

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE 12 CLONES DE EUCALIPTO  
SUBMETIDOS A DESFOLHAS ARTIFICIAIS SUCESSIVAS**

**MARCELLO BONTEMPI PIZZI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

**BOTUCATU – SP**

**Agosto - 2016**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE 12 CLONES DE EUCALIPTO  
SUBMETIDOS A DESFOLHAS ARTIFICIAIS SUCESSIVAS**

**MARCELLO BONTEMPI PIZZI**

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Stape

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

**BOTUCATU – SP**

**Agosto - 2016**

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

Pizzi, Marcello Bontempi, 1988-  
P695p Perdas de produtividade de 12 clones de eucalipto submetidos a desfolhas artificiais sucessivas / Marcello Bontempi Pizzi. - Botucatu : [s.n.], 2016  
xii, 69 f. : fots. color., ils. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: José Luiz Stape  
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Produtividade. Estresse vegetal. 2. Herbivoria. 3. Biomassa vegetal. I. Stape, José Luiz. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE 12 CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS A DESFOLHAS ARTIFICIAIS SUCESSIVAS

**AUTOR: MARCELLO BONTEMPI PIZZI**

**ORIENTADOR: JOSE LUIZ STAPE**

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

  
Prof. Dr. JOSE LUIZ STAPE  
Suzano Papel e Celulose

  
Prof. Dr. IRAÉ AMARAL GUERRINI  
Depto. de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronomicas de Botucatu

  
Prof. Dr. CLAYTON ALCARDE ALVARES  
Departamento de Ciências Florestais / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA

Botucatu, 09 de agosto de 2016

Aos meus pais Carlos e Malú, pelo amor, dedicação, paciência e incentivo.

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Luiz Stape, pela orientação, paciência, confiança e consideração. Pelos estímulos na busca por conhecimentos e pelos ensinamentos profissionais e pessoais transmitidos pelos anos em que me orientou.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal e à Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo suporte financeiro através da concessão da bolsa de estudo.

Ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais – IPEF, principalmente aos programas cooperativos PCCF (Programa Cooperativo sobre Certificação Florestal), PROTEF (Programa Cooperativo sobre Proteção Florestal) e TECHS (Programa Cooperativo sobre Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses).

Às Empresas Florestais participantes dos três Programas Cooperativos do IPEF que colaboraram de diferentes formas para a realização deste estudo.

Ao Prof. Dr. Francides Gomes da Silva Júnior, ao Laboratório de Química, Celulose e Energia e seus funcionários, ao Prof. Dr. Ricardo Ferraz de Oliveira, ao Laboratório de Estresse e Neurofisiologia Vegetal e seus funcionários, ao Laboratório de Ecologia Aplicada e seus funcionários, ao Prof. Dr. Francisco José Krug, à Lidiane Cristina Nunes e ao Laboratório de Química do CENA e seus funcionários, pelo apoio nas atividades de laboratório. À Fazenda Areão e seus funcionários, que apoiaram as atividades de campo.

Aos pesquisadores Clayton Alcarde Alvares, Otávio Camargo Campoe, Rafaela Lorenzato Carneiro e Eduardo Moré de Mattos, pelo incentivo e aprendizado.

Aos estagiários do TECHS e do GFMO (Grupo Florestal Monte Olimpo) pela valiosa e imensa ajuda em todos os trabalhos. Serei eternamente grato pela ajuda de vocês!

Aos especialistas em pragas do TECHS e do PROTEF, pela vistoria sanitária no experimento.

À minha família, pelo apoio e incentivo do começo ao fim. À Susane Rasera, pela ajuda, contribuição, paciência e pelos momentos juntos.

A todos os profissionais e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

*“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”*

Giovanni di Pietro di Bernardone



## SUMÁRIO

RESUMO .....	1
SUMMARY .....	2
1. INTRODUÇÃO .....	3
1.1. Hipóteses .....	4
1.2. Objetivo.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	5
2.2. Ecologia da produção e fatores de perda de produtividade .....	7
2.3. Principais pragas desfolhadoras do eucalipto.....	9
2.4. Perda de produtividade por pragas .....	10
2.5. Desfolha natural vs. artificial .....	11
2.6. Carboidratos não estruturais.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1. Classificação climática do Brasil e o Programa Cooperativo TECHS.....	14
3.2. Sítio experimental e histórico da área .....	16
3.3. Materiais genéticos.....	16
3.4. Seleção dos materiais genéticos .....	17
3.5. Clima e monitoramento meteorológico.....	18
3.6. Relevo e solo.....	19
3.7. Implantação e manutenção do sítio experimental .....	19
3.8. Desfolhas sucessivas .....	20
3.9. Quantificação da copa.....	21
3.10. Teor de umidade foliar .....	22
3.11. Acompanhamento do crescimento do tronco e da copa das árvores.....	22
3.12. Área foliar específica e área foliar total .....	23
3.13. Volume e biomassa de madeira.....	24
3.14. Produtividade comparável.....	25
3.15. Perda de produtividade por desfolhas sucessivas.....	25
3.16. Uniformidade das parcelas .....	26
3.17. Nutrição foliar .....	26
3.18. Teor de carboidratos não estruturais .....	27

3.19.	Controle de pragas.....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1.	Clima durante o período experimental .....	29
4.2.	Sazonalidade do crescimento .....	30
4.3.	Produtividade comparável.....	32
4.4.	Impacto das desfolhas nas copas das árvores .....	33
4.5.	Perda de crescimento ao longo das desfolhas .....	37
4.6.	Perda de produtividade um ano depois da primeira desfolha.....	44
4.6.1.	Perdas em DAP das árvores .....	44
4.6.2.	Perdas em altura total das árvores .....	45
4.6.3.	Perdas em volume de madeira.....	47
4.6.4.	Perdas em biomassa de madeira.....	49
4.7.	Sobrevivência às desfolhas sucessivas .....	50
4.8.	Uniformidade das parcelas .....	50
4.9.	Nutrição foliar .....	52
4.10.	Teor de carboidratos não estruturais .....	54
4.11.	Aplicações práticas da quantificação de perdas de crescimento .....	56
4.12.	Verificação das hipóteses .....	56
5.	CONCLUSÕES.....	57
6.	REFERÊNCIAS .....	58
	APÊNDICE .....	64

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Descrição dos tipos climáticos do Brasil, segundo a classificação de Köppen (1936) (ALVARES et al., 2013).....	15
Tabela 2. Lista de clones e espécies/híbridos plantados no sítio experimental e sua respectiva origem climática, segundo a classificação de Köppen (1936). *Clones selecionados para as desfolhas.....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de florestas plantada com o gênero <i>Eucalyptus</i> no Brasil em 2010 e 2015 (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016). .....	6
Figura 2. Classificação climática do Brasil e do Uruguai, de acordo com Köppen (1936), e a distribuição dos 36 sítios experimentais do programa cooperativo TECHS (ALVARES et al., 2013). .....	15
Figura 3. Dendrograma dos 18 clones do TECHS e suas distâncias euclidianas segundo variáveis dendrométricas e de copa. *Clones selecionados para as desfolhas sucessivas, divididos em seis grupos delimitados pelas caixas tracejadas (adaptado de MATTOS, 2015). .....	18
Figura 4. Balanço hídrico do período de 1917 a 1998 do município de Piracicaba, SP. ....	19
Figura 5. Distribuição dos clones no sítio experimental em Piracicaba, SP. *Clones selecionados para as desfolhas. ....	20
Figura 6. Tratamentos e épocas médias em que as desfolhas sucessivas foram aplicadas (não está em escala). .....	21
Figura 7. Segunda desfolha sucessiva manual de 100% das folhas com auxílio de andaime .....	22
Figura 8. Inventários realizados periodicamente. (a) medição semanal de diâmetro à altura do peito, (b) medição da altura total das árvores. ....	23
Figura 9. Árvore submetida à primeira desfolha artificial total e a comparação com indivíduo de porte semelhante com a copa intacta. ....	24
Figura 10. Cronograma de execução das desfolhas e o clima durante o período. ....	26
Figura 11. Uso da sonda de Pressler na amostragem não destrutiva para determinação de teores de carboidratos não estruturais da madeira de clones de eucalipto. ....	27
Figura 12. Variação da temperatura e da precipitação em Piracicaba durante o ano. Onde, “P média” e “T média” são as médias históricas no período entre 1917 e 1998 de precipitação e temperatura, respectivamente. “P obs” e “T obs” são as precipitações e temperaturas observadas durante o experimento (SENTELHAS et al., 1999 e INMET, 2016). ....	30
Figura 13. Balanço hídrico durante o período em que ocorreram as desfolhas .....	30
Figura 14. Condições climáticas e a produção semanal de madeira das árvores não desfolhadas dos 18 clones. (a) precipitação semanal e temperatura média semanal, (b) balanço hídrico, (c) clones não desfolhados, (d) clones mais produtivos desfolhados, (e) clones menos produtivos desfolhados. ....	31
Figura 15. Ranking de produtividade das cinco maiores árvores dos clones aos 14 meses (antes das árvores sofrerem desfolhas). *Clones selecionados para as desfolhas. ....	32
Figura 16. Ranking de produtividade das cinco maiores árvores dos clones aos 28 meses (depois das árvores serem desfolhadas). *Clones com árvores desfolhadas na parcela. ....	33
Figura 17. Relação da profundidade de copa com a área foliar dos 12 clones desfolhados. ....	34
Figura 18. Área foliar individual média dos 12 clones desfolhados em 2015. ....	35

Figura 19. Área foliar estimada e média dos 12 clones ao longo do período experimental. Área foliar quantificada em cada desfolha, representando a recuperação da copa. ....	36
Figura 20. Crescimento do clone A1 ( <i>E. urophylla</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.....	38
Figura 21. Crescimento do clone B2 ( <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	38
Figura 22. Crescimento do clone C3 ( <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	39
Figura 23. Crescimento do clone F6 ( <i>E. benthamii</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.....	39
Figura 24. Crescimento do clone G7 ( <i>E. urophylla</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.....	40
Figura 25. Crescimento do clone I9 ( <i>E. dunnii</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	40
Figura 26. Crescimento do clone J1 ( <i>E. benthamii</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	41
Figura 27. Crescimento do clone K2 ( <i>E. saligna</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	41
Figura 28. Crescimento do clone L3 ( <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	42
Figura 29. Crescimento do clone M4 ( <i>E. dunnii</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	42
Figura 30. Crescimento do clone N5 ( <i>E. dunnii</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	43
Figura 31. Crescimento do clone P7 ( <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> ) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira. ....	43
Figura 32. Diâmetro à altura do peito (DAP) médio de 12 clones antes das desfolhas e as perdas de DAP causadas por desfolhas sucessivas depois de um ano da aplicação da primeira desfolha. ....	45
Figura 33. Alturas totais médias das árvores de 12 clones antes das desfolhas e as perdas de altura causadas por desfolhas sucessivas depois de um ano da aplicação da primeira desfolha. ....	46

Figura 34. Volume individual médio de madeira de 12 clones antes das desfolhas e a perda de volume depois de um ano das aplicações de uma, duas e três desfolhas artificiais totais e sucessivas. ....	48
Figura 35. Biomassa de madeira individual média de 12 clones antes das desfolhas e a perda de biomassa depois de um ano das aplicações de uma, duas e três desfolhas artificiais totais e sucessivas. ....	49
Figura 36. Desfolha total e o aumento da disponibilidade de luz. (a) árvore com a copa intacta, antes da desfolha, (b) árvore com a copa 100% desfolhada, incapaz de utilizar a radiação solar disponível para realizar fotossíntese. ....	50
Figura 37. (a) índice PV50% médio dos clones não desfolhados e desfolhados. (b) valores de PV50% para seis clones não desfolhados e 12 clones desfolhados.....	51
Figura 38. Árvores do clone J1 ( <i>E. benthamii</i> ), com a mesma idade, submetidos a diferentes quantidades de desfolhas. (a) zero desfolhas, (b) uma desfolha, (c) duas desfolhas sucessivas e (d) três desfolhas sucessivas. ....	52
Figura 39. Teores de nutrientes nas folhas de árvores submetidas a zero e três desfolhas sucessivas de 12 clones de eucalipto .....	53
Figura 40. Teor de três Carboidratos Não Estruturais (CNE) em três clones de eucalipto submetidos a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas (zero e duas desfolhas sucessivas). TR = Tempo de recuperação entre a segunda desfolha e a coleta das amostras de madeira .....	55
Figura 41. Amplitude de perdas de produtividade proporcionadas por diferentes quantidades de desfolhas sucessivas em 12 clones de eucalipto um ano após a primeira desfolha.....	56

## RESUMO

A produtividade de plantios de eucalipto no Brasil foi triplicada nas últimas quatro décadas graças, principalmente, à pesquisa intensiva, investimentos em tecnologia silvicultural, clonagem e melhoramento genético. Atualmente, existem diversas pesquisas relacionadas ao gênero *Eucalyptus*, mas são poucas as que abordam o tema estresse biótico por ser uma avaliação complexa e de difícil planejamento e execução. Em Piracicaba, em um sítio experimental com alta sanidade e sobrevivência, foram induzidas uma, duas e três desfolhas sucessivas, retirando-se manualmente todas as folhas da copa das árvores de 12 clones de eucalipto de extrema relevância à silvicultura brasileira. As desfolhas ocorreram aproximadamente aos 15, 19 e 23 meses de idade das árvores, e a avaliação final de perda de produtividade ocorreu aos 27 meses. O crescimento das árvores foi monitorado semanalmente, sendo possível ver o efeito das desfolhas ao longo do período. Os clones de eucalipto escolhidos para este estudo, apesar de pertencerem ao mesmo gênero, mostraram resultados bastante diferentes. O impacto das desfolhas no crescimento das árvores foi imediato e prolongado, com o crescimento próximo à zero por 50 a 120 dias após a desfolha. As desfolhas causaram redução de crescimento em DAP (Diâmetro à Altura do Peito), altura total, volume e biomassa de madeira. As árvores não desfolhadas acabaram dominando as desfolhadas. Isso causou o estiolamento das árvores desfolhadas e a redução da homogeneidade das parcelas. Aos 27 meses, as árvores que sofreram uma desfolha apresentaram biomassa de madeira 48% inferior ao das árvores que não sofreram desfolhas (variando entre 24 e 57% para clones). Duas desfolhas sucessivas causaram redução média de 59% de biomassa (variando entre 49 e 72%) e três desfolhas sucessivas causaram perdas médias de 68% (variando entre 57 e 80%).

---

Palavras-chave: Estresse biótico, herbivoria, carboidratos não estruturais.

PRODUCTIVITY LOSS OF 12 EUCALYPTS CLONES BY SUCCESSIVE ARTIFICIAL DEFOLIATION. Botucatu, 2016. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal / Silvicultura e Genética Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCELLO BONTEMPI PIZZI

Adviser: JOSÉ LUIZ STAPE

### ***SUMMARY***

The Brazilian *Eucalyptus* productivity has tripled in the last four decades, mainly because of intensive research, development of forestry and genetics. Nowadays, there are several studies related to the *Eucalyptus* genus, but only a few address biotic stress, as the subject is of complex evaluation, difficult planning and execution. In Piracicaba, in an experimental site with high health and survival rate, one, two and three successive defoliations were induced, manually removing all the canopy leaves of 12 extremely relevant clones to Brazilian forestry. The defoliations occurred in approximately 15, 19 and 23 months after planting and the final evaluation of productivity occurred at 27 months. Tree growth was weekly monitored, and the effect of defoliation over time was visible. The eucalypts clones chosen for this study, despite belonging to the same genus, showed quite different results. The impact of canopy defoliation on tree growth was immediate and prolonged, with growth close to zero for 50 to 120 days following defoliation. Defoliation caused growth reduction in DBH (Diameter at Breast Height), total height, volume and wood biomass. Defoliated trees were etiolated as the non-defoliated were the dominant trees in the plot. Defoliation reduced plot homogeneity. One year after the first defoliation, the 27-month-old trees that have undergone one defoliation showed 48% lower wood biomass, in comparison with non-defoliated trees (ranging from 24 to 57% by clones). Two successive defoliations caused an average reduction of 59% of biomass (ranging from 49 to 72%) and three successive defoliations caused 68% of losses (ranging from 57 to 80%).

