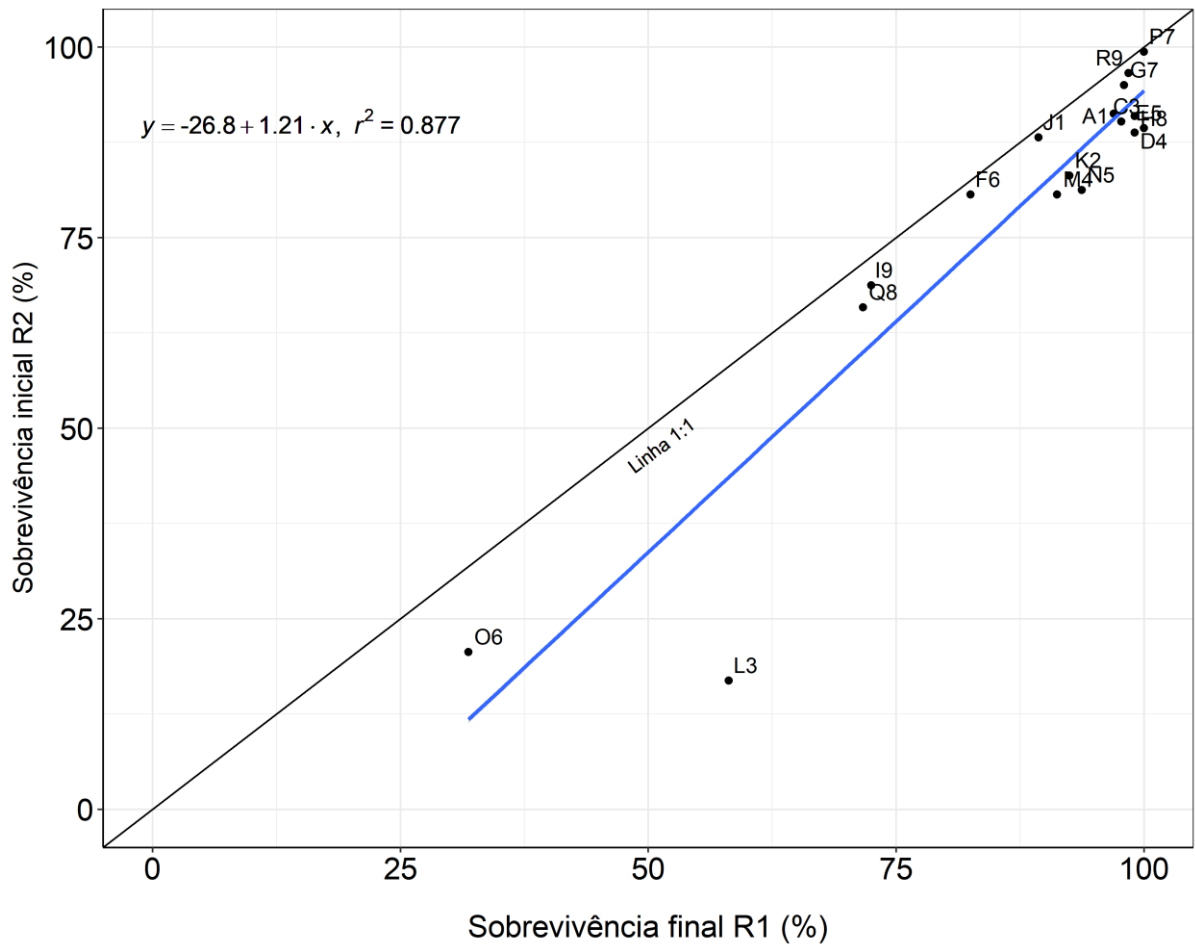


Figura 15: Relação entre sobrevivência inicial da R2 e sobrevivência final da R1 agrupadas por clone de *Eucalyptus spp.*

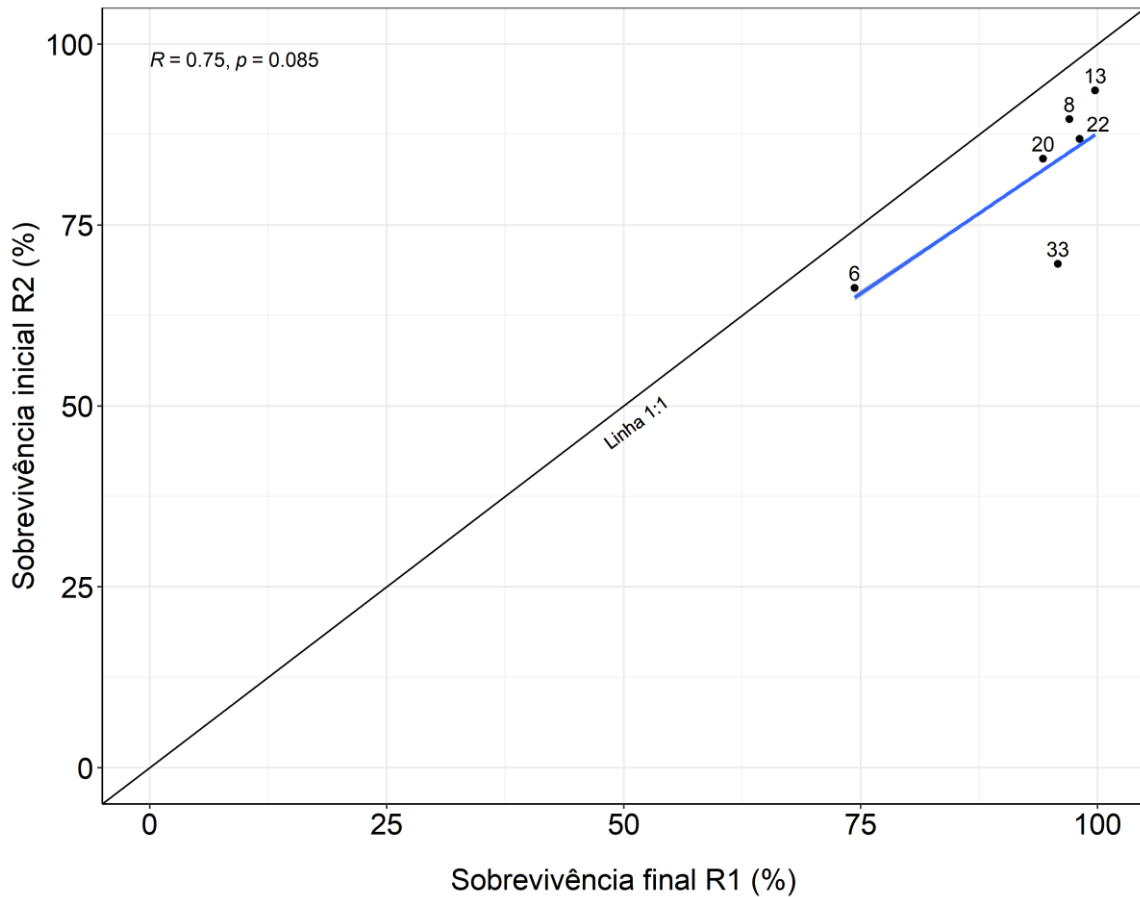


Figura 16: Correlação entre sobrevivência inicial da R2 e sobrevivência final da R1 agrupadas por sítio do programa PCoppice.

Esta relação positiva entre os resultados da R1 e R2 é mais forte na sobrevivência, determinada aos 6 meses, do que nas outras variáveis medidas em idades mais avançadas, indicando que ao longo do crescimento da 2ª rotação estas relações podem se alterar. Binkley et al. (2020) encontraram diferenças significativas no ranking da metade para o final da R1 analisando os dados do TECHS. Portanto, estes resultados devem ser analisados com cautela, sabendo que até o fim da 2ª rotação o ranqueamento dos clones e sítios podem sofrer alterações.

As relações entre os índices de crescimento dos materiais em R1 e R2 (Fig. 17) indicam uma certa estabilidade no ranqueamento dos materiais entre as duas rotações, pois 11 dos 17 materiais sofreram variações menores que 30% no seu índice de crescimento. Entretanto, alguns materiais sofreram grandes alterações no seu posicionamento da 1ª para a 2ª rotação. Dois exemplos claros são os clones P7 e N5. Enquanto o clone P7 ganhou posições no ranking em todos os sítios (Fig. 18), o clone

N5 saiu de clone mais produtivo da R1 para uma das posições mais baixas no ranking da R2 até agora. Estes dois clones podem representar os extremos dos efeitos da alocação de carbono para a raiz sobre o potencial de brotação, uma vez que o P7 foi desenvolvido em região tropical com altas temperaturas e verão seco (As) e o N5 foi desenvolvido em região subtropical com alta pluviosidade e baixa temperatura (Cfb). Outros 4 clones subtropicais acompanham o N5 no grupo de materiais que perderam mais de 30% de índice de crescimento entre as duas rotações: L3, O6, M4 e K2.