---

Keywords: Biotic stress, herbivory, nonstructural carbohydrates.



## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem destaque mundial pela alta produtividade das florestas plantadas (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016). A alta produtividade dos plantios de eucalipto brasileiros se deve ao desenvolvimento de técnicas silviculturais mais intensivas e ao melhoramento genético, que, a partir da década de 1980, introduziu a estratégia de propagação vegetativa ou clonagem de materiais genéticos com características desejáveis, evitando a variabilidade encontrada em plantios seminais (IPEF, 2000). Entretanto, a clonagem leva a uma simplificação do meio ambiente e o risco de surtos populacionais de insetos que se alimentam das folhas do eucalipto é elevado. As pragas florestais têm estagnado ou mesmo reduzido a produtividade dos plantios, causando grande prejuízo econômico.

A quantidade de pragas e a intensidade com que elas atacam os plantios de eucalipto vêm aumentando ano a ano e têm sido motivo de preocupação para os silvicultores. O aquecimento global pode propiciar o aumento populacional dos insetos e causar secas prolongadas, mudanças que causam grande impacto no crescimento das árvores. Além disso, a demanda por madeira de florestas plantadas está aumentando e os plantios estão expandindo em áreas onde nunca havia se plantado, aumentando a insegurança da silvicultura nacional.

Existem diversas pesquisas relacionadas ao gênero *Eucalyptus*, mas são poucas as que abordam o tema estresse biótico por ser uma avaliação complexa e de difícil planejamento. A maioria dos estudos de efeitos da desfolha foi conduzida utilizando plantas pequenas ou mudas, sendo que estudos que utilizam árvores são raros.

As árvores em campo estão expostas a vários tipos de estresse, o que torna a análise de um estresse isolado complexa (MOONEY; WINNER; PELL, 1991). Devido às grandes quantidades de espécies de eucalipto e de insetos, ainda não se conhece a magnitude dos efeitos que as interações entre planta, praga e outros estresses podem causar.

O programa cooperativo TECHS (Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biótico) visa entender o comportamento de 18 dos clones mais relevantes à silvicultura brasileira sob diferentes níveis de estresses e a interação entre eles (STAPE et al., 2014). O melhor entendimento do impacto do estresse biótico no crescimento e na produtividade do eucalipto será útil para estimar perdas, fazer projeções de crescimento, além de conscientizar produtores sobre a importância do controle de pragas.

### **1.1. Hipóteses**

- i. A primeira desfolha causará maior impacto na produtividade do que as desfolhas subsequentes;
- ii. Clones com menor área foliar serão menos susceptíveis à perda de crescimento pelas desfolhas;
- iii. Os teores de carboidratos não estruturais serão inversamente proporcionais ao número de desfolhas;
- iv. Os carboidratos não estruturais podem servir como um indicador de estresse por desfolhas.

### **1.2. Objetivo**

Quantificar o impacto de desfolhas sucessivas no crescimento de clones de *Eucalyptus*.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O gênero *Eucalyptus*

Para atender à demanda de biomassa de madeira para indústria e energia é necessário o uso de espécies altamente produtivas e de rápido crescimento em plantios florestais de manejo intensivo (LIMA, 1996). Algumas espécies de *Eucalyptus* apresentam estas características e os plantios comerciais brasileiros se iniciaram já em 1909 (MORA; GARCIA, 2000).

*Eucalyptus* é um grande gênero de plantas que inclui mais de 900 espécies e subespécies de ocorrência natural na Austrália e em algumas ilhas ao norte desse país. Apresenta distribuição geográfica ampla com espécies adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas (BROOKER; KLEINIG, 2006).

Sua madeira pode ser utilizada para celulose, papel, lenha, carvão, serraria, móveis, laminação, caixotaria, construções, dormentes, postes, estacas e moirões. O gênero também pode ser usado na produção de óleos essenciais, taninos e mel (MORA; GARCIA, 2000).

O relatório da INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (2016), ano base 2015, reporta que a área total de florestas plantadas com *Eucalyptus* no Brasil alcançou 5,63 milhões de hectares, representando menos de 1% da área total do território nacional. Em 2010, os estados com maior área plantada de florestas de eucalipto eram Minas Gerais, São Paulo e Bahia (Figura 1). De 2010 para 2015, o estado do Mato Grosso do Sul entrou no ranking dos três estados mais plantados, ultrapassando a Bahia.

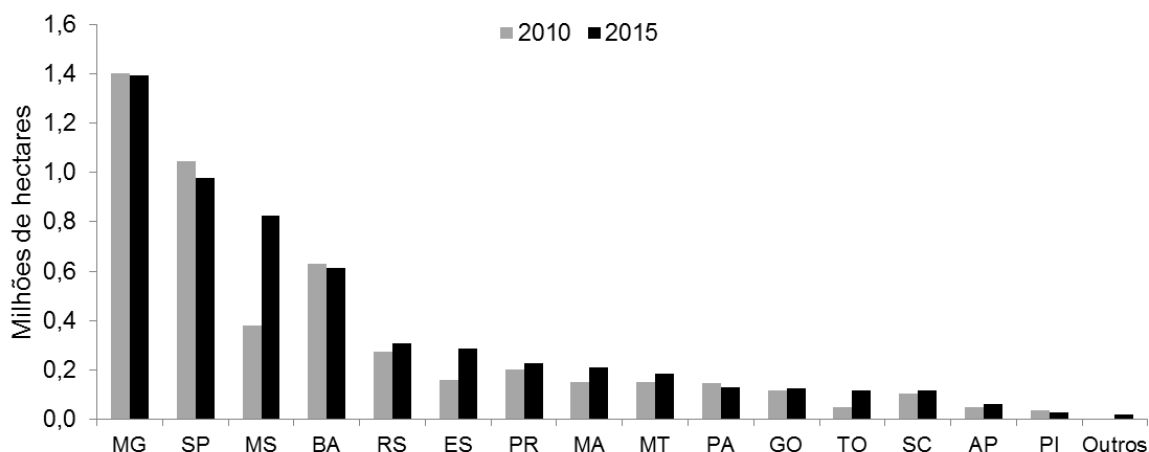


Figura 1. Área de florestas plantada com o gênero *Eucalyptus* no Brasil em 2010 e 2015 (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).

Em julho de 2015, a população mundial atingiu 7,3 bilhões de pessoas e, segundo projeções da ONU (2015), em 2050, esse valor será de 9,7 bilhões de pessoas. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) o consumo de madeira per capita tende a aumentar em 40% o que exigirá o plantio adicional de milhões hectares de eucalipto em todo o mundo (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016). A expansão dos plantios de eucalipto para novas áreas requer muita cautela dos silvicultores pois o crescimento das árvores está muito sujeito às condições edafoclimáticas locais. No Brasil, os plantios estão crescendo para locais onde nunca havia se testado o eucalipto, em estados como MS, TO, MA, MT. Além disso, as altas temperaturas e o déficit hídrico são determinantes na ocorrência de insetos que podem vir a causar danos aos plantios.

Segundo o relatório da INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (2016), o setor de árvores plantadas gerou 540 mil empregos diretamente. No mesmo documento, é estimado que 3,8 milhões de pessoas sejam empregadas diretamente, indiretamente ou pelo resultado do efeito renda das atividades florestais, gerando tributos, matéria-prima, energia e bem-estar para a sociedade (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).

Segundo Queiroz e Barrichelo (2007), na década de 1970, os plantios de *Eucalyptus* brasileiros apresentavam produtividade de apenas  $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Atualmente, o Brasil apresenta uma produtividade média de  $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e a sua condição edafoclimática favorável é citada como responsável pela alta produtividade dos

plantios do gênero (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016). Em povoamentos comerciais intensivamente manejados, a produtividade já atingiu mais de  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (STAPE et al., 2010). Gonçalves et al. (2008), evidenciam que só foi possível atingir a produtividade atual com grandes investimentos em pesquisa e tecnologia nas áreas de silvicultura e genética. Para manter ou aumentar a produtividade é necessário entender os processos ecofisiológicos que controlam o crescimento das árvores (CAMPOE, 2012).

## **2.2. Ecologia da produção e fatores de perda de produtividade**

O crescimento de uma floresta pode ser descrito como uma função do suprimento de recursos, proporção de recursos capturados pelas árvores e eficiência com que essas árvores usam os recursos para fixar dióxido de carbono. O aumento no suprimento, captura ou uso dos recursos aumenta a produtividade de uma floresta (BINKLEY et al., 2010).

Stape (2002) estudou a ecologia de produção do eucalipto em gradiente climático na Bahia, com parcelas abastecidas de água pela precipitação e parcelas com precipitação e irrigação. Curiosamente, as parcelas irrigadas apresentaram maior eficiência do uso da água. Isso ocorreu porque a taxa fotossintética de uma folha depende simultaneamente do suprimento de luz, gás carbônico, água e da concentração de enzimas fotossintéticas, como a Rubisco, por exemplo. Uma folha com adequado suprimento de água pode fixar mais carbono por quantidade de luz interceptada do que uma folha sob estresse hídrico, já que esta está com os estômatos fechados. O aumento da disponibilidade de um recurso limitante logicamente aumenta a eficiência do uso de outros recursos. Neste caso, mais água proporcionou maior fotossíntese sobre o mesmo investimento em biomassa copa.

A produtividade de um plantio florestal é intensamente dependente da interceptação de luz (CAMPOE et al., 2013). Florestas de eucalipto intensivamente manejadas sob condições de grande disponibilidade hídrica e nutricional apresentam maior índice de área foliar e usam os recursos mais eficientemente para produção de madeira (RYAN et al., 2010). A eficiência de utilização da luz pelo dossel de uma floresta depende da sua arquitetura de copa, podendo variar em morfologia, tamanho, ângulo de inserção, orientação, distribuição e espaçamento de folhas e ramos, de acordo com a espécie e a fase de desenvolvimento da planta (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2000; LARCHER, 2003).

Florestas com maior Índice de Área Foliar tendem a ser mais produtivas e, a herbivoria, por causar perda de tecido fotossintetizante, reduz o crescimento das árvores (LARCHER, 2003).

Em áreas de produção, as árvores são continuamente expostas a estímulos ambientais e de manejo que influenciam seu crescimento e desenvolvimento (LEVITT, 1980). Em alguns casos, esses estímulos, bióticos ou abióticos, causam a redução da taxa de um ou vários processos fisiológicos, caracterizando um estresse (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2000). Ao longo do ciclo de cultivo, a plantação é continuamente exposta a vários tipos de estresse, o que torna a análise de um estresse isolado complexa (MOONEY; WINNER; PELL, 1991). A produtividade dos plantios florestais tende a ser inferior ao potencial genético do eucalipto em função de um ou vários estresses ambientais que ocorrem durante o ciclo de cultivo (ASHRAF; HARRIS, 2005).

As plantas, geralmente, respondem às situações de estresse através de reduções da taxa de crescimento e mudança nos padrões de alocação de carbono. Argumentos baseados em economia de recursos sugerem que as plantas podem minimizar os custos de crescimento, e desta forma, maximizar a taxa de crescimento, se a alocação de carbono estiver ajustada de maneira que todos os recursos estão igualmente limitando o crescimento (BLOOM; CHAPIN III; MOONEY, 1985). Dessa forma, espera-se maior alocação de carbono nas folhas quando ocorrer uma desfolha, ou maior alocação de carbono nas raízes em resposta às limitações hídricas ou nutricionais. Árvores de *Eucalyptus* abastecidas com mais água produzem mais carboidratos e alocam uma porção maior dos recursos para produção de madeira (RYAN et al., 2010).

Florestas de eucalipto homogêneas produzem até 22% mais madeira em relação às florestas com heterogeneidade moderada a alta (STAPE et al., 2010; LUU; BINKLEY; STAPE, 2013). Isso ocorre porque as plantas dominadas apresentam eficiência do uso de recursos inferior à das plantas dominantes (BINKLEY et al., 2010). Os estresses ambientais causam redução da produtividade diretamente, nas árvores afetadas, e indiretamente, reduzindo a homogeneidade do talhão.

A produtividade está em estreita relação com as condições predominantes do ambiente e com os tipos ecofisiologicamente distintos. Por exemplo, a alta produtividade promovida por condições abióticas favoráveis é uma condição prévia para o rápido crescimento e colonização das plantas ruderais, pioneiras e espécies com eficientes estratégias de competição (GRIME, 2006). Por outro lado, plantas de locais

frios, secos ou pobres em nutrientes apresentam crescimento lento, porém seguro, e, desta forma, mantêm um moderado balanço hídrico, mineral e de carbono (LARCHER, 2003). Battaglia et al. (2011) mostraram que a taxa de refolha muitas vezes é o componente mais importante da recuperação da produtividade da copa.

Segundo Ashraf e Harris (2005), estresse abiótico é aquele proveniente da interação do organismo com o meio ambiente. Como exemplos, os autores citam salinidade, seca, inundação, presença de metais pesados, deficiência nutricional, exposição aos raios UV, fotoinibição, baixa luminosidade, poluição do ar, vento, granizo, altas e baixas temperaturas.

Estresse biótico é aquele que ocorre através de interações entre planta e organismos vivos, como a competição por recursos, parasitismo, alelopatia, predação (ASHRAF; HARRIS, 2005). A predação pode ser dividida em duas categorias, a herbivoria e a desfolha. A primeira causa dano parcial na folha, com retirada de pedaços, enquanto a segunda causa dano total, com a retirada da folha completa do vegetal (TRLICA; RITTENHOUSE, 1993).

A herbivoria e a desfolha afetam as plantas de diferentes formas, a saber: (i) perda de tecido fotossintetizante; (ii) perda de produtividade futura; (iii) gastos energéticos para recompor área foliar; (iv) gastos energéticos para produzir componentes químicos de defesa; (v) produção de tecidos menos palatáveis que também apresentam taxa fotossintética inferior (CHABOT; HICKS, 1982).

A herbivoria tem estagnado ou mesmo reduzido a produtividade florestal (PINKARD, 2003; STAPE et al., 2014). Clones de eucalipto adaptados aos estresses abióticos de uma região não garantem a produtividade adequada já que a ocorrência de danos causados por pragas e doenças vem aumentando ano a ano (FREITAS; BERTI FILHO, 1994; STAPE et al., 2014). Além disso, com as mudanças climáticas, as ocorrências de secas severas serão mais comuns (JACQUET et al., 2014), o que pode agravar os impactos dos estresses bióticos (GRIME, 2006; GALIANO; MARTÍNEZ-VILALTA; LLORET, 2011; STAPE et al., 2014).

### **2.3. Principais pragas desfolhadoras do eucalipto**

Os insetos são componentes vitais de ecossistemas florestais, onde promovem serviços variando desde polinização até o consumo de tecidos lenhosos mortos

ou de árvores que estão morrendo. Entretanto, os insetos podem tornar-se pragas sérias, causando danos como mortalidade de árvores e a perda de produtividade (PIMENTEL, 2002).

As mudanças climáticas podem aumentar a frequência e a severidade com que as pragas ocorrem (WILLOUGHBY et al., 2009). Embora ocorram pragas há muitos anos em plantios florestais, novos problemas continuam a aparecer em função da introdução de insetos em novas regiões geográficas (PIMENTEL, 2002). Isso vem ocorrendo, principalmente, depois da década de 1990 e o psilídeo-de-concha, percevejo-bronzeado e vespa-da-galha são exemplos de insetos exóticos que atacam os plantios brasileiros (WILCKEN et al., 2011).