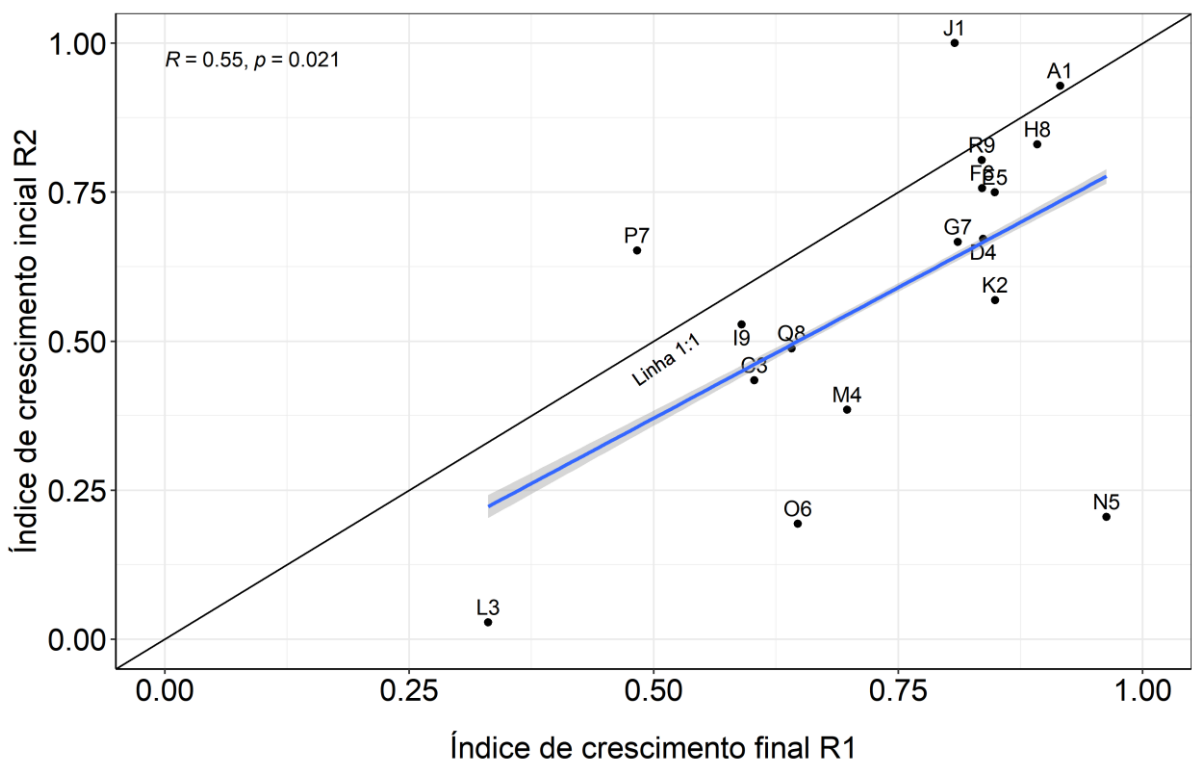


Figura 17: Correlação entre índice de crescimento inicial da R2 e índice de crescimento no final da R1.

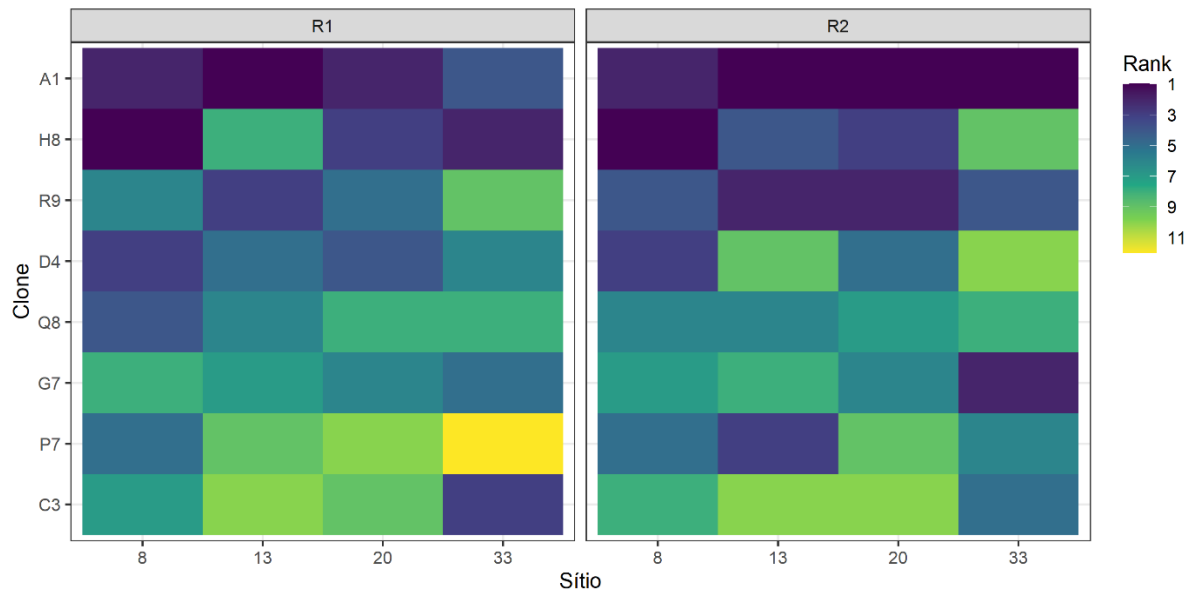


Figura 18: Comparação entre os rankings em R1 e R2 nos sítios que possuem a maior quantidade de clones em comum. O ranking considerado se refere à última medição feita em cada sítio.

Observando as relações de uniformidade em R1 e R2 em função da idade de medição (Fig. 19), pode-se verificar que existe uma correlação significativa entre as duas variáveis a um nível de significância de 5% (valor $p < 0,05$) apenas aos 12, 18 e 24 meses. A força da correlação vai diminuindo com o avanço da idade, indicando que ao longo da 2ª rotação parcelas que terminaram a R1 com alta uniformidade podem perder esta característica. Este resultado corrobora com a conclusão de Pereira Filho et al. (2020), de que um povoamento uniforme na primeira rotação não garante um povoamento uniforme na R2.

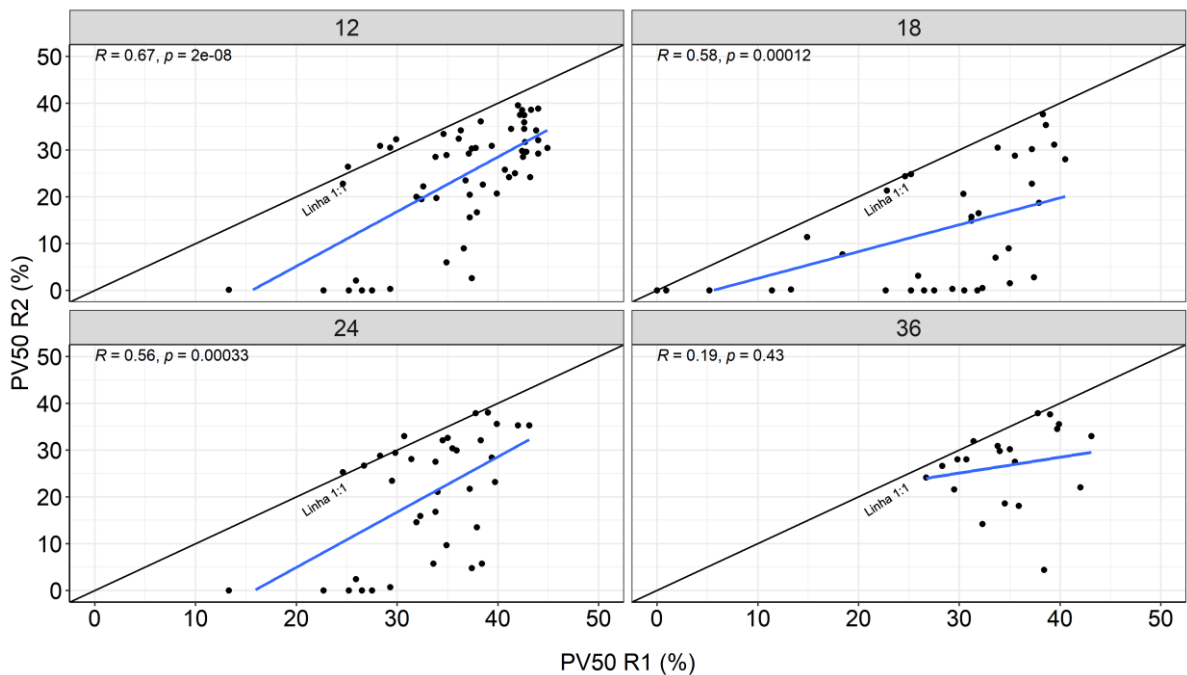


Figura 19: Correlação entre PV50 do final da R1 e PV50 da R2 em função da idade de medição.

Além das análises no nível do clone e sítio, foram realizadas correlações no nível do indivíduo para cada parcela (apêndices 1 e 2). Apenas 14 das 44 parcelas apresentaram correlação significativa entre DAP final da R1 e número de brotos, a um nível de probabilidade de 10% (valor $p < 0,1$) (Ap. 1). Destas 14, 12 apresentaram valores de correlação positivos, indicando que nelas as cepas com maior DAP tenderam a emitir mais brotos. Indivíduos maiores tendem a acumular mais reservas de carboidratos no sistema radicular, além de possuírem maior área seccional para a emissão de brotos (MROZ et al., 1985; TEIXEIRA et al., 2002). Entretanto, assim como apontado por Pereira Filho et al. (2020), fatores externos podem ter afetado a brotação das cepas com maior diâmetro, como danos da colheita por exemplo, prejudicando as correlações entre DAP e número de brotos.

Da mesma forma, observando as correlações entre índice de crescimento no nível do indivíduo no final da R1 e nas diferentes idades de medição da R2, verifica-se que cerca de 1 terço (69 de 212) das parcelas apresentaram correlações significativas a um nível de probabilidade de 10%, sendo que 25 apresentaram correlações negativas e 44 positivas (Ap. 2). As idades que mais apresentaram correlações significativas foram 6 e 12 meses, indicando que com o avanço da idade

as relações de dominância em R1 e R2 no nível do indivíduo vão se alterando dentro do povoamento. Pereira Filho et al. (2020) não encontraram correlação entre as dimensões das variáveis DAP, altura e volume individual entre a R1 e R2 em plantios de clones de *E. urophylla* x *E. grandis*. Neste trabalho, em 67% das parcelas também não houve correlação entre o crescimento dos indivíduos em R1 e R2, e nas outras 33% as correlações foram fracas ou moderadas. O autor também concluiu que árvores dominantes na R1 podem se tornar dominadas na R2, corroborando com os resultados de correlação negativos encontrados em 25 parcelas neste trabalho.

4.8 INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO NA BIOMASSA DE BROTAÇÃO E DE LENHO

Dos sítios que possuem teste de espaçamento, apenas os sítios 8, 17, 20 e 35 já foram medidos. O sítio 8 foi medido aos 6 e aos 12 meses, o sítio 17 foi medido aos 12, 18 e 24 meses, o sítio 20 aos 24 e 36 meses, e o sítio 35 foi medido uma única vez, entretanto algumas parcelas foram cortadas 6 meses antes das outras, fazendo com que um grupo de parcelas estivesse com 12 meses e o outro com 18 meses na data da medição deste sítio.

Entretanto, já é possível identificar alguns padrões que caracterizam o crescimento inicial na R2 em diferentes espaçamentos (Figs. 20, 21, 22 e 23). O aumento da densidade de plantio causou um aumento na mortalidade em praticamente todas as parcelas. No sítio 17, alguns materiais se mantiveram estáveis, e no sítio 20 o clone K2 apresentou um aumento na sobrevivência com o aumento da densidade de plantio.