#### **2.4. Perda de produtividade por pragas**

O termo praga é utilizado, por exemplo, para populações de insetos que afetam a produção, causando dano econômico (NAKANO; SILVEIRA NETO; ZUCCHI, 1981). A desfolha nem sempre causa danos econômicos aos plantios de eucalipto. Existem estudos em que as desfolhas, em casos específicos e em baixa intensidade, não causaram perdas de produtividade ou até beneficiaram o crescimento das plantas (OWEN; WIEGERT, 1976; MCNAUGHTON, 1983; MCNAUGHTON; CHAPIN III, 1985). Todavia, muitos trabalhos evidenciam a perda de produtividade causada por pragas desfolhadoras (TRLICA; RITTENHOUSE, 1993; PINKARD; BATTAGLIA; MOHAMMED, 2007; BATTAGLIA et al., 2011; JACQUET; ORAZIO; JACTEL, 2012).

As florestas de eucalipto estão sujeitas à ocorrência de uma ou várias desfolhas ao longo do ciclo de cultivo e as perdas, mesmo que pequenas, são quase uma regra (BARRY et al., 2011). Schowalter (2000) estima que as perdas de produtividade causadas por herbivoria estão entre 5 e 10%, mas esse valor varia e pode ser muito maior em alguns casos.

Segundo Amante (1967), apenas um saubeiro adulto por hectare teoricamente consome uma tonelada de folhas por ano, o que corresponde a todas as folhas de 86 árvores de *Eucalyptus*, representado 12% de redução de produtividade. Della Lúcia (2011) afirma que só as formigas cortadeiras são responsáveis por 12 a 17% das perdas de produção florestal no Brasil. Segundo a pesquisadora, apenas um desfolhamento total em *Eucalyptus*, no primeiro ano de vida, provoca perdas de 13% do volume de madeira no



final de um ciclo de sete anos. Já no caso de desfolhas sucessivas, as perdas de produtividade podem ser tão expressivas a ponto de tornar um plantio florestal economicamente inviável (MATRANGOLO et al., 2010).

As pragas causam prejuízos por perda de produtividade e por gastos em operações de controle fitossanitário. O controle da população de formigas cortadeiras é fundamental aos plantios florestais brasileiros (TIMOFEICZYK, 1998) e deve ser realizado sempre que o prejuízo causado for maior que o custo de controle (NAKANO; SILVEIRA NETO; ZUCCHI, 1981). Quando a infestação é alta, os custos para combater as formigas podem chegar a 30% do custo de uma floresta ao final do terceiro ciclo produtivo (MARICONI; MENDES FILHO; MORAES, 1981), o que ressalta a importância do monitoramento e controle adequado de pragas.

## **2.5. Desfolha natural vs. artificial**

Após a desfolha por pragas, as plantas produzem componentes químicos para tornar a folha menos atrativa aos herbívoros (LOWMAN; RINKER, 2004). Porém, até a rustificação, as folhas são mais tenras e apresentam maior teor de umidade, o que as tornam mais susceptíveis aos ataques do que as folhas de plantas que nunca foram desfolhadas (FAETH, 1992).

As respostas das plantas submetidas a desfolhas artificiais ou naturais nem sempre são semelhantes, mesmo quando a quantidade de biomassa foliar é rigidamente controlada. Isso ocorre porque, além dos insetos se alimentarem das folhas, eles causam fitotoxidade ao se locomover sobre o vegetal e sua saliva entra no metabolismo na planta, ao cortar os tecidos fotossintetizantes. Mithöfer et al. (2005) sugeriram que a fitotoxidade afeta mais a resposta da planta do que a saliva dos insetos, ainda assim, alguns componentes da saliva também são responsáveis por mudanças importantes no metabolismo vegetal (STEINBAUER, 1997). Os autores mostraram que a saliva de um percevejo causou murcha e necrose em brotos apicais de mudas de eucalipto, levando às perdas de dominância apical e crescimento em altura, enquanto que plantas cortadas com tesouras não foram afetadas da mesma forma e intensidade.

Estudos de campo relacionados à herbivoria e desfolha são raros em função das inúmeras dificuldades envolvidas, principalmente quando em árvores adultas. A desfolha artificial possibilita a criação de diferentes níveis e tipos de desfolha,

em períodos específicos, tornando a análise estatística dos dados viável, já que os tratamentos podem ser controlados e medidos (HJÄLTÉN, 2004).

Devido a grande quantidade de espécies de insetos e plantas, ainda não se conhece a magnitude dos efeitos que as interações podem causar (LOWMAN; RINKER, 2004). Experimentos que visam simular os efeitos de uma praga específica devem levar em consideração a idade dos insetos, níveis populacionais, época de alimentação, tipo de dano, condições edafoclimáticas e a idade das plantas (MEYER, 1998; MATTHEWS; MATTHEWS, 2010). Com relação ao vegetal, variáveis a serem consideradas na determinação dos efeitos causados pelas desfolhas são a época do estresse, oportunidade de recuperação, frequência e intensidade das desfolhas (TRLICA; RITTENHOUSE, 1993).

Quentin et al. (2010) compararam os efeitos das desfolhas naturais e artificiais em mudas de *Eucalyptus globulus*. Eles verificaram que ambas aumentaram a taxa fotossintética saturada por luz, condutância estomática e reduziram o crescimento em diâmetro. Entretanto, apenas na desfolha natural, houve redução de crescimento em altura, sugerindo que a desfolha artificial possa subestimar os danos da herbivoria. A conclusão dos autores foi de que a desfolha artificial se apresenta como uma alternativa útil para o estudo do efeito de desfolhas sucessivas sobre a produtividade, oferecendo resultados importantes sobre as respostas ecológicas, fisiológicas e morfológicas das plantas à herbivoria.

## **2.6. Carboidratos não estruturais**

Os carboidratos são as moléculas orgânicas mais abundantes da natureza (CHAMPE; HARVEY; FERRIER, 2007) e podem ser classificados, de acordo com o número de ligações glicosídicas, em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Nos vegetais, os carboidratos são tradicionalmente divididos em dois tipos, os recalcitrantes (estruturais, como a celulose) e os lábeis (não estruturais, como a glicose) (HOCH, 2007).

Após ocorrência de desfolha, alterações dos teores de carboidratos não estruturais foram detectadas em diversas espécies florestais (HOOGESTEGGER; KARLSSON, 1992; OVASKA et al., 1993; VANDERKLEIN; REICH, 1999; CHEN; SPREITZER, 2001), incluindo-se espécies de eucalipto (PINKARD, 2003; PINKARD et

al., 1998; TURNBULL et al., 2007; BATTAGLIA et al., 2011). A reserva de carboidratos não estruturais das plantas pode ser utilizada em períodos de alta demanda, como quando o clima é desfavorável, quando há competição por recursos, quando ocorre a produção de flores e frutos e até mesmo quando a copa é atacada por insetos, herbívoros ou incêndios florestais (MOONEY, 1972).

O conhecimento empírico dos silvicultores prescreve que uma árvore de eucalipto morre ao ter as suas folhas cortadas três vezes seguidas (MENDES FILHO, 1981). Entretanto, cada genótipo apresenta diferentes estratégias de crescimento. Existem espécies que são altamente produtivas somente enquanto as condições ambientais forem favoráveis (GRIME, 2006). No caso de plantas nativas de lugares frios, secos ou pobres em nutrientes, um balanço moderado de água, minerais e carboidratos não estruturais é mantido mesmo em condições ótimas de crescimento, apresentando um crescimento lento, porém seguro (LARCHER, 2003).

Os carboidratos participam de diversas funções no metabolismo vegetal e, exatamente por isso, existem muitas formas em que eles ocorrem nas plantas (GERMINO, 2015). Muitos estudos focam na análise de dois carboidratos solúveis: glicose, frutose; e um não solúvel: amido (QUENTIN et al., 2015). Os assimilados da fotossíntese são continuamente distribuídos por toda a planta de forma sistemática, porém flexível, com o objetivo de suprir as necessidades dos órgãos vegetais (LARCHER, 2003). Os carboidratos são estocados em diversos tipos de tecidos, como folhas, fuste, raízes ou órgão especializados (LARCHER, 2003).

A dinâmica do estoque de carboidratos não estruturais em plantas ainda não foi bem compreendida (GERMINO, 2015). Com a determinação quantitativa de como diferentes plantas obtém, alocam e usam seus carboidratos não estruturais, é provável que seja possível prever o seu desempenho e produtividade em qualquer ambiente em combinação com qualquer competidor ou predador (MOONEY, 1972).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Classificação climática do Brasil e o Programa Cooperativo TECHS

Os plantios clonais são hoje uma regra em plantios de eucalipto, tanto nas áreas tradicionais de produção como nas novas fronteiras florestais. No entanto, enquanto nas áreas tradicionais há uma maior segurança quanto à adaptação e capacidade produtiva dos clones, em novas áreas há maiores riscos de perda de produtividade devido a estresses ambientais distintos daqueles de onde os clones foram selecionados (STAPE et al., 2014).

Estudar a interação entre o genótipo e o ambiente é essencial para entender os processos que governam a produtividade dos plantios florestais e permitir um uso mais eficiente de recursos pelo silvicultor (STAPE et al., 2004). Ainda existem poucos trabalhos realizados sobre desfolhas em eucalipto, principalmente quando os plantios são adultos e as árvores já estão altas.

O Programa Cooperativo Sobre Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biológico (TECHS - <http://www.ipef.br/techs/>) visa, através de uma rede experimental (Figura 2), investigar com alto grau de acurácia os principais estresses ambientais que afetam os plantios de eucalipto, e como os distintos materiais genéticos respondem ecofisiologicamente frente aos mesmos, buscando identificar a existência de um próximo patamar seguro de produtividade florestal (STAPE et al., 2014). A descrição dos tipos climáticos de Köppen (1936) está disponível na Tabela 1.

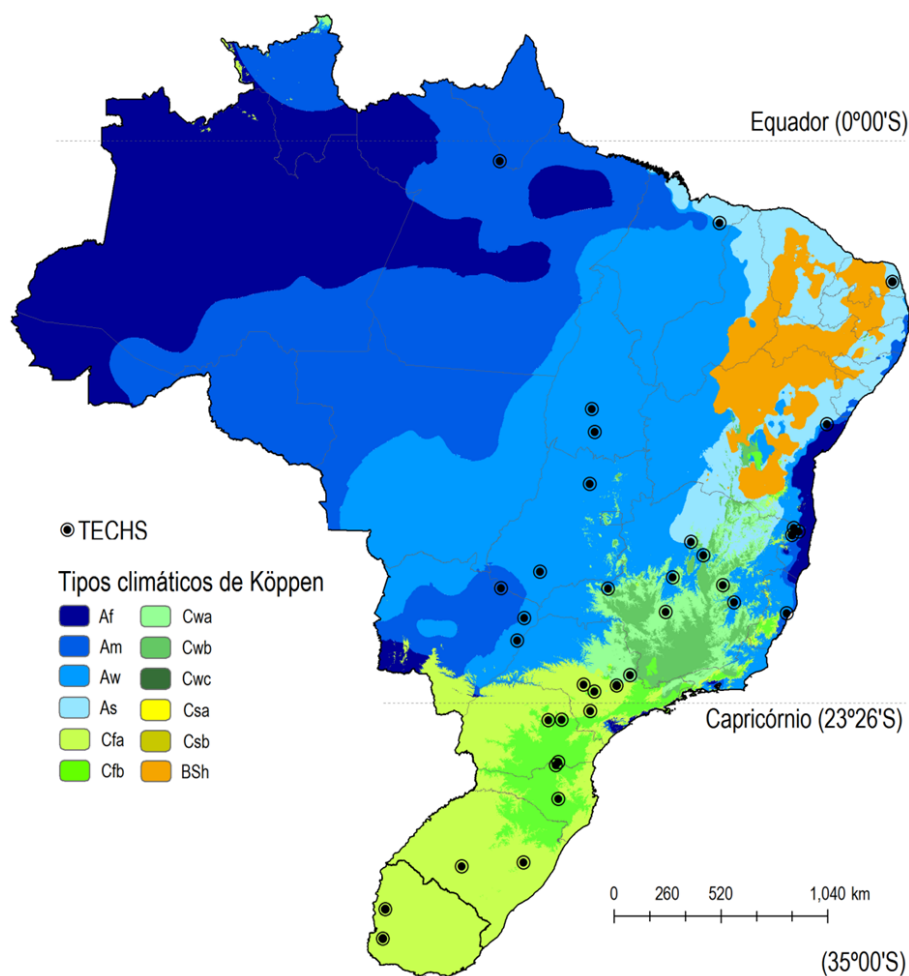


Figura 2. Classificação climática do Brasil e do Uruguai, de acordo com Köppen (1936), e a distribuição dos 36 sítios experimentais do programa cooperativo TECHS (ALVARES et al., 2013).

Tabela 1. Descrição dos tipos climáticos do Brasil, segundo a classificação de Köppen (1936) (ALVARES et al., 2013).

		Descrição	Símbolo
(A) Tropical		(f) sem estação seca	Af
		(m) monçônico	Am
		(s) com verão seco	As
		(w) com inverno seco	Aw
(B) Seco	(S) Semi-árido	(h) de baixa altitude e latitude	BSh
(C) Subtropical úmido	(f) Clima oceânico, sem estação seca	(a) e com verão quente	Cfa
		(b) e com verão temperado	Cfb
	(w) com inverno seco	(a) e com verão quente	Cwa
		(b) e com verão temperado	Cwb
		(c) e com verão curto e temperado	Cwc
	(s) com verão seco	(a) e quente	Csa
(b) e temperado		Csb	

Devido às diferentes respostas dos clones ao déficit hídrico, às altas e baixas temperaturas, ou às geadas, por exemplo, podem-se investigar os processos ecofisiológicos da planta que levam a estes comportamentos por meio de um desenho experimental que contemple a variação do agente causador do estresse e a variação dos materiais genéticos, determinando não só o crescimento, mas os fluxos de carbono, água e nutrientes para caracterizar e “explicar fisiologicamente” o comportamento diferenciado entre os materiais testados (STAPE et al., 2014).



















### **3.2. Sítio experimental e histórico da área**

O estudo foi conduzido em um dos 36 sítios experimentais do programa TECHS, localizado na Fazenda Areão em Piracicaba-SP (22°41'33" S, 47°38'44" O), pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). O local do experimento faz parte de uma fazenda de experimentação da universidade e diversas culturas já foram implantadas previamente ao eucalipto, entre as mais recentes estão maracujá e pastagem.

### **3.3. Materiais genéticos**

Após longas considerações sobre produtividade, plasticidade e fitossanidade, os melhoristas das empresas florestais que participam do programa cooperativo TECHS definiram os 18 clones que fariam parte do estudo (Tabela 2). Estes clones representam os diferentes materiais genéticos em uso atualmente, mas com distintas características de origem climática, *pedigree*, susceptibilidade aos estresses hídricos e térmicos. Todos os 18 clones pertencem às empresas florestais participantes do projeto TECHS e são de grande relevância à silvicultura brasileira.

Tabela 2. Lista de clones e espécies/híbridos plantados no sítio experimental e sua respectiva origem climática, segundo a classificação de Köppen (1936). \*Clones selecionados para as desfolhas.