Em todos os sítios, houve uma redução da biomassa individual média com o aumento da densidade de plantio na maioria dos materiais, assim como observado por Binkley et al. (2017) na 1ª rotação.

Por outro lado, quando se trata de biomassa por hectare, os materiais apresentaram comportamentos diferentes em cada sítio. No sítio 20 (Fig. 23), a maioria dos materiais apresentou um aumento na biomassa por hectare com o aumento da densidade. Isto indica que, para estes casos, a competição entre os indivíduos já está afetando o crescimento individual, porém ainda não está afetando a produtividade. Entretanto, nos sítios com maior *déficit* hídrico (8, 17 e 35) muitos materiais sofreram quedas ou estabilidade na produtividade dos espaçamentos mais

adensados, indicando que a competição pelos recursos, principalmente água, está agindo de forma mais intensa nesses locais (Figs. 20, 21 e 22).

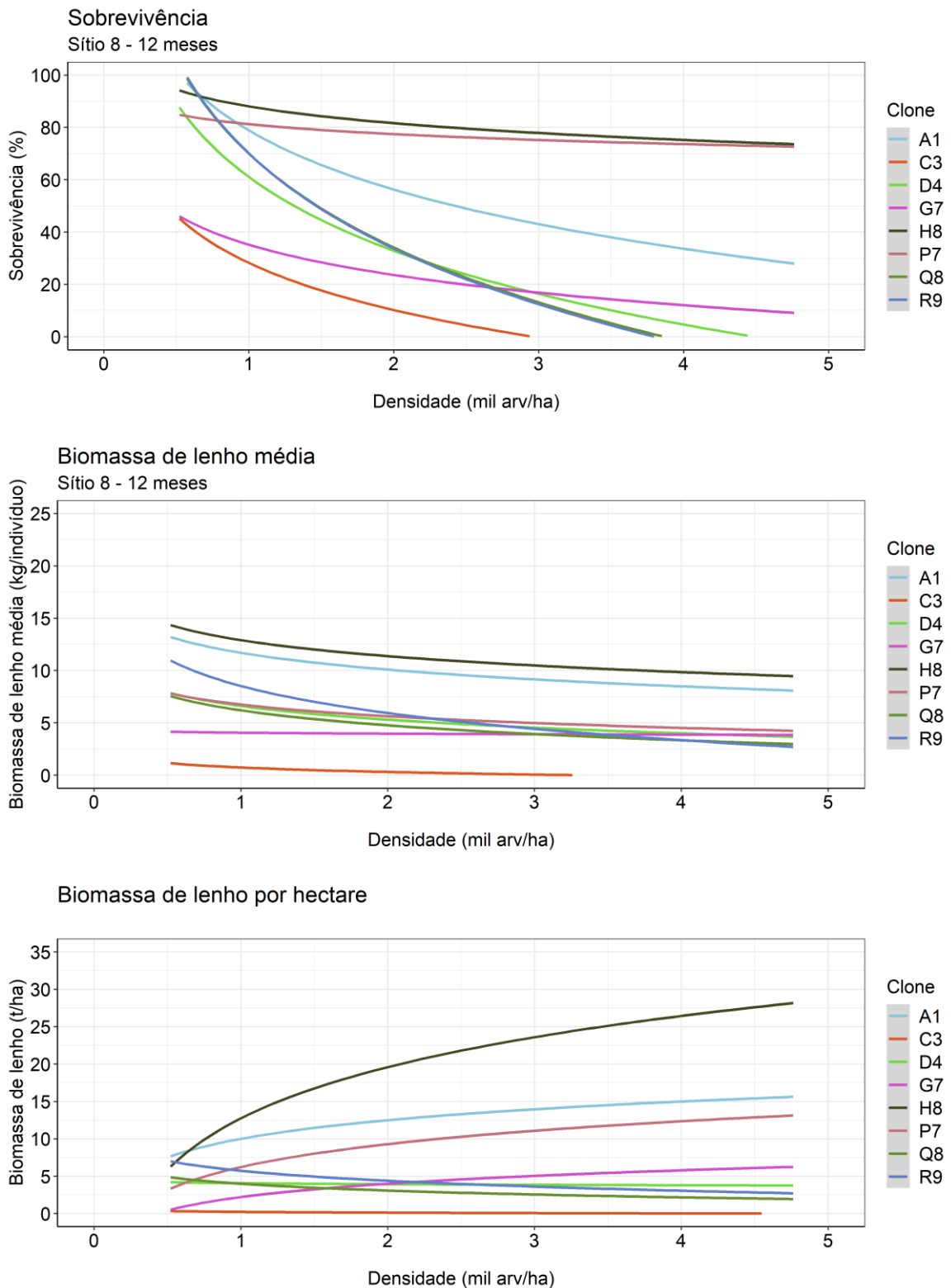


Figura 20: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 8, aos 12 meses de idade.

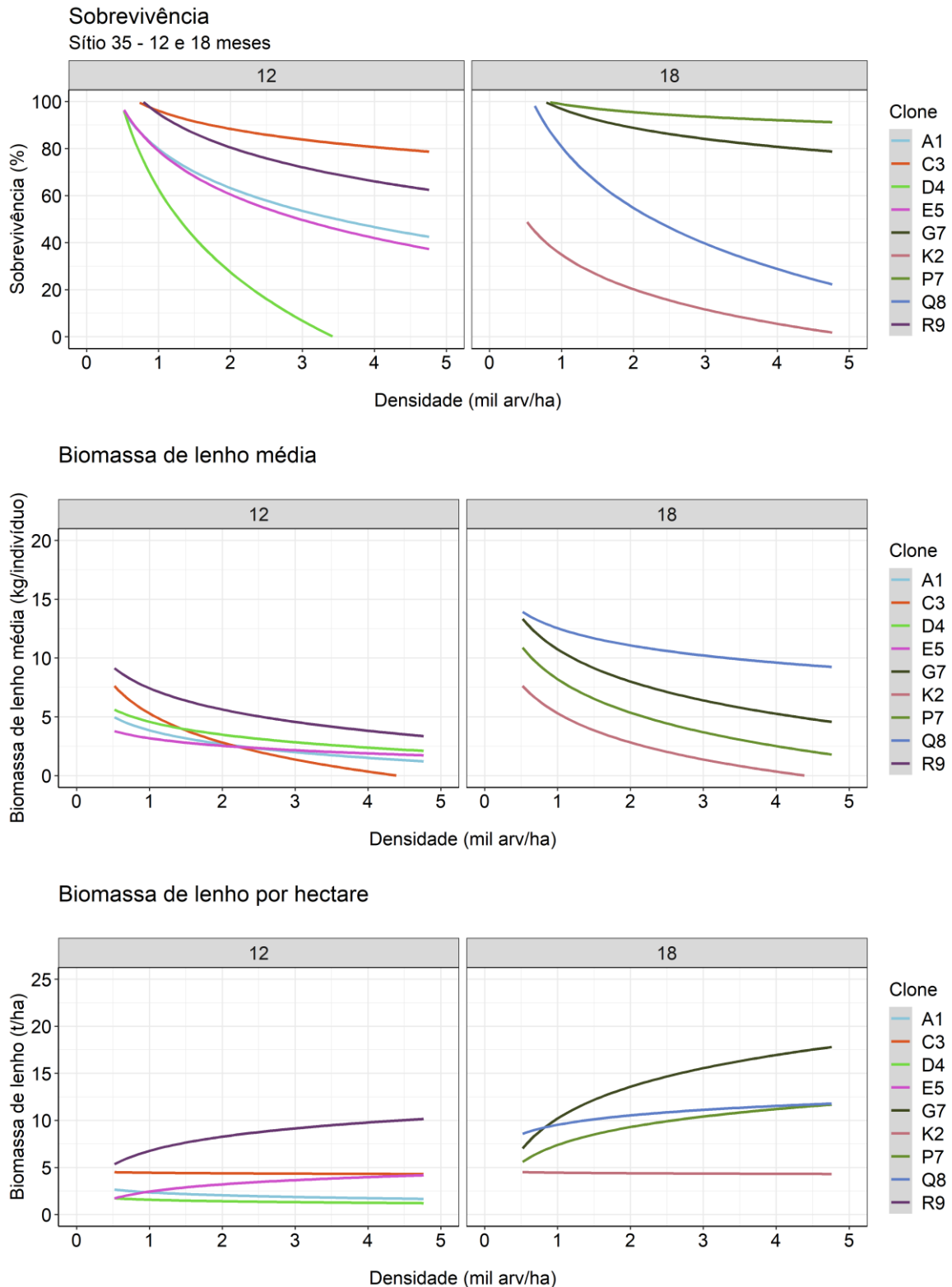


Figura 21: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 35. Os materiais A1, C3, D4, E5 e R9 foram medidos aos 12 meses, e os demais foram medidos aos 18 meses de idade.