Clone	Espécie / híbrido	Origem climática
A1*	<i>E. urophylla</i>	 Cwa
B2*	<i>E. urophylla x E. grandis</i>	 Aw
C3*	<i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	 As
D4	<i>E. grandis x E. urophylla</i>	 Aw
E5	<i>E. urophylla</i>	 Cwa
F6*	<i>E. benthamii</i>	 Cfb
G7*	<i>E. urophylla</i>	 Cwa
H8	<i>E. grandis x E. urophylla</i>	 Am
I9*	<i>E. dunnii</i>	 Cfb
J1*	<i>E. benthamii</i>	 Cfb
K2*	<i>E. saligna</i>	 Cfb
L3*	<i>E. urophylla x E. globulus</i>	 Cfb
M4*	<i>E. dunnii</i>	 Cfb
N5*	<i>E. dunnii</i>	 Cfb
O6	<i>E. grandis</i>	 Cfb
P7*	<i>E. urophylla x E. tereticornis</i>	 As
Q8	<i>E. grandis</i>	 Af
R9	<i>E. urophylla</i>	 Aw

### 3.4. Seleção dos materiais genéticos

Não foi possível estudar o efeito de desfolhas sucessivas nos 18 clones do TECHS devido à alta demanda de tempo, mão-de-obra e recursos necessários. Para obter a maior variabilidade possível, os materiais genéticos passaram por uma análise de agrupamento segundo variáveis dendrométricas e variáveis de copa, realizada por Mattos (2015). O autor estudou os mesmos 18 clones, no sítio do TECHS localizado na Fazenda Santa Maria II (23°51'10,8" S; 48°42'3,6" O), propriedade da companhia Duratex S. A., município de Buri, SP. As variáveis dendrométricas consideradas foram incremento corrente anual, estoque de madeira, área basal, altura das árvores, altura das plantas dominantes e relação hipsométrica. As variáveis de copa consideradas foram ângulo de inserção foliar, área foliar específica, índice de área foliar, volume da copa e densidade de área foliar.

A análise de agrupamento foi realizada segundo o método de *Ward*, em que se busca a minimização da soma de quadrados dos resíduos. O resultado da análise de agrupamento é um dendrograma com as distâncias euclidianas entre os clones. Essa

distância é uma medida de dissimilaridade, desta forma, clones mais diferentes apresentam maiores distâncias euclidianas entre si. Entre as distâncias euclidianas de quatro e seis, foi traçada uma linha arbitrária que divide os 18 clones do TECHS em seis grupos (Figura 3). Ao todo, foram selecionados 12 clones para as desfolhas, sendo pelo menos um de cada grupo.

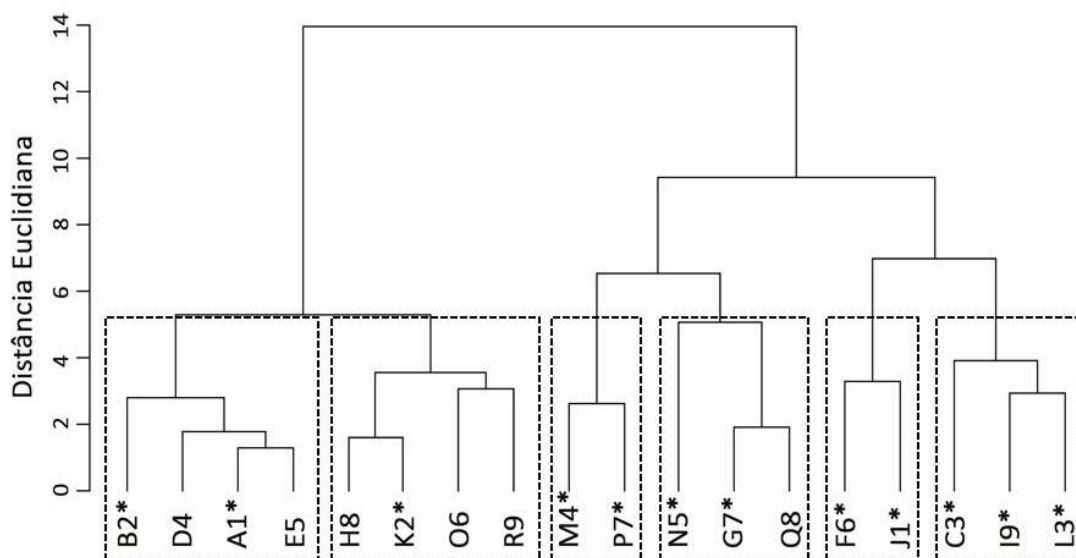


Figura 3. Dendrograma dos 18 clones do TECHS e suas distâncias euclidianas segundo variáveis dendrométricas e de copa. \*Clones selecionados para as desfolhas sucessivas, divididos em seis grupos delimitados pelas caixas tracejadas (adaptado de MATTOS, 2015).

### 3.5. Clima e monitoramento meteorológico

Segundo a classificação de Köppen (1936), o clima de Piracicaba é do tipo Cwa, podendo ser descrito como subtropical úmido com verões quentes e chuvosos e invernos moderadamente frios e secos. A temperatura média e a precipitação anual foram de 21,6 °C e 1.230 mm, respectivamente, no período de 1917 a 1998 (SENTELHAS et al., 1999). Apesar de a precipitação anual ser relativamente boa, devido à má distribuição de chuvas, historicamente, o período entre abril e outubro apresenta déficit hídrico (Figura 4).



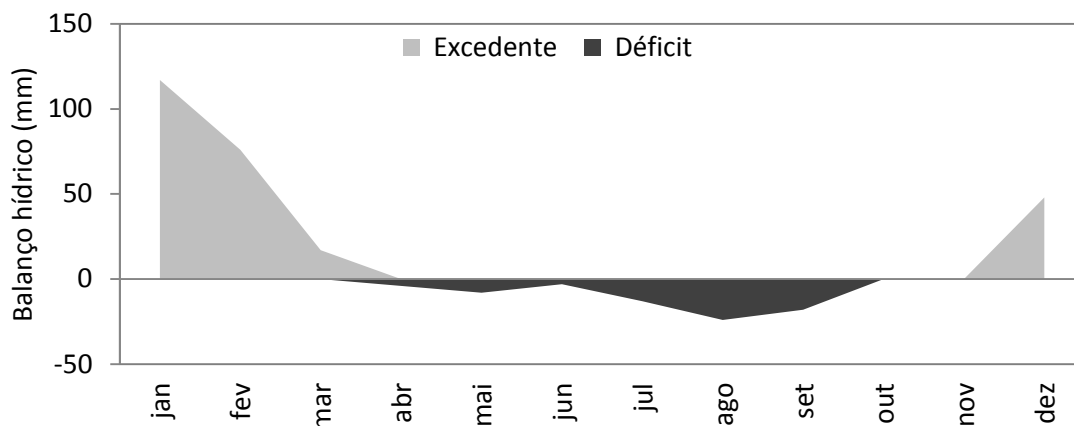


Figura 4. Balanço hídrico do período de 1917 a 1998 do município de Piracicaba, SP.

### 3.6. Relevo e solo

Torrado (2004) abriu uma trincheira a cerca de 50 metros do local deste estudo e realizou a descrição do solo, classificando-o como Nitossolo Vermelho distrófico textura argilosa. Segundo o autor, o solo vem da formação Corumbataí, o material de origem é o siltito, o relevo é suave ondulado e a altitude é de 550 m. Mesmo sendo um solo muito argiloso nos horizontes mais profundos, a drenagem é considerada boa. Toda a descrição química, física e morfológica do solo está disponível no Apêndice 1.

### 3.7. Implantação e manutenção do sítio experimental

Ao todo, o experimento apresenta 360 árvores, desconsiderando as bordaduras. Visando o melhor aproveitamento da área disponibilizada pela fazenda, cada um dos 18 clones foi disposto em uma parcela com 20 plantas, conforme a Figura 5. O plantio foi realizado no espaçamento 5,06 m<sup>2</sup> por planta (2,20 m x 2,30 m) em 1 de dezembro de 2013. A área foi adubada com 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e quatro adubações, sendo uma de base (300 g planta<sup>-1</sup> de NPK 03:17:00 + FTE Br 12), e três de cobertura. Essas ocorreram três, cinco e 12 meses após o plantio com 150, 150 e 200 g planta<sup>-1</sup> de NPK 20:00:20, respectivamente. Segundo análise química do solo (Apêndice 1), não era necessária a calagem nem a adubação, entretanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do estresse biótico, por isso, as adubações foram realizadas garantindo as necessidades nutricionais de todos os clones. Além dos cuidados com a adubação, as ervas daninhas também foram controladas durante todo o período do experimento.

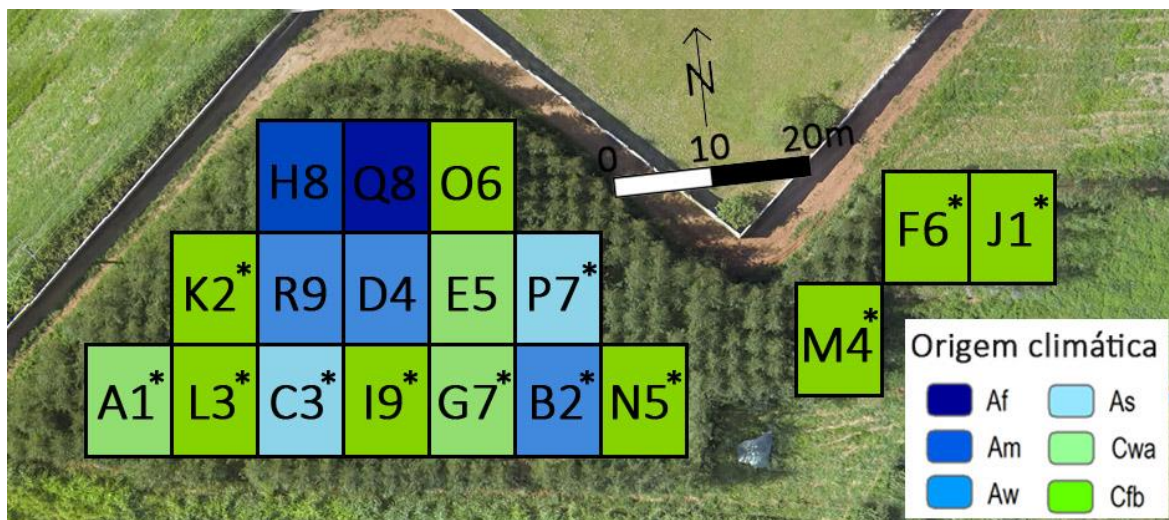


Figura 5. Distribuição dos clones no sítio experimental em Piracicaba, SP. \*Clones selecionados para as desfolhas.

### 3.8. Desfolhas sucessivas

As 20 árvores da parcela foram classificadas de acordo com o DAP da menor para a maior, sendo escolhidas as árvores ímpares para a desfolha, ou seja, primeira, terceira, quinta árvore e assim por diante, totalizando 10 árvores de diferentes tamanhos. Dessas 10 árvores, 6 sofreram a segunda desfolha sucessiva. Posteriormente, dessas 6, 3 foram sofreram a terceira desfolha sucessiva (Figura 6). As 20 árvores da parcela foram divididas em quatro tratamentos: i) 10 árvores que não foram desfolhadas; ii) 4 árvores que sofreram uma desfolha; iii) 3 árvores que sofreram duas desfolhas sucessivas; e iv) 3 árvores que sofreram três desfolhas sucessivas (Apêndice 2). Entre cada desfolha, as árvores tiveram um período de quatro meses de recuperação. A primeira desfolha ocorreu aproximadamente aos 15 meses de idade das árvores, a segunda e terceira desfolhas ocorreram aos 19 e 23 meses, respectivamente. Aproximadamente aos 27 meses foi realizada a avaliação final de perda de produtividade.

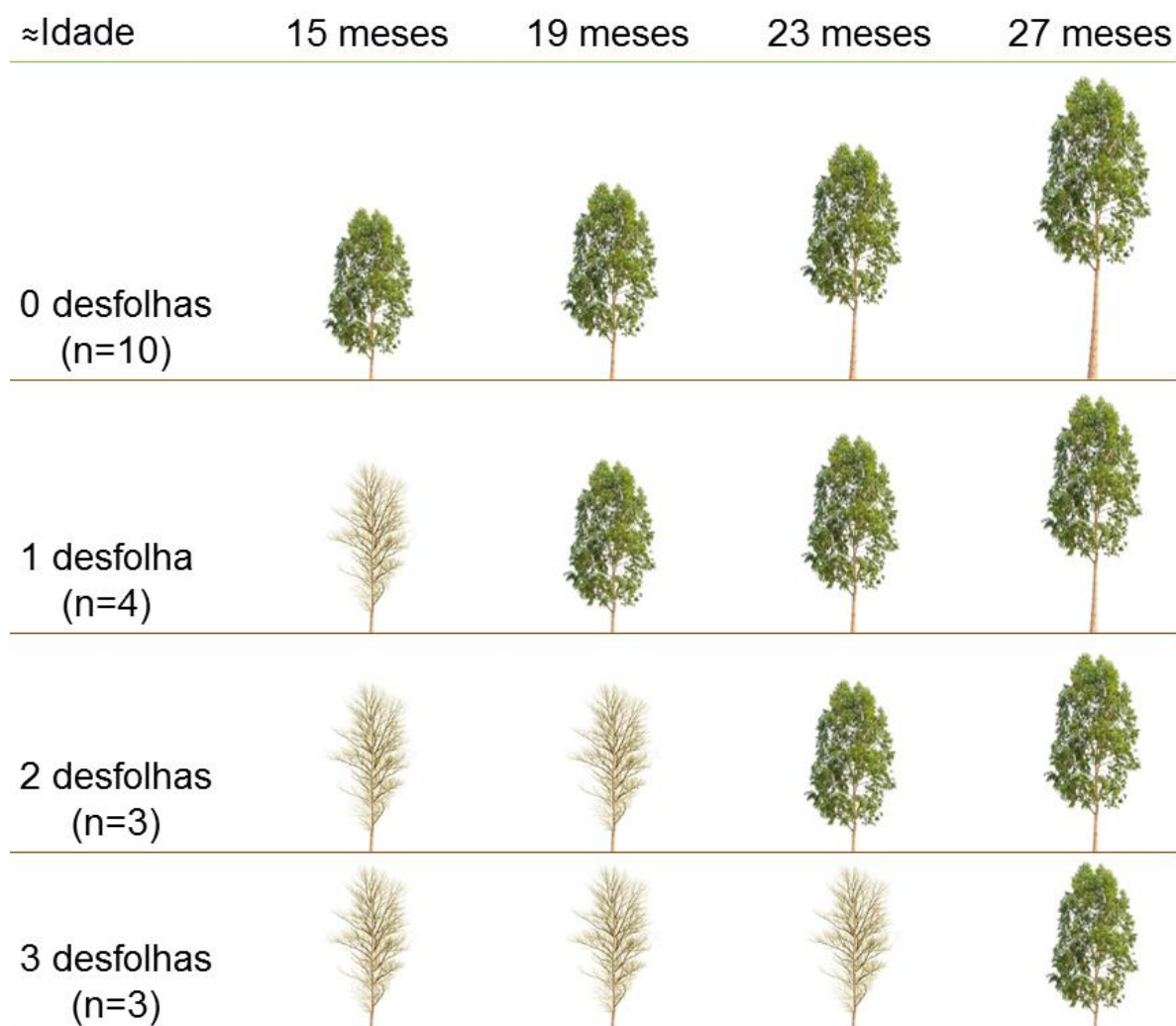


Figura 6. Tratamentos e épocas médias em que as desfolhas sucessivas foram aplicadas (não está em escala).

### 3.9. Quantificação da copa

Com o auxílio de andaimes (Figura 7), as desfolhas ocorreram manualmente e 100% das folhas da copa foram retiradas, evitando-se danos a galhos para simular o efeito de pragas desfolhadoras. As folhas foram pesadas em campo com balança digital portátil de gancho com precisão de uma casa decimal e valores de peso úmido expressos em gramas. Após pesagem foram retiradas amostras para determinação de umidade e Área Foliar Específica (AFE).