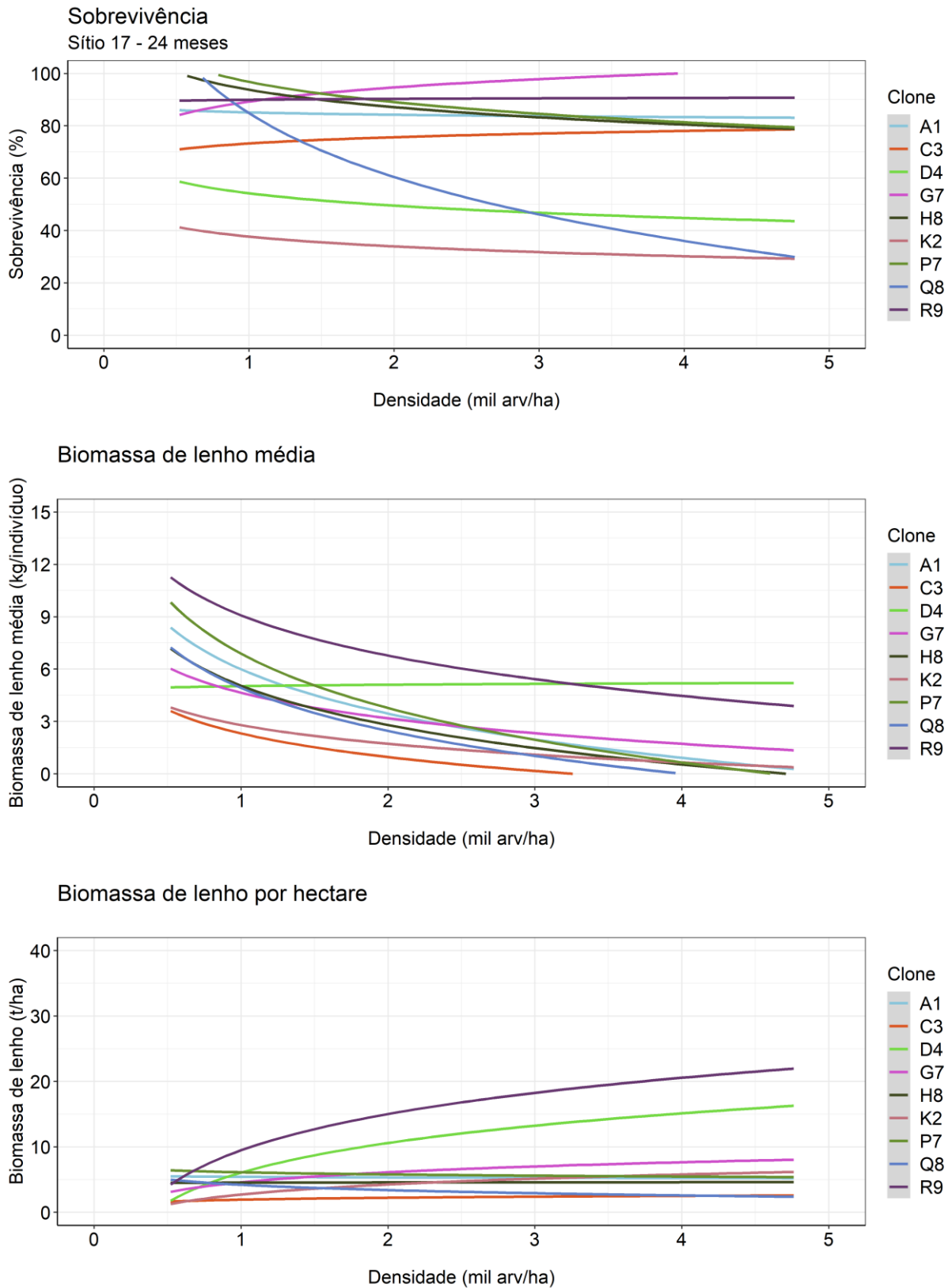


Figura 22: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 17, aos 24 meses de idade.

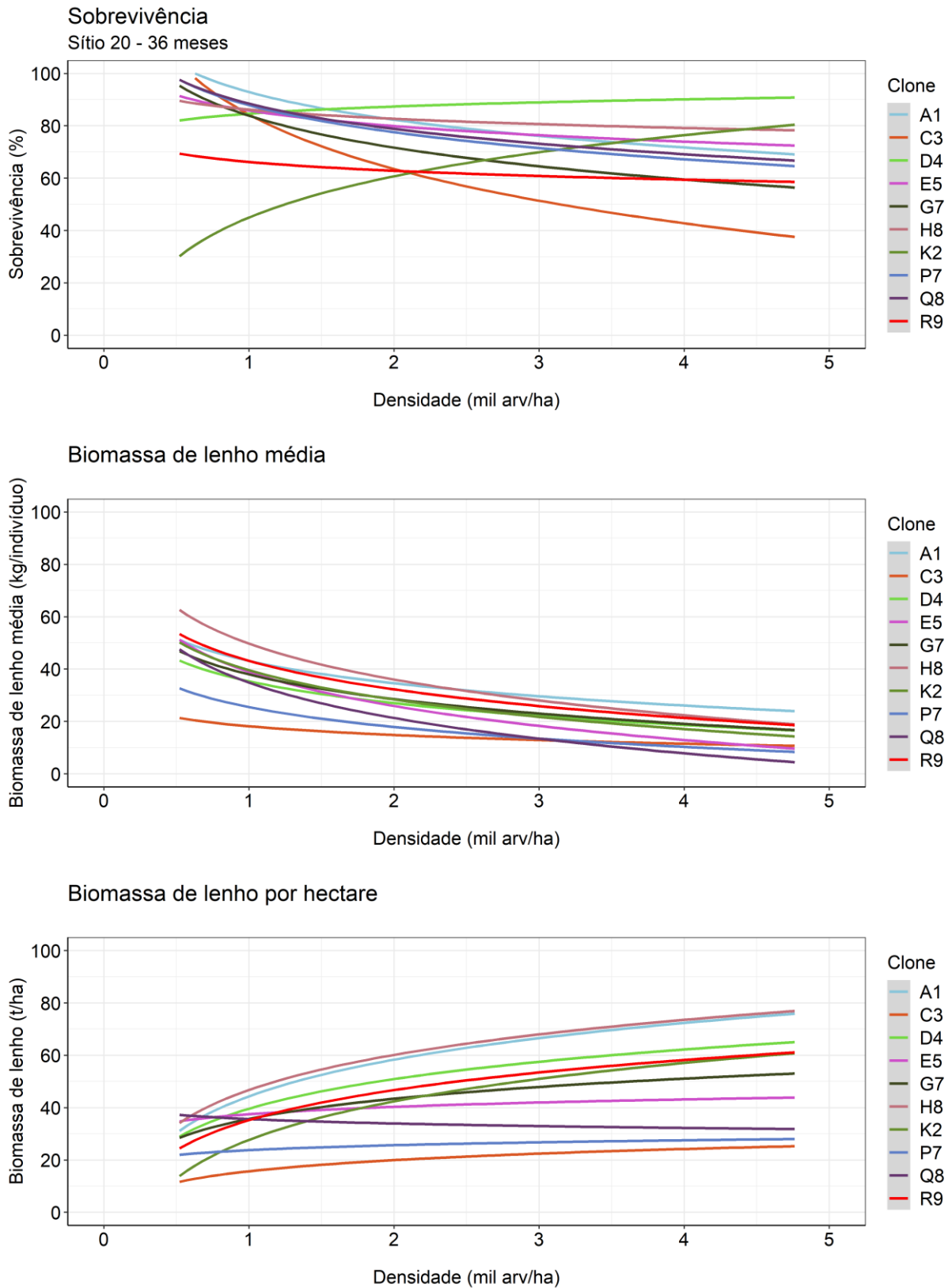


Figura 23: Sobrevivência, biomassa de lenho individual média e biomassa de lenho por hectare em função da densidade de plantio para cada material genético plantado no sítio 20, aos 36 meses de idade.

O *déficit* hídrico se mostrou uma variável fundamental na compreensão dos diferentes comportamentos dos materiais genéticos em função da densidade de plantio. Binkley et al. (2017) também observaram que os sítios subtropicais apresentaram aumentos de produtividade com o aumento da densidade de plantio mais expressivos do que os sítios tropicais na 1ª rotação. Sendo assim, para regiões que sofrem com altos valores de *déficit* hídrico é de suma importância a seleção de materiais genéticos que sejam tolerantes à seca, e a aplicação de densidades de plantio que não afetem a produtividade deste material. Dentre os materiais testados neste trabalho, o clone R9 é o mais produtivo nos dois sítios com maior *déficit* hídrico (17 e 35), mostrando-se uma excelente opção para manejo da talhadia em locais quentes e secos (Figs. 21 e 22).

Poucos trabalhos analisaram os efeitos do espaçamento em espécies de *Eucalyptus* manejadas sob talhadia, e nenhum contempla a variedade de espaçamentos presentes neste trabalho. Higa e Sturion (2000) observaram que espaçamentos variando de 1m² a 6m² por planta não afetaram significativamente a capacidade de brotação do *E. viminalis*, entretanto teve efeito significativo sobre o diâmetro médio. Barton e Montagu (2006) também identificaram efeito significativo do espaçamento no diâmetro de brotos de *E. camaldulensis*. Um efeito parecido pode ser observado neste trabalho, tendo em vista que em espaçamentos mais adensados a biomassa média por indivíduo foi menor, porém a biomassa total por hectare foi maior. Isto indica que não houve efeito negativo do adensamento do plantio sobre a capacidade de brotação, mas sim sobre o tamanho e número de brotos emitidos.

Bernardo et al. (1998) analisaram o efeito do espaçamento no crescimento e distribuição de biomassa em indivíduos de *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla*. Os autores concluíram que, além de afetar o crescimento, o espaçamento teve efeito sobre a partição da biomassa entre parte aérea e raízes. Em espaçamentos maiores (12 m²), o *E. camaldulensis* e *E. urophylla* apresentaram aumentos em torno de 10% na proporção de biomassa de raiz, em relação ao espaçamento de 4,5 m². Os autores terminam o trabalho concluindo que “uma vez que sistemas radiculares maiores podem aumentar os rendimentos futuros do crescimento da talhadia, o efeito das diferenças na alocação para o sistema radicular na produtividade futura precisa ser avaliado.” Considerando o efeito positivo do aumento da alocação de carbono para o sistema radicular sobre o vigor da brotação, os resultados deste trabalho podem trazer

insights para a hipótese levantada por Bernardo et al. (1998). A superioridade dos espaçamentos menos adensados na biomassa média por indivíduo pode ser consequência da maior alocação de carbono para as raízes nesses espaçamentos na 1ª rotação, além da menor competição por água no início da R2.

As equações específicas para cada material em cada sítio e idade de medição, que relacionam densidade de plantio com biomassa por hectare e biomassa média por indivíduo podem ser observadas nos apêndices 3 e 4, respectivamente.