Figura 7. Segunda desfolha sucessiva manual de 100% das folhas com auxílio de andaime

### **3.10. Teor de umidade foliar**

As folhas da copa foram homogeneizadas e 300 g de folhas úmidas foram coletadas e pesadas em laboratório com balança digital com duas casas decimais e valores expressos em gramas. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 65°C até peso constante e obteve-se o peso seco.

### **3.11. Acompanhamento do crescimento do tronco e da copa das árvores**

Com um ano de idade, as árvores tiveram os fustes marcados a 1,30 m do solo, com tinta inofensiva à planta, para que as medidas semanais de Diâmetro à Altura do Peito (DAP) fossem realizadas sempre no mesmo local (Figura 8, a), com fita métrica, a fim de reduzir erros de inventário. As mensurações das Alturas Totais (Ht) das árvores foram realizadas mensalmente com clinômetro digital e trena (Figura 8, b). Nas medições de Ht foram realizadas medições de Início de Copa (IC) e, com a diferença entre Ht e IC, obteve-se a Profundidade de Copa (PC) de cada árvore.





Figura 8. Inventários realizados periodicamente. (a) medição semanal de diâmetro à altura do peito, (b) medição da altura total das árvores.

### 3.12. Área foliar específica e área foliar total

Depois da homogeneização das folhas da copa de cada árvore, foram escolhidas 45 folhas que representassem a copa e que não estivessem quebradas, rasgadas ou que apresentassem sinais de ataque de pragas, doenças ou deficiência nutricional. Em campo, as amostras foram armazenadas em recipiente térmico e, ao final de cada dia, em laboratório, foram armazenadas em geladeira. As amostras foram retiradas do saco plástico, enxugadas com papel absorvente e colocadas no scanner LI-3100 *area meter*, sem que houvesse sobreposição. As áreas foliares foram expressas em  $\text{cm}^2$  com duas casas decimais de precisão. Após análise da área, as amostras foram levadas à estufa a  $65^\circ\text{C}$  até peso constante e os pesos secos foram avaliados em balança digital com duas casas de precisão, com valores expressos em gramas.

A área foliar total das árvores (expressa em  $\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$ ) foi calculada como a massa seca de folhas (expressa em  $\text{kg} \text{árvore}^{-1}$ ) multiplicada pela área foliar específica (expressa em  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ ). Na primeira desfolha, as árvores estavam com as

folhas intactas e cada árvore teve a copa devidamente desfolhada e quantificada (Figura 9). Foram realizadas regressões lineares entre AF de cada clone e a Profundidade de Copa (PC) que ele apresentava no momento da desfolha (Equação 1).



Figura 9. Árvore submetida à primeira desfolha artificial total e a comparação com indivíduo de porte semelhante com a copa intacta.

$$(1) \quad AF = \beta PC$$

Onde,

AF = Área Foliar ( $\text{m}^2 \text{ árvore}^{-1}$ )

$\beta$  = Coeficiente da equação

PC = Profundidade de copa (m)

### 3.13. Volume e biomassa de madeira

Existe grande interesse em continuar a avaliação do impacto das desfolhas sucessivas, todavia, o sítio experimental do TECHS em Piracicaba não apresenta

parcelas destrutivas. Optou-se, então, por realizar apenas amostragens não destrutivas e, para fins de cálculo de fator de forma, volume e biomassa, foram tomadas como base as equações do sítio experimental localizado no município de Buri, SP. O sítio fica a pouco mais de 150 km de distância em linha reta do sítio de Piracicaba, apresenta os 18 clones do estudo e contém parcelas passivas de manuseio. A biomassa e a cubagem foram realizadas por Mattos (2015), em Buri, quando as árvores apresentavam 27 meses, mesma idade do sítio de Piracicaba em março de 2016, quando a produtividade final foi avaliada. As equações de volume e biomassa de madeira, assim como os coeficientes das equações para cada clone estão disponíveis no Apêndice 3.

### **3.14. Produtividade comparável**

A produtividade dos 18 clones do sítio experimental foi comparada através da avaliação da produção de volume madeira em duas idades. Para essa comparação foram utilizadas as cinco árvores de cada clone que apresentavam os maiores volumes antes das desfolhas, aos 14 meses. Essas árvores não sofreram desfolhas e foram escolhidas em função de apresentarem maior porte e consequente maior vantagem competitiva. Nova comparação, das mesmas cinco árvores, foi realizada aos 28 meses, depois das desfolhas, para verificar se o ranking de produtividade se mantinha.

### **3.15. Perda de produtividade por desfolhas sucessivas**

Os clones foram desfolhados sempre na mesma sequência e a idade exata das árvores no momento da primeira desfolha, assim como as datas em que as desfolhas sucessivas ocorreram podem ser visualizadas no Apêndice 4. No final de janeiro de 2015 iniciou-se a primeira desfolha que durou cerca de três meses, do primeiro ao último clone desfolhado. A segunda e a terceira desfolha foram aplicadas cerca de quatro meses depois da árvore sofrer a desfolha anterior e, consequentemente, também duraram três meses cada (Figura 10). Para minimizar o efeito da variação climática ao longo do ano e para evitar que clones tivessem tempos de recuperação diferentes, o início das avaliações de perdas de produtividade foi defasado em três meses do primeiro ao último clone desfolhado, sendo contadas em dias após a primeira desfolha.

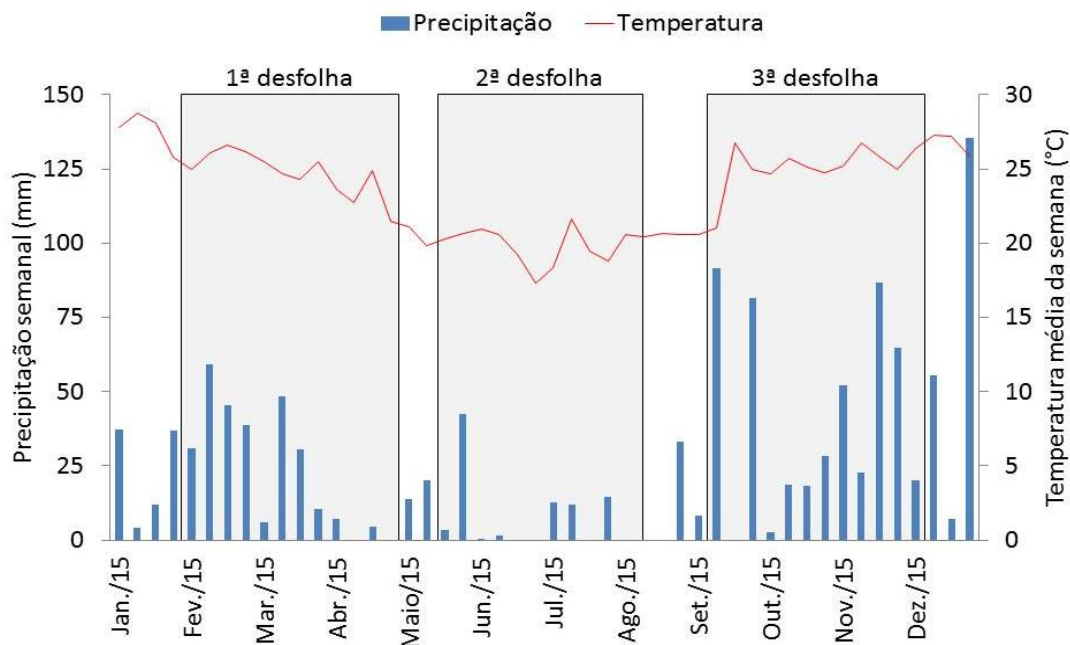


Figura 10. Cronograma de execução das desfolhas e o clima durante o período

### 3.16. Uniformidade das parcelas

A uniformidade da parcela foi calculada com base em um indicador de qualidade silvicultural denominado índice PV50. Sugerido por Stape, Rocha e Donatti (2006), o índice consiste na porcentagem de volume acumulado pela metade das árvores com o menor volume individual da parcela amostral. Em um cenário ideal, em que todas as árvores da parcela são iguais, metade das árvores representa metade do volume da parcela. Para avaliar se as desfolhas diminuem a uniformidade das parcelas, comparou-se o índice PV50 dos 12 clones desfolhados com os seis não desfolhados aos 27 meses de idade de plantio.

### 3.17. Nutrição foliar

Para avaliar a influência das desfolhas na nutrição foliar dos clones foram escolhidos os dois tratamentos mais contrastantes, zero e três desfolhas sucessivas. As amostras foram coletadas durante a terceira desfolha em seis árvores, três de cada tratamento. Foram escolhidas folhas recém-maduras, com limbo foliar típico, situadas entre o terceiro e o quinto par de inserções a partir da ponta de galhos situados no terço médio das copas. Depois da coleta, as amostras simples de cada tratamento foram misturadas para criação de duas amostras compostas por clone, uma de cada tratamento.



As análises de macronutrientes (Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)) e micronutrientes (Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn)) foram realizadas pelo laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP ([www.fca.unesp.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/](http://www.fca.unesp.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/)).

### 3.18. Teor de carboidratos não estruturais

A segunda desfolha já havia sido aplicada aos 21 meses de plantio. Então, foram coletadas amostras para determinação do teor de carboidratos não estruturais. Foram comparados os teores de carboidratos não estruturais da madeira de três clones submetidos a zero e duas desfolhas sucessivas. As seis amostras foram coletadas no fuste a 1,30 metros do solo com uma sonda de Pressler, introduzindo a broca horizontalmente, atravessando-se o diâmetro do fuste pela medula da árvore, resultando em uma bagueta por indivíduo (Figura 11). Após a coleta, as baguetas foram colocadas em estufa a 55°C, para secagem, moídas em moinho criogênico modelo Freezer/Mill 6870 SPEX e enviadas ao laboratório para análise de painel de carboidratos, que inclui glicose, frutose e amido. O laboratório responsável pelas análises foi o UC Davis Analytical Lab. (<http://anlab.ucdavis.edu/>), situado em Davis, Califórnia, EUA.



Figura 11. Uso da sonda de Pressler na amostragem não destrutiva para determinação de teores de carboidratos não estruturais da madeira de clones de eucalipto

### 3.19. Controle de pragas

A sanidade do experimento foi monitorada e controlada desde o plantio até a conclusão do trabalho. Foi identificada a presença de insetos em alguns materiais genéticos, considerados pragas do eucalipto, mas que não causaram nenhum impacto significativo no crescimento das árvores, já que estavam em baixos níveis populacionais. Entre as espécies de insetos encontradas nas vistorias estão a *Costalimaita ferrugínea* (besouro-amarelo), *Glycaspis brimblecombei* (psílideo-de-concha), *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo-bronzeado), *Leptocybe invasa* (vespa-da-galha) e as formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Clima durante o período experimental**

As árvores do sítio foram expostas, durante o primeiro ano de plantio, ao terceiro ano mais seco do município de Piracicaba desde 1917. Isso porque o ano de 2014 apresentou precipitação 353 mm inferior à média histórica. Já no ano de 2015 a precipitação total foi próxima do normal do município, porém desregulada (Figura 12), sendo apenas 12 mm inferior aos 1230 mm da média histórica. As temperaturas médias de 2014 e 2015 foram 1,3 e 1,9 °C mais quentes, respectivamente, do que os 21,6 °C da média histórica. (INMET, 2016). Durante as duas primeiras desfolhas as árvores estavam sob déficit hídrico. A partir da terceira desfolha o sítio apresentou excedente hídrico (Figura 13).

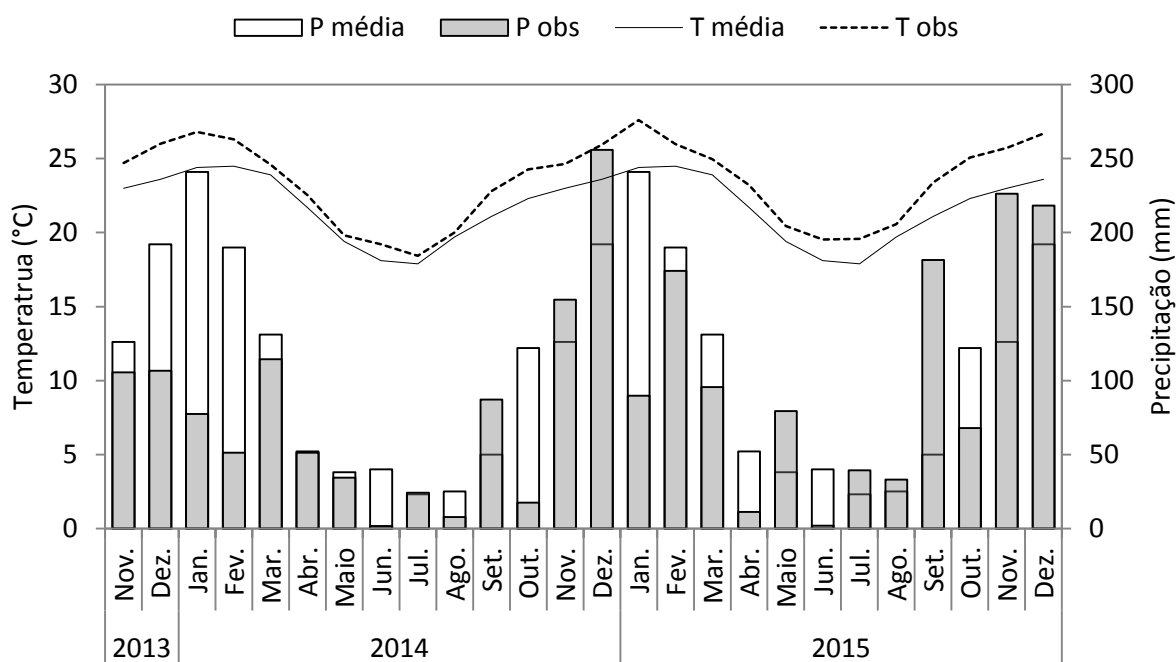


Figura 12. Variação da temperatura e da precipitação em Piracicaba durante o ano. Onde, “P média” e “T média” são as médias históricas no período entre 1917 e 1998 de precipitação e temperatura, respectivamente. “P obs” e “T obs” são as precipitações e temperaturas observadas durante o experimento (SENTELHAS et al., 1999 e INMET, 2016).

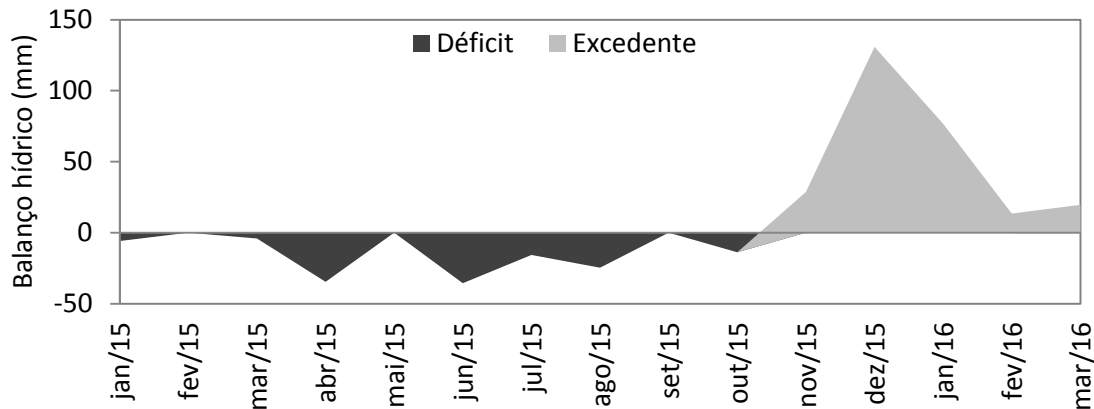


Figura 13. Balanço hídrico durante o período em que ocorreram as desfolhas

#### 4.2. Sazonalidade do crescimento

O comportamento do incremento semanal de biomassa de madeira das árvores não desfolhadas foi semelhante para os 18 clones (Figura 14). Até outubro de 2015 o sítio apresentava menos de dois anos de idade e déficit hídrico. Depois dos dois anos e com excedente hídrico os incrementos em biomassa aumentaram consideravelmente.