5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS DOS RESULTADOS

Apesar deste trabalho trazer resultados iniciais, já é possível obter algumas implicações práticas:

- 1) O vigor da brotação não é o melhor indicador para a tomada de decisão de conduzir ou não um povoamento, pois está mais relacionado ao clima da 1ª rotação do que à produtividade final. Sítios que sofreram um alto *déficit* hídrico na R1 podem emitir uma brotação mais vigorosa que os demais, entretanto, ao longo do crescimento podem se tornar menos produtivos caso o *déficit* hídrico na 2ª rotação continue alto.
- 2) A sobrevivência e o índice de crescimento dos materiais no final da R1 se correlacionaram muito bem com as mesmas variáveis no início da R2. Portanto, dentro de um mesmo sítio deve-se priorizar para a condução da rebrota os talhões que chegam ao fim da R1 com maior produtividade e sobrevivência.
- 3) Os clones de *E. urophylla* se mostraram excelentes materiais para o manejo da talhadia até a idade analisada neste trabalho. Portanto, recomenda-se que produtores que tenham interesse em adotar este tipo de manejo incluam materiais desta espécie em seus plantios. Por outro lado, os materiais subtropicais das espécies *E. dunni*, *E. benthamii*, *E. saligna* e *E. globulus* não se mostraram boas opções para o manejo da talhadia até a idade analisada.
- 4) Os clones A1, H8 e R9 ocuparam as melhores posições nos rankings na maior parte dos sítios medidos, mostrando-se bons materiais para o manejo da talhadia até o momento. Além disso, o clone R9 apresentou boa

performance nos sítios com maior *déficit* hídrico, se mostrando uma boa alternativa até o momento para o manejo da talhadia em locais secos.

6. CONCLUSÕES

Considerando os objetivos e hipóteses deste trabalho, pode-se obter as seguintes conclusões:

- 1) A genética teve efeito sobre a brotação e crescimento inicial dos materiais. Clones de espécies tropicais emitem mais biomassa de brotação e possuem um crescimento inicial mais acelerado na 2ª rotação do que espécies subtropicais;
- 2) O clima teve efeito sobre a brotação e crescimento inicial dos materiais. Sítios que sofreram mais estresse hídrico e térmico na 1ª rotação apresentaram melhores resultados de emissão de brotos e crescimento inicial na 2ª rotação;
- 3) No geral, clones mais produtivos em R1 tendem a se manter entre os mais produtivos na fase inicial de crescimento da R2;
- 4) Povoamentos uniformes em R1 não garantem povoamentos uniformes em R2;
- 5) Indivíduos dominantes em R1 podem se tornar dominados em R2;
- 6) O espaçamento teve efeito sobre a sobrevivência, crescimento individual e produtividade dos materiais, porém, as respostas de cada material variaram de acordo com o clima do sítio. O aumento da densidade de plantio causa uma redução na sobrevivência e na biomassa individual média dos clones manejados sob talhadia. Em sítios com maior *déficit* hídrico, a resposta da produtividade ao aumento da densidade de plantio é menor.

A continuação das medições do programa PCoppice é fundamental para validar as hipóteses levantadas neste trabalho, e verificar o efeito da genética, clima e espaçamento sobre a produtividade final da 2ª rotação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN R. G., SMITH M., PEREIRA L. S., PERRIER A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin of the International Commission on Irrigation and Drainage**, 1994.
- ABBOTT I, LONERAGAN O. Growth rate of jarrah (*Eucalyptus marginata*) coppice. **Australian Forest Research**, 13: 67–73. 1982.
- ALMADO, R. P. Manejo de brotação em áreas da ArcelorMittal BioFlorestas LTDA. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 21, n. 42, 2015.
- AMÂNCIO, M.R; PEREIRA, F.B; PALUDETO, J.G.Z; VERGANI, A.R; BISON, O; PERES, F.S.B; TAMBARUSSI, E.V. Genetic control of coppice regrowth in *Eucalyptus* spp. **Silvae Genetica**, v. 69, p. 6-12, 2020.
- ANDRADE, E. N. O reflorestamento do Brasil e a Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Rio Claro, SP. **Typographia Conrado**, 1922.
- ANDRADE, E.N. **O eucalipto**. 2.ed. São Paulo: Typografia Brasil Rothschild, 1961.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília, DF: ABRAF, 2013.
- ARBEX, D.C; SILVA, D.M.R. Manejo de Brotação de Eucalipto na Copener Florestal. **Série Técnica IPEF**, v. 21, n. 42, p. 8, 2015.
- ARTHUR JUNIOR, J.C.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J.L.M. Considerações finais: Avanços nas práticas silviculturais no manejo da brotação com enfoque no aumento da produtividade e na redução de custos. **Série Técnica IPEF**, Alagoinhas, v. 21, n. 42, p. 75-79, 2015.
- BALLONI, E. A.; SILVA, A. P. Condução de touças de *Eucalyptus*: resultados preliminares. **Boletim Informativo IPEF** n.6, p. 35-42, 1978.

BARTON, C.V.M; MONTAGU, K.D. Effect of spacing and water availability on root: shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis*. **Forest Ecology and Management**, 2006.

BECKER, G.; UNRAU, A. (2018). Overview .In A. UNRAU, G. BECKER, R. SPINELLI, D. LAZDINA, N. MAGAGNOTTI, V.N. NICOLESCU, P. BUCKLEY, D. BARTLETT, P.D. KOFMAN (Eds.), ***Coppice Forests in Europe*** (pp. 17-33). Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig University of Freiburg.

BEGUERÍA, S. **Potential evapotranspiration: Computation of potential evapotranspiration.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.rdocumentation.org/packages/SPEI/versions/1.7/topics/Potential%20evapotranspiration>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BELL, T.L. et al. (1996) Relationships between fire response, morphology, root anatomy and starch distribution in south-west Australian Epacridaceae. **Ann. Bot.** 77, 357–364

BELL, T.L. AND OJEDA, F. (1999) Underground starch storage in *Erica* species of the Cape floristic region – differences between seeders and resprouters. **New Phytol.** 144, 143–152

BERNARDO, A.L; REIS, M.G.F; REIS, G.G; HARRISON, R.B; FIRME, D.J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00199-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00199-0)

BINKLEY, D., CAMPOE, O.C., ALVARES, C.A., CARNEIRO, R.L., CEGATTA, I.R., STAPE, J.L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, 405, 271-283, 2017.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O.C.; ALVARES, C.A.; CARNEIRO, R.L.; STAPE, J.L. Variation in whole-rotation yield among Eucalyptus genotypes in response to water and heat stresses: The TECHS project. **Forest Ecology and Management**, 2020.

BOND, W.J; MIDGLEY, J.J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. **TRENDS in Ecology and Evolution**, v. 16, n. 1, 2011.

BLAKE, T.J. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. **Australian Forest Research**, v.13, p. 279-91, 1983.

BOWEN, B.J. AND PATE, J.S. (1993) The significance of root starch in post-fire shoot recovery of the resprouter *Stirlingia latifolia* R.Br. (Proteaceae). **Ann. Bot.** 72, 7–16.

BUCKLEY, P.; SUCHOMEL, C.; MOOS, C.; CONEDERA, M. (2018). Prevention of Soil Erosion and Rockfall by Coppice and High Forest .In A. UNRAU, G. BECKER, R. SPINELLI, D. LAZDINA, N. MAGAGNOTTI, V.N. NICOLESCU, P. BUCKLEY, D. BARTLETT, P.D. KOFMAN (Eds.), **Coppice Forests in Europe** (pp. 17-33). Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig University of Freiburg.

CAMARGO F.R.A; SILVA C.R; STAPE J.L. Experimental results from the initial growth phase of Eucalyptus coppice sprouts. **Série Técnica IPEF**, 11: 115–122. 1997.

CAMPOE, O.C; ALVARES, C.A; CARNEIRO, R.L; BINKLEY, D; RYAN, M.G; HUBBARD, R.M; STAHL, J; MOREIRA, G; MORAES, L.F; STAPE, J.L. Climate and genotype influences on carbon fluxes and partitioning in Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, 2020.

CAMPOE, O. C.; BINKLEY, D. Environmental and genetic influences on growth in Eucalyptus plantations: The TECHS special issue. **Forest Ecology and Management**, 2020.

CHAVES, R.; MARRICHI, A. H. C. Manejo de talhadia (2ª Rotação) na Duratex. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, vv. 21, n. 42, 2015.

CHIPPENDALE, G.M. **Flora of Australia**. Volume 19. Myrtaceae-Eucalyptus, .Angophora. Canberra, Australia: Aust. Gov. Publ. Serv. 542 pp. 1988.

DRAKE, P.L; MENDHAM, D.S; WHITE, D.A; OGDEN, G.N. A comparison of growth, photosynthetic capacity and water stress in *Eucalyptus globulus* coppice regrowth and seedlings during early development. **Tree Physiology**, v. 29, 2009.

EVANS, J. Plantation forestry in the tropics. Oxford: **Clarendon Press**, 1992

FERRARI, M. P., FERREIRA, C. A., & SILVA, H. D. Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia. (28 p.). Colombo: **Embrapa Florestas**, 2004.

FERRAZ FILHO, A.C; SCOLFORO, J.R.S. The coppice-with-standards silvicultural system as applied to *Eucalyptus* plantations - a review. **Journal of Forestry Research**, v. 25, p. 237-248, 2014.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Scientia Forestalis**, n.45, p.22-30, 1992.

FLORES, T. et al. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. 1. ed. IPEF, 2016.

FONTENELE, N.M; SILVA, J.A.A; FERREIRA, R.L.C; BERGER, R.; GADELHA, F.H.L; GUERRA, M.O.G. Volumetric and economic evaluation of *Eucalyptus* spp. clones in high forest, coppice and native vegetation systems at the Gypsum Pole of Araripe - PE. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, ed. 117, p. 77-86, 2018.

GELDRES, E; SCHLATTER, J.E; MARCOLETA, A. Coppice options for three Eucalyptus species, a case in the Osorno Province, X Region. **Bosque**, 25: 57–62. 2004.

GOMES, F. S. Manejo de talhadia na Gerdau. **Série Técnica IPEF**, v. 21, n. 42, p. 39-44, 2015.

GONÇALVES, J.L.M; ALVARES, C.A; HIGA, A.R; SILVA, L.D; ALFENAS, A.C; STAHL, J; FERRAZ, S.F.D; LIMA, W.D.P; BRANCALION, P.H.S; HUBNER, A; BOUILLET, J.P.D; LACLAU, J.P; NOUVELLON, Y; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, 301:6–27. 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.030>

GONÇALVES, J.L.M; ALVARES, C.A; BEHLING, M; ALVES, J.M; PIZZI GT, ANGELI, A. Productivity of eucalypt plantations managed under high forest and coppice systems, depending on edaphoclimatic factors. **Scientia Forestalis** v.42, n. 103, p.411-419, 2014.

GONÇALVES, J. L. M. Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. **Série Técnica IPEF**, v. 21, n. 42, p. 15-27, 2015.