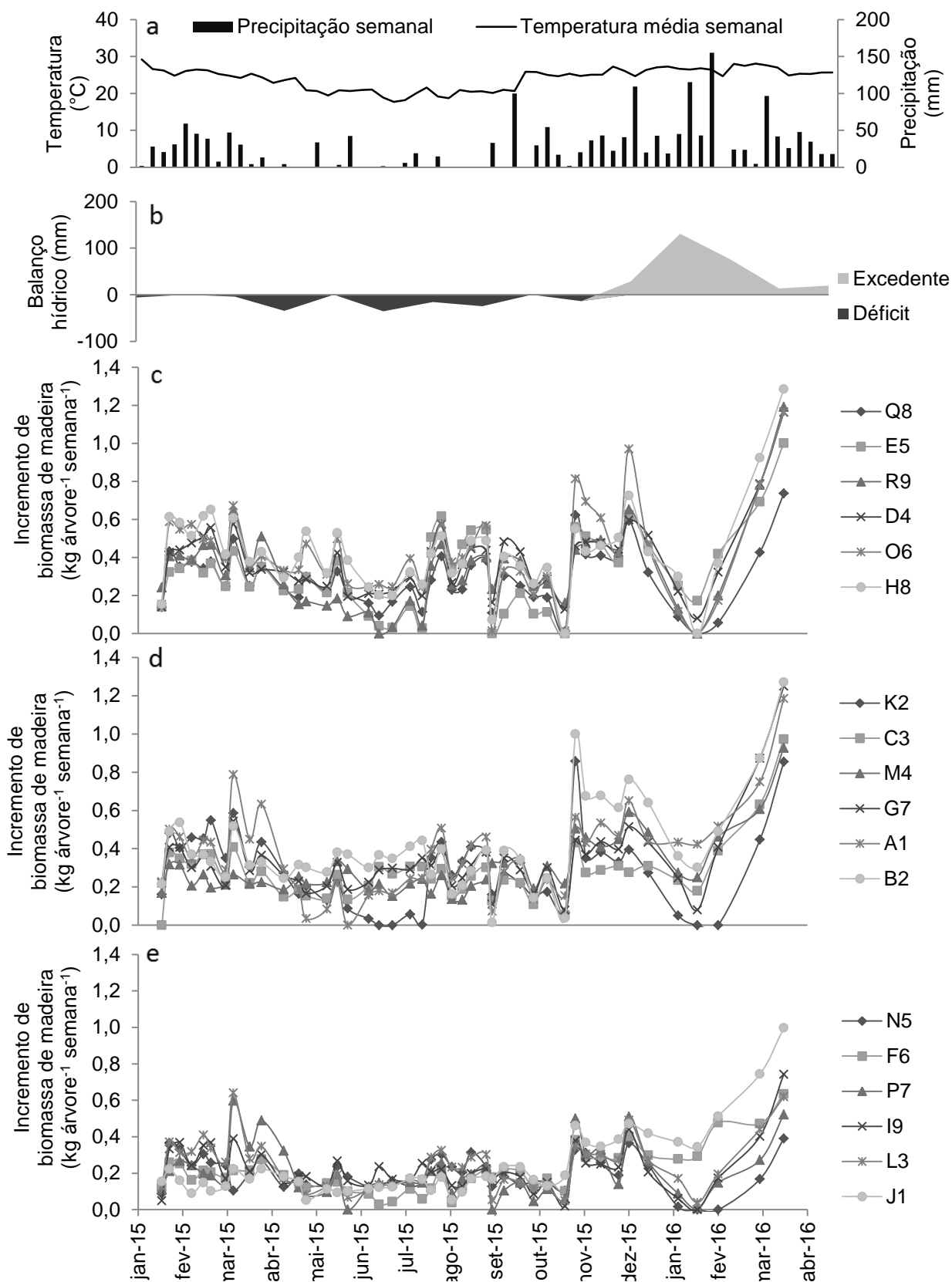


Figura 14. Condições climáticas e a produção semanal de madeira das árvores não desfolhadas dos 18 clones. (a) precipitação semanal e temperatura média semanal, (b) balanço hídrico, (c) clones não desfolhados, (d) clones mais produtivos desfolhados, (e) clones menos produtivos desfolhados.

### 4.3. Produtividade comparável

As cinco maiores árvores dos clones de origens climáticas subtropicais mais frias (Cfb) tenderam a crescer menos rapidamente em relação às cinco maiores dos clones de origens climáticas mais quentes (Af, Am, As, Aw, Cwa), apresentando menor volume de madeira aos 14 meses (Figura 15). Os cinco clones menos produtivos do sítio, aos 14 meses, são das espécies *E. benthamii* e *E. dunnii*, conhecidos por tolerar geadas. Os sete clones com maior arranque inicial até os 14 meses foram clones das espécies *E. urophylla*, *E. grandis* e seus híbridos, conhecidos pelo rápido crescimento.

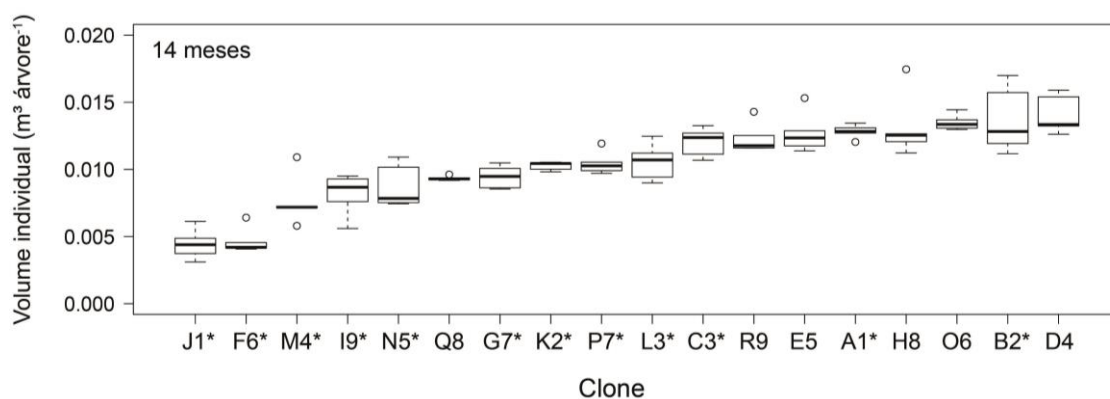


Figura 15. Ranking de produtividade das cinco maiores árvores dos clones aos 14 meses (antes das árvores sofrerem desfolhas). \*Clones selecionados para as desfolhas.

Na segunda comparação de produtividade, aos 28 meses, o ranking mudou (Figura 16). Agora, apenas os quatro clones mais produtivos, ao invés dos sete, são derivados das espécies *E. urophylla* e *E. grandis*. Os clones de *E. benthamii* e *E. dunnii* subiram no ranking e já não são os menos produtivos do sítio. A comparação de produtividade entre os clones permite verificar o gradiente de produtividade que esses materiais genéticos podem proporcionar neste sítio. Além disso, cada clone tem sua aplicação e nem sempre o clone mais produtivo no início também o será ao final do ciclo.

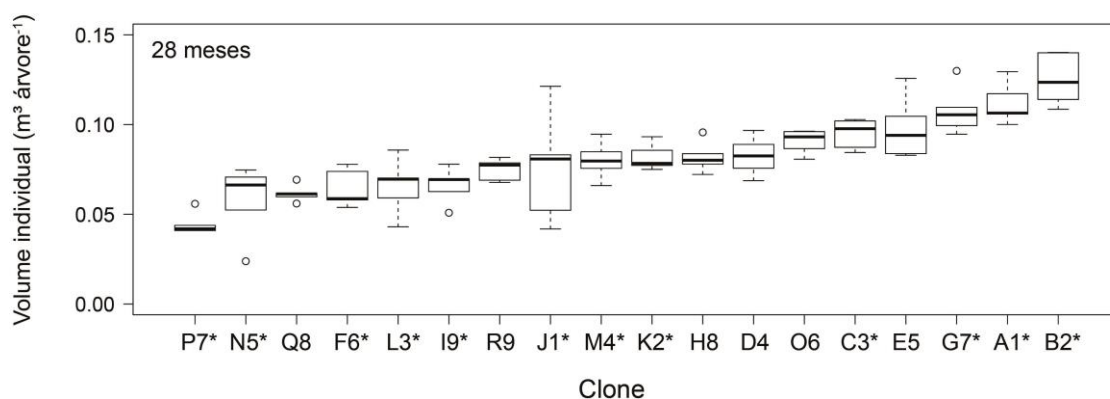


Figura 16. Ranking de produtividade das cinco maiores árvores dos clones aos 28 meses (depois das árvores serem desfolhadas). \*Clones com árvores desfolhadas na parcela.

#### 4.4. Impacto das desfolhas nas copas das árvores

Com a quantificação da AF da copa das árvores na primeira desfolha foram realizadas regressões entre AF e PC para os 12 clones desfolhados (Figura 17). O valor de  $\beta$  das regressões permite comparar a densidade de copa entre clones. Os clones que apresentaram a copa mais densa foram o M4, F6 e P7, já os clones com a copa menos densa foram os clones K2 e I9.

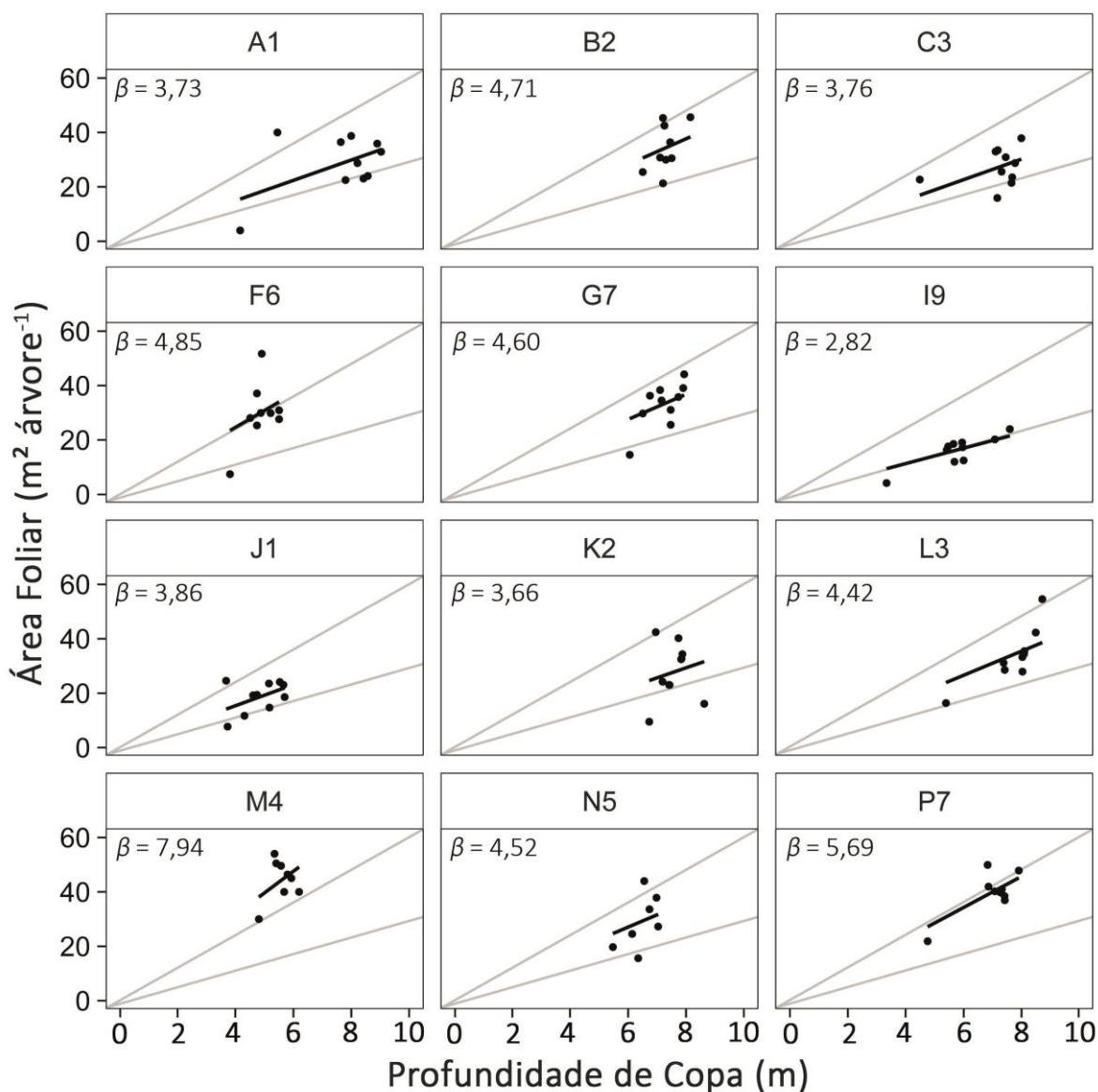


Figura 17. Relação da profundidade de copa com a área foliar dos 12 clones desfolhados

Com as estimativas de AF ao longo do tempo, realizadas através das regressões lineares (Figura 17) e das PC medidas nos inventários, foi possível comparar a AF média dos clones em 2015. Verifica-se que a AF das árvores dos 12 clones variaram entre 18 e 37  $\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$  (Figura 18). Clones como I9 e C3 apresentaram menos de 23  $\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$ , enquanto clones como F6, B2, M4, G7 e P7 apresentaram mais de 35  $\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$ . A diferença de AF entre os clones foi grande, inclusive em clones da mesma espécie, como é o caso dos clones de *E. dunnii* I9, N5 e M4, que apresentaram AF de 18, 30 e 37  $\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$ , respectivamente.



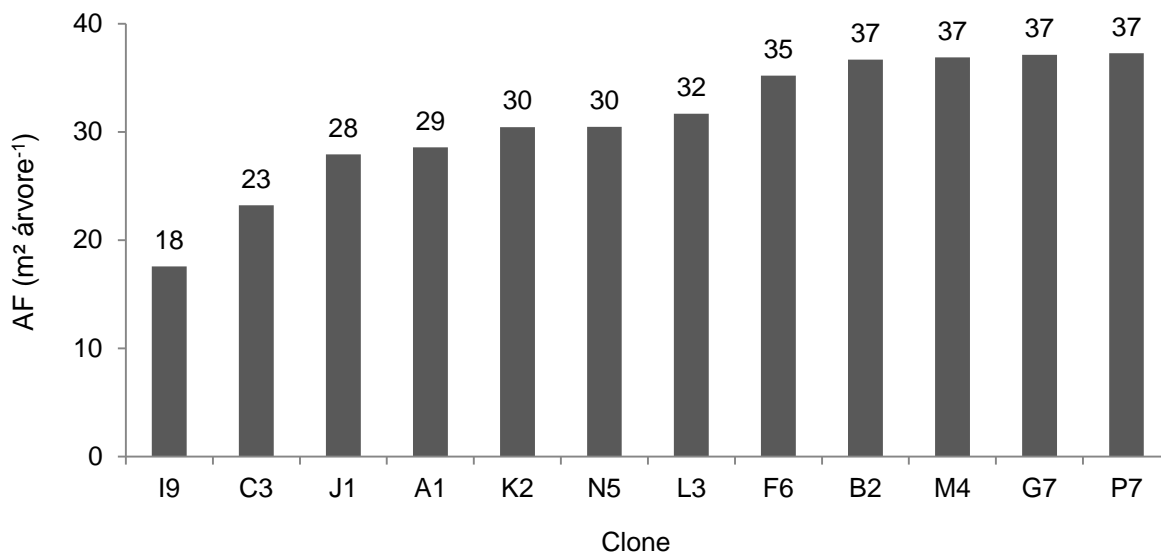


Figura 18. Área foliar individual média dos 12 clones desfolhados em 2015.

Na Figura 19 verifica-se a variação de AF dos clones ao longo do período em que as desfolhas ocorreram e o quanto de AF havia sido recuperada depois da primeira e segunda desfolha. Os clones de origem de climas subtropicais mais frios J1, F6 e M4, aumentaram a AF durante todo o período, desde o início de 2015 (13º mês pós-plantio) até março de 2016 (27º mês). Isso aconteceu porque esses clones, das espécies *E. benthamii* e *E. dunnii*, tinham sempre a copa do solo ao topo da árvore e apresentaram desenvolvimento menos rápido. Conforme cresceram em altura, a PC e, conseqüentemente a AF, também aumentaram. Os outros nove clones apresentaram AF estável ao longo do período, variando conforme as condições ambientais.

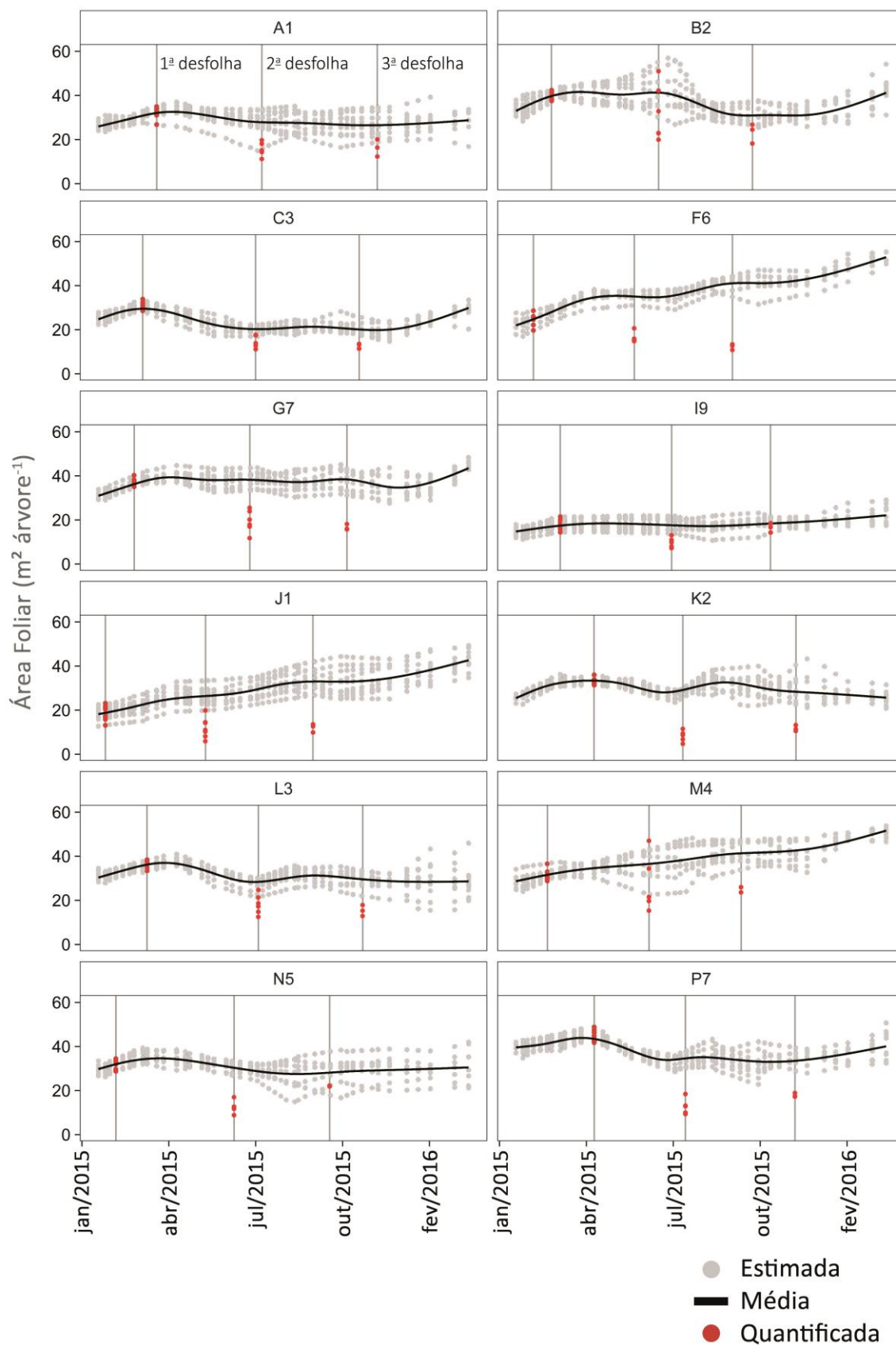


Figura 19. Área foliar estimada e média dos 12 clones ao longo do período experimental. Área foliar quantificada em cada desfolha, representando a recuperação da copa.

Depois de quatro meses de cada desfolha ter ocorrido, poucas árvores de alguns clones conseguiram recuperar totalmente a copa, mostrando que o eucalipto precisa de mais tempo para conseguir utilizar plenamente os recursos disponíveis, como a radiação solar, por exemplo, e isso vai se refletir na menor produção de madeira. Os clones que apresentaram melhores recuperações de AF da copa depois de quatro meses das desfolhas foram A1, B2, C3, M4 e I9. Dos cinco, dois apresentam grande AF (B2 e M4), desta forma, o fato do material genético naturalmente ter maior AF não quer dizer que ele tenha dificuldade em recompor a sua AF natural.

#### **4.5. Perda de crescimento ao longo das desfolhas**

O estresse causado pela perda de biomassa foliar afetou o crescimento dos 12 clones durante meses (Figura 20 à Figura 31). De 50 a 120 dias após cada desfolha, as árvores apresentaram crescimento em biomassa de madeira próximo a zero. Pode-se afirmar que as desfolhas afetam o crescimento de clones de eucalipto de maneira prolongada, pois mesmo depois de 300 dias de recuperação, as árvores que sofreram uma desfolha não apresentaram crescimento semelhante ao das árvores não desfolhadas, com exceção dos clones F6, J1 e L3.

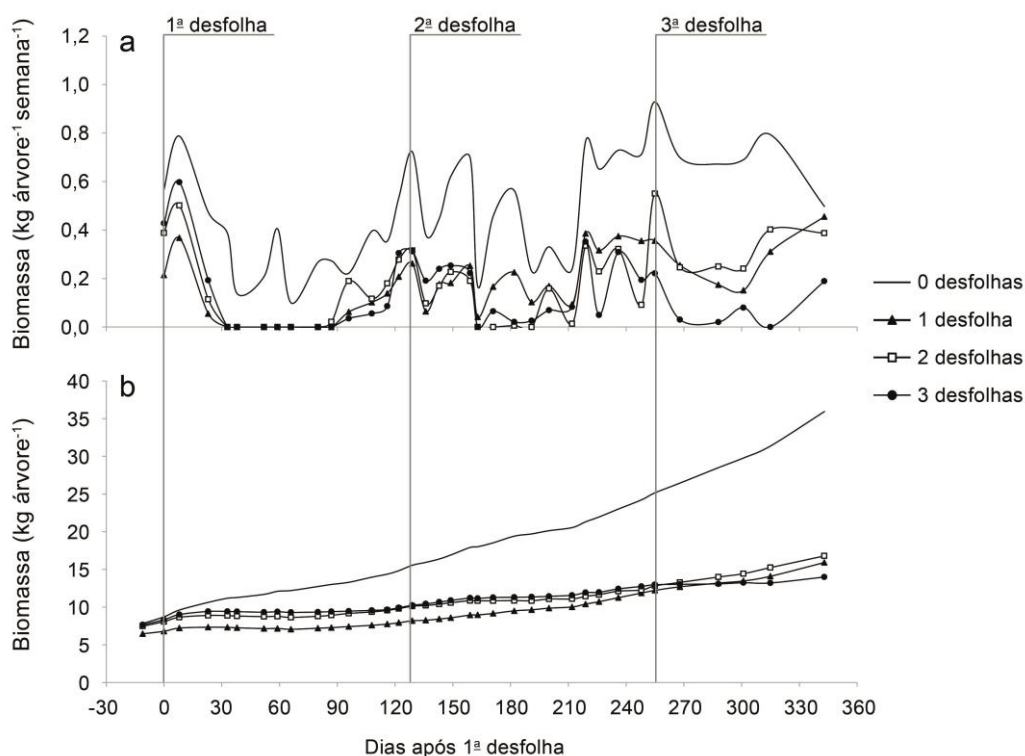


Figura 20. Crescimento do clone A1 (*E. urophylla*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

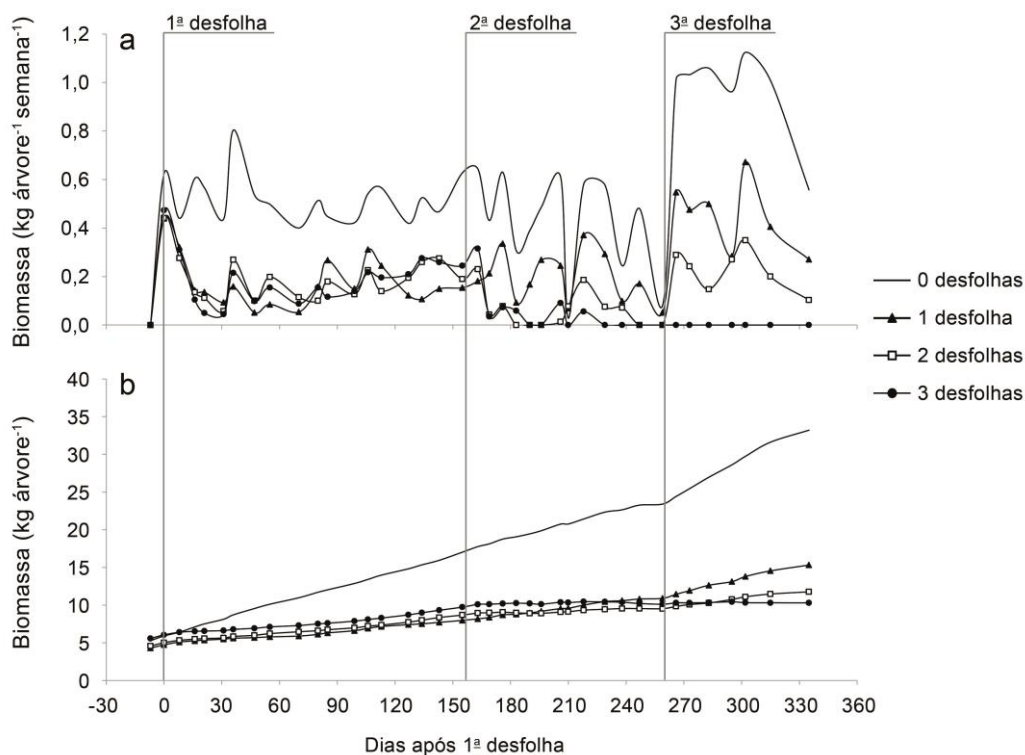


Figura 21. Crescimento do clone B2 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

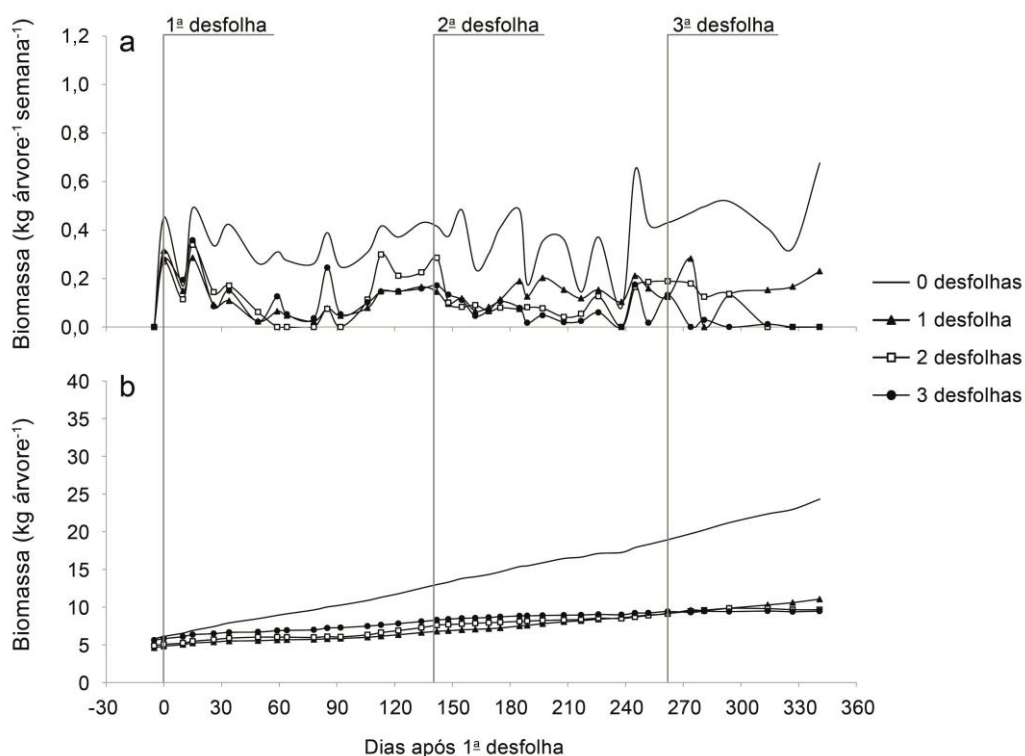


Figura 22. Crescimento do clone C3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

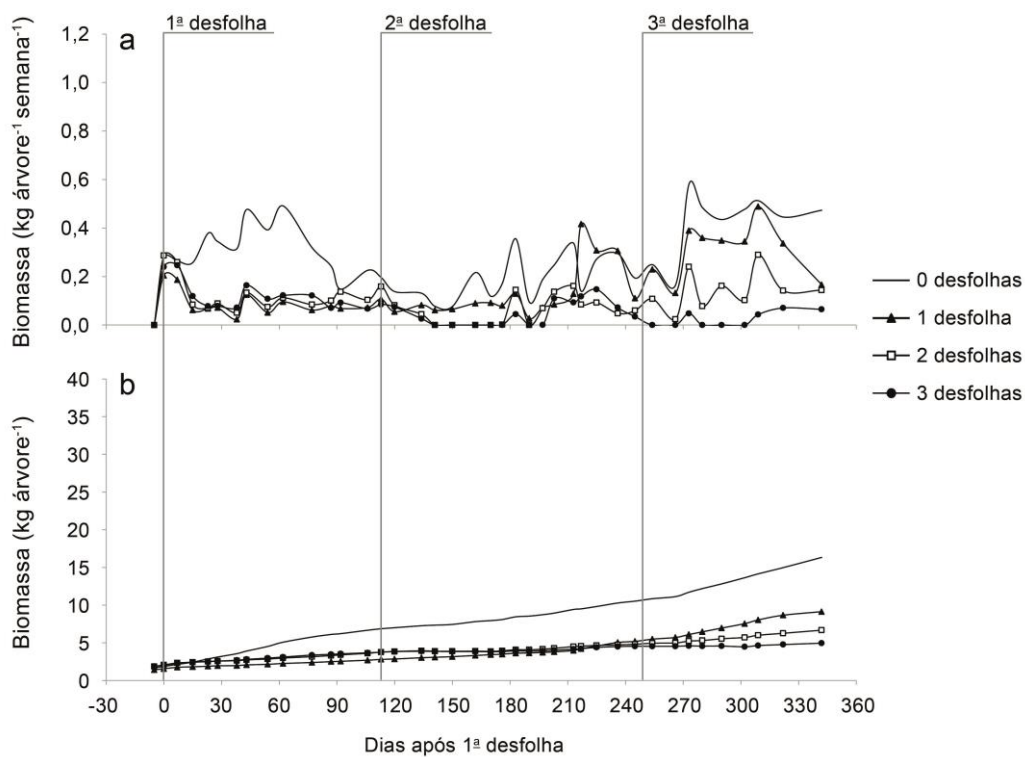


Figura 23. Crescimento do clone F6 (*E. benthamii*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