GRAÇA, M.E.C; TOTH, V.B.R. Rebrotas de *Eucalyptus dunnii*: A influência da altura, diâmetro e procedência no vigor das brotações. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.20, p.49-57, jun. 1990.

GRAÇA, M. E. C. Capacidade de rebrotas e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 39, p. 135-138, 1999.

HAKAMADA, R. E. **Uso do inventário florestal como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultura em povoamentos clonais de Eucalyptus**. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. 10.11606/D.11.2012.tde-05072012-100431

HAKAMADA, R. E.; LEMOS, C. C. Z.; BATISTUZZO, G. Z. B.; SILVA, R. M. L.; ALMEIDA, A. E. A. Uso do inventário florestal para identificação de fatores silviculturais e ambientais que afetam a produtividade de Eucalyptus manejado sob talhadia. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 21, n. 42, 2015.

HAKAMADA, R.E; MOREIRA, G.G; FERNANDES, P.G; MARTINS, S.D.S. Legacy of harvesting methods on coppice-rotation Eucalyptus at experimental and operational scales. **Trees, Forests and People**, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100293>.

HARDIYANTO, E.B et al. Eucalyptus pellita Coppice vs. Seedlings as a Re-Establishment Method in South Sumatra, Indonesia. **Forests**, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13071017>

HIGA, R.C.V; STURION, J.A. Sprouting evaluation of thirteen Eucalyptus species in Uberaba - MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 23: 79–86. 1991.

HIGA, R.C.V; STURION, J.A. Capacidade de brotação em subgêneros e espécies de Eucalyptus. **Série Técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 23-30, 1997.

HIGA, R. C. V.; STURION, J. A. Efeito do espaçamento na capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.40, p.77)83, 2000.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. Florestas plantadas. **Relatório anual IBÁ**, 2019.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. Florestas plantadas. **Relatório anual IBÁ**, 2022.

International Tropical Timber Organization. Encouraging industrial forest plantations in the tropics. **Technical Series**, 2009.

IPEF (Piracicaba). **PCoppice - Produtividade Brotação Clones Eucalyptus**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ipef.br/pcoppice/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

JESUS, G.L. Manejo da regeneração do eucalipto na CENIBRA. **Série Técnica IPEF**, v. 21, n. 42, p. 8, 2015.

KASEKETE, D.K.; LIGOT, G.; MWERU, J.-P.M.; DROUET, T.; ROUSSEAU, M.; MOANGO, A.; BOURLAND, N. Growth, Productivity, Biomass and Carbon Stock in *Eucalyptus saligna* and *Grevillea robusta* Plantations in North Kivu. **Forests**, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13091508>

KREYLING, J. *et al.* To replicate, or not to replicate – that is the question: how to tackle nonlinear responses in ecological experiments. **Ecology Letters**, 2018. DOI: 10.1111/ele.13134

LAFETÁ, B.O. **Avaliações silviculturais em povoamentos de eucalipto em alto fuste e talhadia**. 2019. 76 p. Tese (Doutor em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2019.

LAMPRECHT, H. Silvicultura nos trópicos. Eschborn: **GTZ**, 1990.

LITTLE, K.M.; GARDNER, R.A.W. Coppicing ability of 20 *Eucalyptus* species grown at two high-altitude sites in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, 33: 181–189. 2003.

MARTINI, A.J. **O plantador de eucaliptos: A questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 332 p. Dissertação (Mestre em História Social) - Universidade de São Paulo, 2004.

MATTOS, E.M. **Seasonal characterization of wood growth, canopy structure and light use efficiency in Eucalyptus clones.** MSc Dissertation, University of Sao Paulo, Piracicaba, 128 pp, 2015. 10.11606/D.11.2015.tde-20102015-164358

MELUN, F.; THE, N. N. L'Eucalyptus en France: une espèce remarquable pour la production de biomasse. **Rev. For. Fr**, 2012.

MHAMDI, S., TAHAR ELAIEB, M., SOUAYAH, N., KHOUJA, M., LARBI KHOUJA, M., ALOUI, A., & CANDELIER, K. Growth and productivity modeling of seven eucalyptus species in souiniet's arboretum in the northwestern of tunisia. **Forestist**, 2021. 10.5152/forestist.2021.20062

MOTTER, M.M.; ANDRADE, H.B; BRANCO, G.C; BOGO, A.C. Manejo da Talhadia na Vallourec Florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, vv. 21, n. 42, 2015.

MROZ, G.D.; FREDERICK, D.J.; JURGENSEN, M.F. Site and fertilizer effects on northern hardwood stump sprouting. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 15, n.3, p.535-43, 1985.

OLIVEIRA, A.S. Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2012.

PALACIO S; MAESTRO, M; MONTSERRAT-MARTÍ, G. Relationship between Shoot-rooting and Root-sprouting Abilities and the Carbohydrate and Nitrogen Reserves of Mediterranean Dwarf Shrubs. **Annals of Botany**, 2007.

PAINE, T.D; STEINBAUER, M.J; LAWSON, S.A. Native and Exotic Pests of Eucalyptus: A Worldwide Pespective. **Annu. Rev. Entomol**, 2010.

PANCEL, L. **Tropical forestry handbook.** New York: Springer-Verlag, 1993.

PATE, J.S. et al. (1990) Seedling growth and storage characteristics of seeder and resprouter species of Mediterranean-type ecosystems of S.W. Australia. **Ann. Bot.** 65, 585–601

PEGORARO, R.F; SILVA, I.R; SOUZA, I.F; NOVAIS, R.F; BARROS N.F; FONSECA, S. Carbon Accumulation and Partitioning Above and Belowground under Coppiced and Replanted Eucalypt Plantations. **Forest Science**, v. 68, n. 2, p. 162-171, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxab058>

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. LCE 306. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba - SP, p. 202, 2007.

PEREIRA FILHO, G. M., JACOVINE, L. A. G., SCHETTINI, B. L. S., PAIVA, H. N., LEITE, F. P., VILLANOVA, P. H., ROCHA, S. J. S. S., & LEITE, H. G. Correlação entre dimensões das árvores de eucalipto em alto fuste e talhadia. **Scientia Forestalis**, 48(125), e3212, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.24>

R Core Team (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REIS, G.G; REIS, M.G.F. Eucalyptus sprouting physiology with emphasis in water relations. *Série Técnica IPEF*, 11: 9–22. 1997.

ROCHA, J.H.T; WENZEL, A.V.A; MELO, E.A.S.C; LIMA, A.S.F; HAKAMADA, R.E; FERRAZ, A.V; JUNIOR, J.C.A; GONÇALVES, J.L.M; MOREIRA, G; GONÇALVES, A.N. Responses of coppiced Eucalyptus to macro and micronutrient application. **New Forests**, v. 50, p. 717-731, 2018.

RODRÍGUEZ, R., REAL, P., ESPINOSA, M., & PERRY, D. A. A process-based model to evaluate site quality for *Eucalyptus nitens* in the bio-bio region of Chile. **Forestry**, 82, 149-162, 2009.

SANDOVAL, R.P et al. Site Productivity of Clone and Seed Raised Plantations of *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* in Southeast Mexico. **Open Journal of Forestry**, 2012. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2012.24028>

SAVILL, P. Silvicultural Systems. Silviculture, 2004.

SBARDELLA, M. **Capacidade de brotação e produtividade de espécies de *Eucalyptus spp.* em sistema de alto fuste e talhadia**. 69 p. Dissertação (Mestre em Ciência Florestal) - UNESP, 2021.

SCHUMACHER, F.X., HALL, F.S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, 7: 19-734.

SCHWEGMAN, K., LITTLE, K. M., MCEWAN, A., ACKERMAN, S. A. (2018). Harvesting and extraction impacts on *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* coppicing potential and rotation-end volume in Zululand, South Africa. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, 80(1), 51-57.

SEIXAS, F. (1997). Potencial de danos dos sistemas de colheita de madeira no solo e nas cepas. **Série Técnica IPEF**, 4, 63-78.

SILVA, N.F; BARROS, N.F; NEVES, J.C.L; SCHULTHAIS, F; NOVAIS, R.F; MATTIELLO, E.M. Yield and Nutrient Demand and Efficiency of *Eucalyptus* under Coppicing Regime. **Forests**, 2020. 10.3390/f11080852.

SIMS, R.E.H; SENELWA, K; MAIAVA, T; BULLOCK, B.T. *Eucalyptus* species for biomass energy in New Zealand - Part II: Coppice performance. **Biomass and Bioenergy**, 17: 333–343. 1999.

SOUSA, J.P. **Produção e viabilidade nas primeiras intervenções de dois métodos de condução de desbrota em talhadia de eucalipto**. 2016. 64 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, 2016.

SOUZA, D.P.L; GALLAGHER, T; MITCHELL, D; MCDONALD, T; SMIDT, M. (2016) Determining the effects of felling method and season of year on the regeneration of short rotation coppice, **International Journal of Forest Engineering**, 27:1, 53-65, 10.1080/14942119.2015.1135616

SOUZA, F.C; REIS, G.G; REIS, M.G.F; LEITE, H.G; ALVES, F.F; FARIA, R.S; PEREIRA, M.M. Survival, sprout number and diameter growth of coppice and intact plants of eucalypt clones. **Floresta e Ambiente**, 19: 44–54. 2012.

SPINELLI, R., PARI, L., AMINTI, G., MAGAGNOTTI, N., GIOVANNELLI, A. Mortality, re-sprouting vigor and physiology of coppice stumps after mechanized cutting. **Annals of forest science**, 74(1), 5, 2017.

STACKHOUSE, P.W., WESTBERG, D., CHANDLER, W.S., ZHANG T, HOELL JM, 2015. **Prediction Of Worldwide Energy Resource (POWER): Agroclimatology Methodology** (1.0° Latitude by 1.0° Longitude Spatial Resolution) 50p. (Technical Report).

STANTURF, R.P et al. Productivity and profitability potential for non-native Eucalyptus plantings in the southern USA. *Forest Policy and Economics*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.10.004>

STAPE, J.L.; MADACHI, J.C.; BACACICCI, D.D; OLIVEIRA, M.S. *Eucalyptus spp* sprout management: technical and operational results. **Circular Técnica IPEF**, 183: 1–13. 1993.

STAPE, J. L. Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. **Série Técnica IPEF**, v.11, n. 30, p. 51-62, mai. 1997.

TEIXEIRA, P.C.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; TEIXEIRA, J.L. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v.160, p.263-271, 2002.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance**. Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, Centerton, 1955.

VILLA-NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. S.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativa de graus dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Instituto de Geografia/USP. 8p. **Caderno de Ciência da Terra**, n.30, 1972.

XAVIER, A.C., KING, C.W., SCANLON, B.R., 2016. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **Int. J. Climatol.** 36, 2644–2659. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.

ZHANG, Y., WANG, X. Geographical spatial distribution and productivity dynamic change of eucalyptus plantations in China. **Sci Rep** 11, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97089-7>

APÊNDICE

Apêndice 1: Valores de correlação e valor p entre DAP final da R1 e número de brotos na R2 no nível do indivíduo. As correlações com valor $p < 0,1$ foram destacadas em cinza.

Sítio	Parcela	Clone	Valor p	Correlação
6	1	C3	0,127	0,179
6	2	C3	0,121	0,186
6	3	F6	0,222	0,161
6	4	F6	0,066	0,223
6	5	K2	0,015	0,286
6	6	K2	0,000	0,428
6	7	O6	0,590	0,125
6	8	O6	0,053	0,597
6	11	Q8	0,227	0,320
6	12	Q8	0,250	0,402
6	13	L3	0,270	-0,346
6	14	L3	0,136	0,419
6	15	N5	0,529	0,082
6	16	N5	0,354	0,113
6	17	K2	0,126	0,195
6	18	K2	0,058	0,230
6	19	M4	0,341	0,120
6	20	M4	0,586	-0,069
6	21	A1	0,001	0,385
6	22	A1	0,678	0,048
6	23	I9	0,225	0,177
6	24	I9	0,124	0,208
13	1	Q8	0,029	0,244

13	2	Q8	0,057	0,216
13	3	C3	0,118	0,201
13	4	C3	0,010	0,300
13	5	A1	0,014	-0,279
13	6	A1	0,894	0,015
13	9	H8	0,341	-0,112
13	10	H8	0,904	-0,014
13	11	E5	0,001	-0,375
13	12	E5	0,883	-0,018
13	15	R9	0,479	0,081
13	16	R9	0,258	0,129
13	17	G7	0,000	0,477
13	18	G7	0,003	0,329
13	19	D4	0,648	-0,057
13	20	D4	0,232	0,141
13	21	K2	0,654	-0,056
13	22	K2	0,494	-0,085
13	23	N5	0,632	-0,054
13	24	N5	0,009	0,291
22	18	G7	0,928	-0,011
22	22	A1	0,654	0,055

Apêndice 2: Valores de correlação e valor p entre índice de crescimento da R1 e índice de crescimento da R2 no nível do indivíduo. As correlações com valor $p < 0,1$ foram destacadas em cinza.

Sítio	Idade	Parcela	Clone	Valor p	Correlação
6	6	1	C3	0,105	0,193
6	6	2	C3	0,330	0,117
6	6	3	F6	0,118	-0,206
6	6	4	F6	0,559	-0,072
6	6	5	J1	0,506	0,080
6	6	6	J1	0,954	0,007
6	6	7	O6	0,971	-0,008
6	6	8	O6	0,060	-0,612
6	6	11	Q8	0,490	0,186
6	6	12	Q8	0,412	0,293
6	6	13	L3	0,050	-0,632
6	6	14	L3	0,396	-0,285
6	6	15	N5	0,712	-0,048
6	6	16	N5	0,372	0,109
6	6	17	K2	0,070	0,232
6	6	18	K2	0,050	0,237
6	6	19	M4	0,385	0,110

6	6	20	M4	0,731	-0,044
6	6	21	A1	0,040	-0,235
6	6	22	A1	0,365	0,106
6	6	23	I9	0,055	-0,276
6	6	24	I9	0,384	-0,119
6	18	1	C3	0,690	-0,049
6	18	2	C3	0,059	0,230
6	18	3	F6	0,411	-0,110
6	18	4	F6	0,178	0,167
6	18	5	J1	0,056	0,228
6	18	6	J1	0,691	0,049
6	18	7	O6	0,290	0,468
6	18	8	O6	0,545	-0,655
6	18	11	Q8	0,810	-0,082
6	18	12	Q8	0,597	-0,162
6	18	13	L3	0,213	-0,538
6	18	14	L3	0,627	-0,205
6	18	15	N5	0,434	-0,127
6	18	16	N5	0,003	-0,367
6	18	17	K2	0,853	-0,032
6	18	18	K2	0,182	-0,170
6	18	19	M4	0,401	-0,109
6	18	20	M4	0,005	-0,350
6	18	21	A1	0,469	0,086
6	18	22	A1	0,559	0,068
6	18	23	I9	0,771	-0,051
6	18	24	I9	0,010	-0,336
8	6	1	P7	0,433	0,089
8	6	2	P7	0,475	-0,082
8	6	3	A1	0,241	0,144
8	6	4	A1	0,239	0,146
8	6	5	Q8	0,001	-0,427
8	6	6	Q8	0,724	-0,045
8	6	11	H8	0,011	-0,295
8	6	12	H8	0,192	-0,167
8	6	13	C3	0,008	0,304
8	6	14	C3	0,021	0,260
8	6	15	R9	0,098	0,194
8	6	16	R9	0,805	-0,029
8	6	19	G7	0,196	0,152
8	6	20	G7	0,125	-0,177
8	6	23	D4	0,766	0,037
8	6	24	D4	0,702	-0,045
8	12	1	P7	0,917	-0,012
8	12	2	P7	0,765	-0,034

8	12	3 A1	0,243	-0,134
8	12	4 A1	0,115	-0,190
8	12	5 Q8	0,000	-0,467
8	12	6 Q8	0,271	-0,128
8	12	11 H8	0,922	0,012
8	12	12 H8	0,363	-0,106
8	12	13 C3	0,001	0,390
8	12	14 C3	0,651	0,052
8	12	15 R9	0,105	-0,186
8	12	16 R9	0,496	-0,078
8	12	19 G7	0,672	0,049
8	12	20 G7	0,033	-0,245
8	12	23 D4	0,523	-0,074
8	12	24 D4	0,941	-0,008
13	6	1 Q8	0,180	0,152
13	6	2 Q8	0,193	0,149
13	6	3 C3	0,105	-0,208
13	6	4 C3	0,077	-0,208
13	6	5 A1	0,008	-0,299
13	6	6 A1	0,870	0,019
13	6	9 H8	0,050	-0,228
13	6	10 H8	0,141	-0,166
13	6	11 E5	0,002	-0,362
13	6	12 E5	0,966	0,005
13	6	15 R9	0,680	0,047
13	6	16 R9	0,281	0,123
13	6	17 G7	0,000	0,502
13	6	18 G7	0,002	0,346
13	6	19 D4	0,866	-0,021
13	6	20 D4	0,211	0,148
13	6	21 K2	0,988	-0,002
13	6	22 K2	0,548	-0,075
13	6	23 P7	0,629	-0,055
13	6	24 P7	0,016	0,269
13	12	1 Q8	0,852	0,021
13	12	2 Q8	0,885	-0,016
13	12	3 C3	0,250	-0,141
13	12	4 C3	0,090	-0,201
13	12	5 A1	0,407	-0,092
13	12	6 A1	0,935	-0,009
13	12	9 H8	0,000	0,414
13	12	10 H8	0,001	0,361
13	12	11 E5	0,670	-0,050
13	12	12 E5	0,677	-0,047
13	12	15 R9	0,041	0,230

13	12	16 R9	0,279	0,122
13	12	17 G7	0,014	0,268
13	12	18 G7	0,001	0,358
13	12	19 D4	0,900	0,014
13	12	20 D4	0,049	0,218
13	12	22 K2	0,468	0,081
13	12	24 P7	0,025	-0,246
20	24	1 H8	0,000	0,419
20	24	2 H8	0,000	0,572
20	24	3 R9	0,090	0,190
20	24	4 R9	0,001	0,341
20	24	5 K2	0,777	0,031
20	24	6 K2	0,827	-0,028
20	24	7 D4	0,107	0,170
20	24	8 D4	0,061	0,196
20	24	9 G7	0,033	0,237
20	24	10 G7	0,000	0,478
20	24	11 A1	0,223	0,123
20	24	12 A1	0,379	-0,094
20	24	15 Q8	0,000	0,440
20	24	16 Q8	0,002	0,321
20	24	17 P7	0,754	0,035
20	24	18 P7	0,001	0,374
20	24	19 C3	0,005	0,326
20	24	20 C3	0,071	0,194
20	24	21 E5	0,709	0,043
20	24	22 E5	0,599	0,059
20	36	1 H8	0,000	0,501
20	36	2 H8	0,000	0,469
20	36	3 R9	0,077	0,197
20	36	4 R9	0,007	0,289
20	36	5 K2	0,540	0,068
20	36	6 K2	0,455	-0,094
20	36	7 D4	0,582	0,058
20	36	8 D4	0,117	0,165
20	36	9 G7	0,026	0,247
20	36	10 G7	0,000	0,456
20	36	11 A1	0,173	0,139
20	36	12 A1	0,780	-0,030
20	36	15 Q8	0,001	0,343
20	36	16 Q8	0,001	0,352
20	36	17 P7	0,900	0,015
20	36	18 P7	0,655	-0,051
20	36	19 C3	0,072	0,201
20	36	20 C3	0,020	0,279

20	36	21 E5	0,172	0,153
20	36	22 E5	0,174	-0,154
22	6	18 G7	0,863	-0,021
22	6	22 A1	0,813	0,029
22	12	17 G7	0,823	-0,033
22	12	18 G7	0,402	-0,121
22	12	21 A1	0,153	0,203
22	12	22 A1	0,347	-0,136
22	12	23 K2	0,549	-0,072
22	12	24 K2	0,492	0,085
33	12	1 A1	0,384	0,077
33	12	2 C3	0,562	-0,051
33	12	3 Q8	0,628	-0,050
33	12	4 K2	0,563	-0,069
33	12	6 P7	0,916	-0,010
33	12	7 D4	0,077	-0,216
33	12	12 F6	0,579	0,080
33	12	41 E5	0,167	-0,160
33	12	42 H8	0,000	-0,493
33	12	44 G7	0,504	-0,067
33	12	46 O6	0,000	-0,582
33	12	50 M4	0,842	-0,037
33	12	71 J1	0,701	0,070
33	12	72 N5	0,055	0,298
33	12	80 R9	0,331	-0,108
33	12	81 L3	0,896	0,061
33	18	1 A1	0,450	0,067
33	18	2 C3	0,763	0,027
33	18	3 Q8	0,501	-0,070
33	18	4 K2	0,408	-0,098
33	18	6 P7	0,333	0,088
33	18	7 D4	0,157	-0,161
33	18	12 F6	0,591	0,078
33	18	41 E5	0,010	-0,293
33	18	42 H8	0,020	-0,272
33	18	44 G7	0,665	-0,043
33	18	46 O6	0,000	-0,486
33	18	50 M4	0,414	-0,138
33	18	52 I9	0,208	-0,165
33	18	71 J1	0,951	0,011
33	18	72 N5	0,035	0,327
33	18	80 R9	0,767	-0,031
33	18	81 L3	0,046	0,954
33	24	1 A1	0,990	-0,001
33	24	2 C3	0,976	-0,003

33	24	3 Q8	0,815	-0,022
33	24	4 K2	0,531	-0,073
33	24	6 P7	0,138	0,130
33	24	7 D4	0,521	-0,075
33	24	12 F6	0,072	0,240
33	24	41 E5	0,008	-0,301
33	24	42 H8	0,179	-0,152
33	24	44 G7	0,946	-0,007
33	24	46 O6	0,000	-0,500
33	24	50 M4	0,529	-0,105
33	24	52 I9	0,769	-0,038
33	24	71 J1	0,831	-0,037
33	24	72 N5	0,034	0,324
33	24	80 R9	0,381	-0,090
33	24	81 L3	0,159	0,841

Apêndice 3: Coeficientes e r^2 das equações de biomassa por hectare em função da densidade de plantio, para cada clone, sítio e idade de medição. Foi utilizado o modelo logarítmico $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x)$, onde y é a biomassa em $t\ ha^{-1}$, e x é a densidade de plantio em árvores ha^{-1} . As equações com $r^2 > 0,5$ foram destacadas em cinza.

Sítio	Idade	Clone	B0	B1	r^2
8	6	A1	-15,619	3,017	0,65
8	6	C3	0,479	0,079	0
8	6	D4	1,133	0,178	0,01
8	6	G7	-5,633	1,006	0,24
8	6	H8	-35,021	5,929	0,9
8	6	P7	-22,93	3,725	0,92
8	6	Q8	11,583	-1,22	0,33
8	6	R9	13,94	-1,429	0,22
8	6	Média	-4,226	1,077	0,70
8	12	A1	-14,872	3,6	0,33
8	12	C3	1,283	-0,152	0,11
8	12	D4	5,409	-0,195	0
8	12	G7	-15,644	2,584	0,24
8	12	H8	-55,533	9,882	0,76
8	12	P7	-24,321	4,421	0,29
8	12	Q8	13,045	-1,311	0,2
8	12	R9	19,037	-1,927	0,15
8	12	Média	-8,949	2,113	0,74
17	12	A1	1,678	-0,181	0,28
17	12	C3	-0,979	0,218	0,14
17	12	D4	1,552	-0,153	0,12

17	12	G7	*	*	*
17	12	H8	-4,667	0,762	0,41
17	12	K2	0,593	0,007	0
17	12	P7	2,537	-0,278	0,2
17	12	Q8	-1,209	0,218	0,21
17	12	R9	0,562	-0,047	0,04
17	12	Média	1,208	-0,105	0,06
17	18	A1	4,309	-0,423	0,18
17	18	C3	-1,17	0,273	0,07
17	18	D4	1,333	0,027	0
17	18	G7	-3,857	0,679	0,61
17	18	H8	-12,375	2,02	0,41
17	18	K2	-3,975	0,994	0,45
17	18	R9	-12,333	2,242	0,68
17	18	Média	-4,01	0,83	0,74
17	24	A1	6,334	-0,131	0
17	24	C3	-0,893	0,411	0,02
17	24	D4	-39,15	6,544	0,4
17	24	G7	-10,708	2,214	0,47
17	24	H8	4,202	0,049	0
17	24	K2	-12,573	2,214	0,34
17	24	P7	9,377	-0,471	0,01
17	24	Q8	12,323	-1,174	0,13
17	24	R9	-45,789	8	0,69
17	24	Média	-8,542	1,962	0,67
20	24	A1	-52,419	10,953	0,9
20	24	C3	-24,658	5,042	0,53
20	24	D4	-72,653	13,358	0,83
20	24	E5	-9,052	4,512	0,19
20	24	G7	-36,477	7,926	0,57
20	24	H8	-41,897	9,266	0,64
20	24	K2	-70,54	12,183	0,58
20	24	P7	-4,588	2,604	0,2
20	24	Q8	2,815	2,032	0,07
20	24	R9	-90,975	16,512	0,58
20	24	Média	-40,045	8,439	0,9
20	36	A1	-95,359	20,22	0,93
20	36	C3	-26,735	6,141	0,46
20	36	D4	-73,14	16,319	0,63
20	36	E5	9,204	4,091	0,06
20	36	G7	-40,968	11,099	0,43
20	36	H8	-86,719	19,32	0,61
20	36	K2	-118,768	21,201	0,57
20	36	P7	4,994	2,717	0,1
20	36	Q8	52,541	-2,446	0,03

20	36	R9	-79,273	16,574	0,47
20	36	Média	-45,422	11,523	0,86
35	12	A1	5,414	-0,443	0,04
35	12	C3	5,051	-0,088	0
35	12	D4	3,193	-0,234	0,02
35	12	E5	-5,222	1,109	0,34
35	12	R9	-8,296	2,179	0,23
35	12	Média	4,321	-0,154	0
35	18	G7	-23,437	4,869	0,82
35	18	K2	5,058	-0,088	0
35	18	P7	-11,632	2,753	0,24
35	18	Q8	-0,485	1,449	0,14
35	18	Média	-7,102	2,198	0,37

* clone não foi medido por não ter atingido o tamanho mínimo (DAP > 5cm)

Apêndice: Coeficientes e r^2 das equações de biomassa média por indivíduo em função da densidade de plantio, para cada clone, por sítio e idade de medição. Foi utilizado o modelo logarítmico $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x)$, onde y é a biomassa em kg indivíduo⁻¹, e x é a densidade de plantio em árvores ha⁻¹. As equações com $r^2 > 0,5$ foram destacadas em cinza.

Sítio	Idade	Sigla	B0	B1	r^2
8	6	A1	21,015	-2,286	0,75
8	6	C3	6,544	-0,780	0,31
8	6	D4	14,809	-1,760	0,73
8	6	G7	7,027	-0,818	0,21
8	6	H8	11,383	-0,883	0,35
8	6	P7	0,844	0,204	0,07
8	6	Q8	23,121	-2,803	0,90
8	6	R9	30,579	-3,722	0,81
8	6	Média	19,764	-2,347	0,81
8	12	A1	27,663	-2,313	0,34
8	12	C3	4,986	-0,616	0,38
8	12	D4	19,610	-1,882	0,21
8	12	G7	4,988	-0,135	0,00
8	12	H8	28,114	-2,203	0,39
8	12	P7	17,837	-1,606	0,19
8	12	Q8	20,458	-2,065	0,34
8	12	R9	34,283	-3,730	0,32
8	12	Média	19,742	-1,819	0,56
17	12	A1	3,728	-0,456	0,61
17	12	C3	2,539	-0,284	0,21
17	12	D4	3,872	-0,471	0,49
17	12	G7	*	*	*

17	12	H8	-0,426	0,187	0,05
17	12	K2	5,231	-0,632	0,57
17	12	P7	6,876	-0,822	0,43
17	12	Q8	3,174	-0,352	0,11
17	12	R9	2,945	-0,365	0,57
17	12	Média	4,360	-0,517	0,31
17	18	A1	10,177	-1,214	0,73
17	18	C3	5,995	-0,727	0,30
17	18	D4	9,014	-1,051	0,52
17	18	G7	2,930	-0,299	0,32
17	18	H8	-1,975	0,703	0,10
17	18	K2	12,194	-1,402	0,69
17	18	R9	10,943	-1,093	0,29
17	18	Média	7,040	-0,726	0,63
17	24	A1	31,302	-3,664	0,77
17	24	C3	15,827	-1,956	0,33
17	24	D4	4,221	0,116	0,00
17	24	G7	19,244	-2,113	0,42
17	24	H8	27,565	-3,259	0,57
17	24	K2	13,482	-1,548	0,30
17	24	P7	37,947	-4,497	0,76
17	24	Q8	29,461	-3,552	0,73
17	24	R9	32,105	-3,333	0,36
17	24	Média	23,462	-2,645	0,81
20	24	A1	79,858	-7,859	0,58
20	24	C3	33,045	-2,954	0,56
20	24	D4	85,282	-9,077	0,81
20	24	E5	116,832	-13,030	0,74
20	24	G7	78,708	-8,109	0,71
20	24	H8	105,244	-11,429	0,67
20	24	K2	103,574	-11,116	0,25
20	24	P7	66,623	-7,328	0,79
20	24	Q8	97,720	-11,180	0,91
20	24	R9	143,491	-15,467	0,48
20	24	Média	91,038	-9,755	0,85
20	36	A1	128,133	-12,306	0,53
20	36	C3	51,299	-4,799	0,55
20	36	D4	118,636	-12,058	0,81
20	36	E5	168,643	-18,780	0,72
20	36	G7	131,926	-13,604	0,71
20	36	H8	186,086	-19,744	0,56
20	36	K2	151,661	-16,226	0,27
20	36	P7	101,250	-10,969	0,75
20	36	Q8	169,398	-19,483	0,86
20	36	R9	151,848	-15,735	0,49

20	36	Média	135,888	-14,370	0,85
35	12	A1	15,529	-1,690	0,49
35	12	C3	29,941	-3,568	0,88
35	12	D4	15,522	-1,584	0,18
35	12	E5	9,597	-0,929	0,57
35	12	R9	25,458	-2,609	0,78
35	12	Média	20,781	-2,343	0,58
35	18	G7	38,082	-3,957	0,72
35	18	K2	29,985	-3,574	0,88
35	18	P7	36,569	-4,107	0,42
35	18	Q8	27,119	-2,111	0,45
35	18	Média	32,574	-3,328	0,40

* clone não foi medido por não ter atingido o tamanho mínimo (DAP > 5cm)