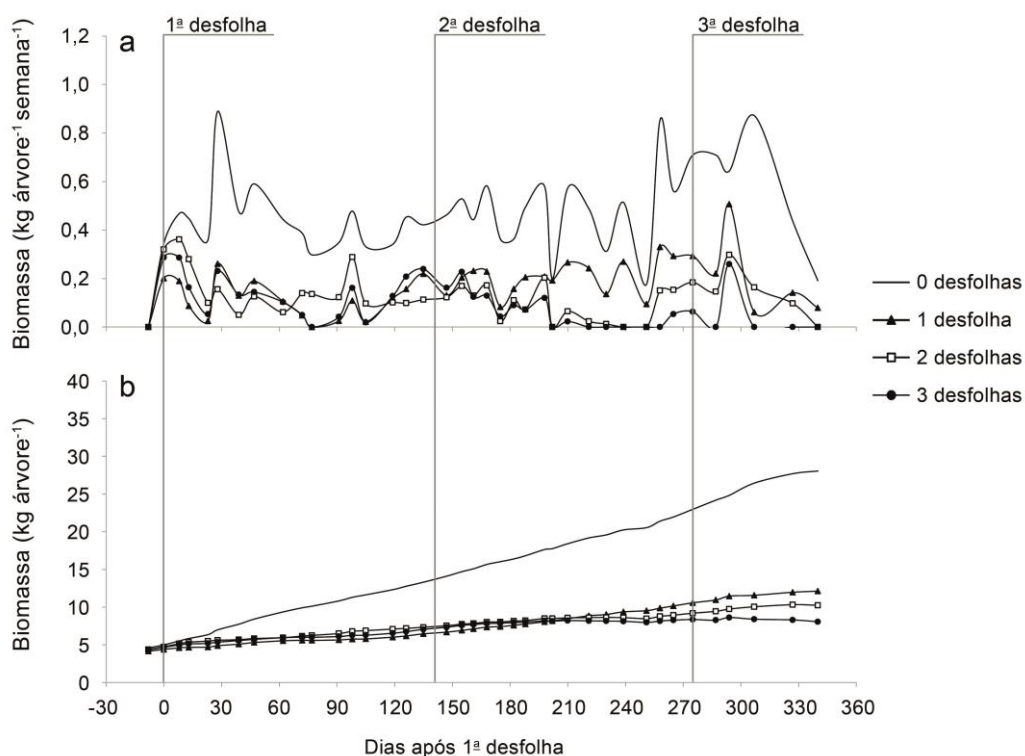


Figura 24. Crescimento do clone G7 (*E. urophylla*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

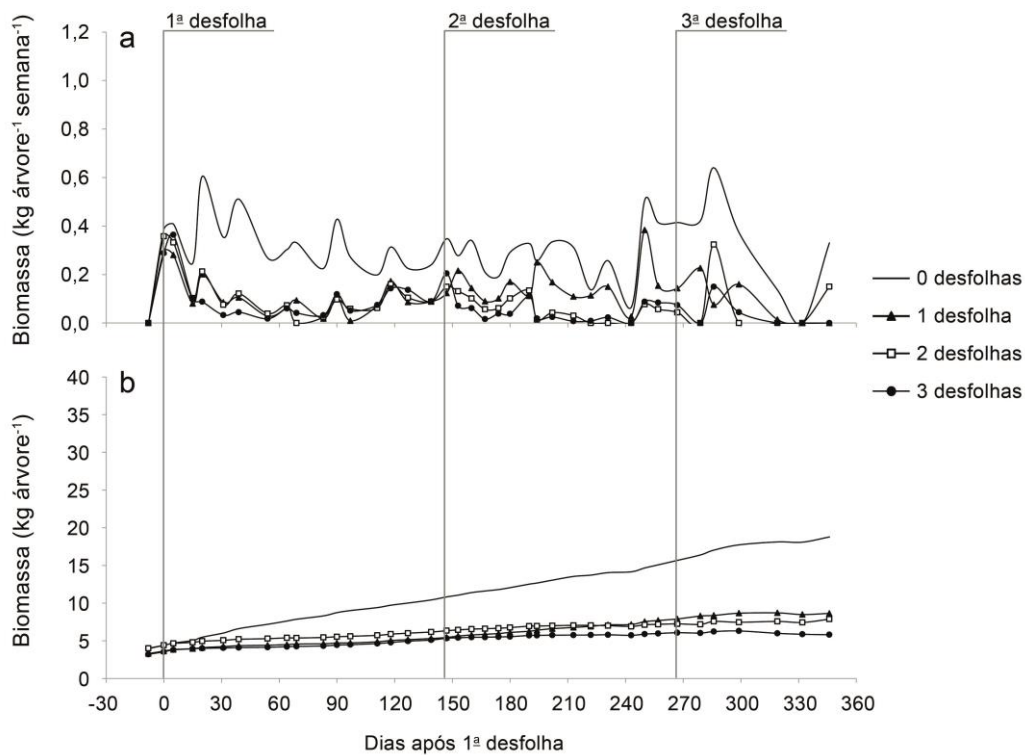


Figura 25. Crescimento do clone I9 (*E. dunnii*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

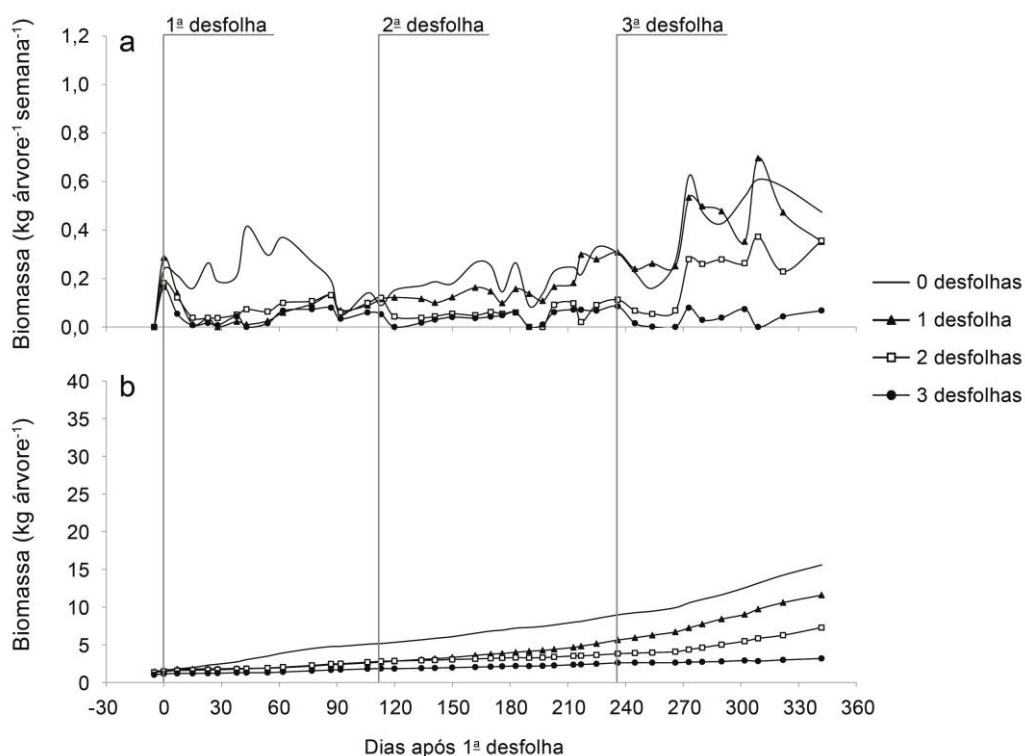


Figura 26. Crescimento do clone J1 (*E. benthamii*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

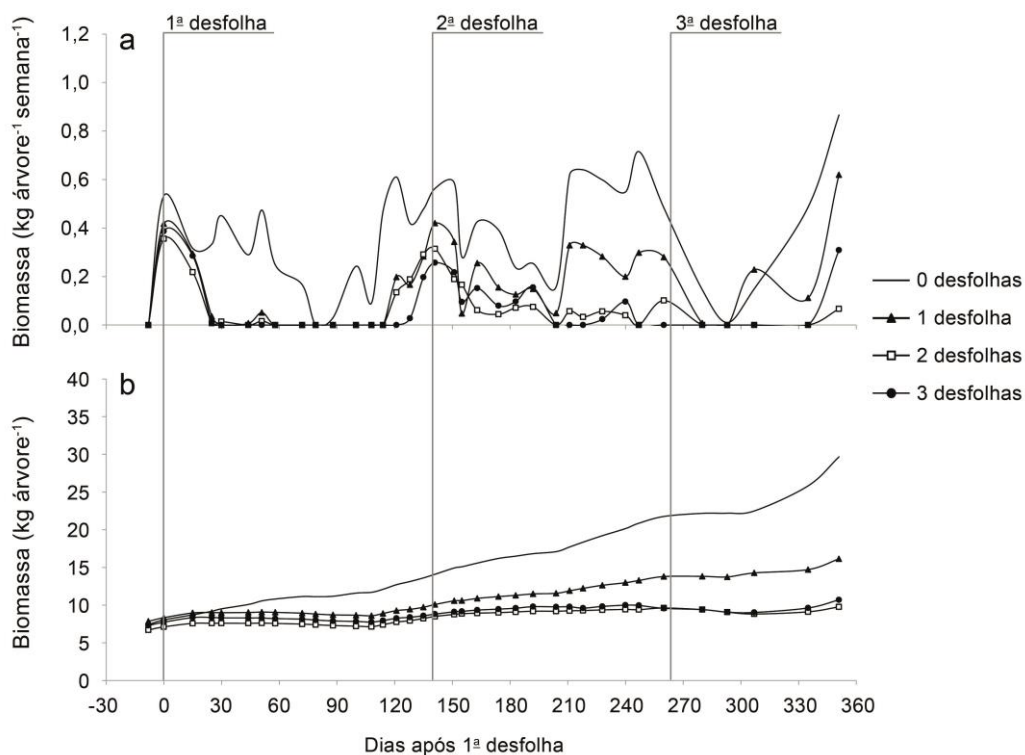


Figura 27. Crescimento do clone K2 (*E. saligna*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.



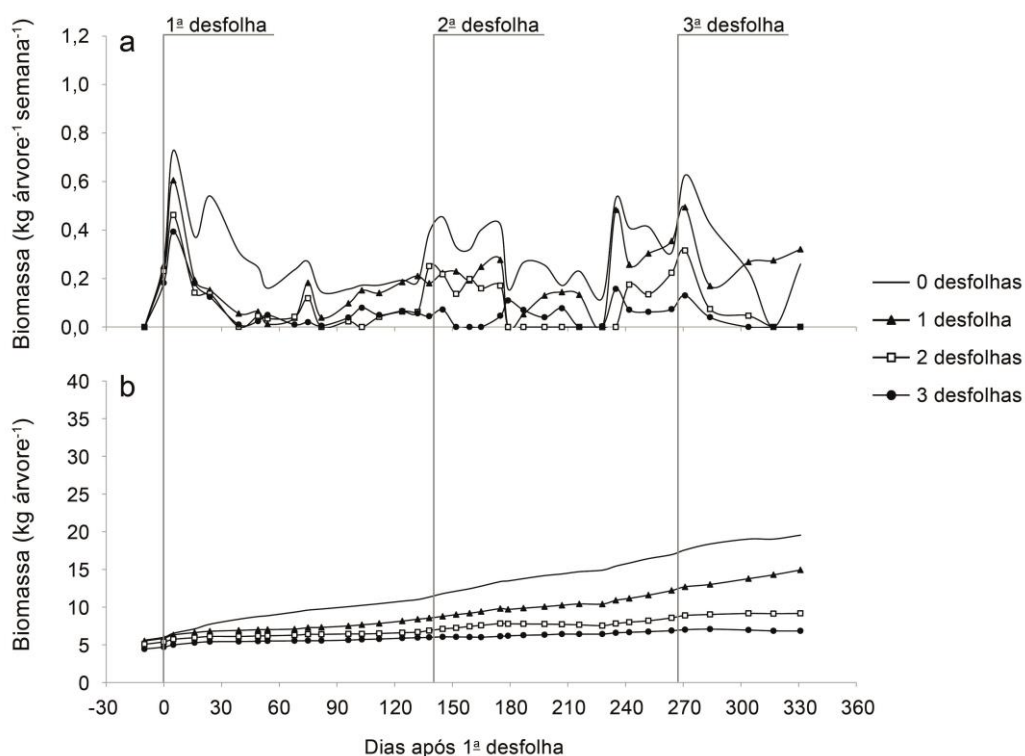


Figura 28. Crescimento do clone L3 (*E. urophylla* x *E. globulus*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

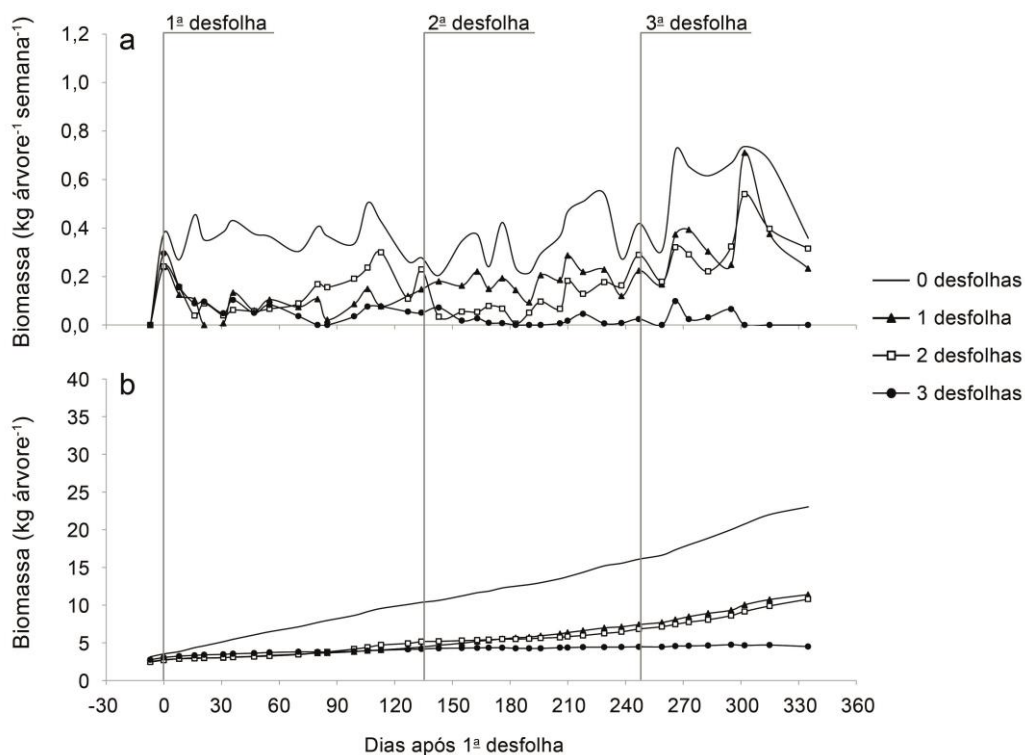


Figura 29. Crescimento do clone M4 (*E. dunnii*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.



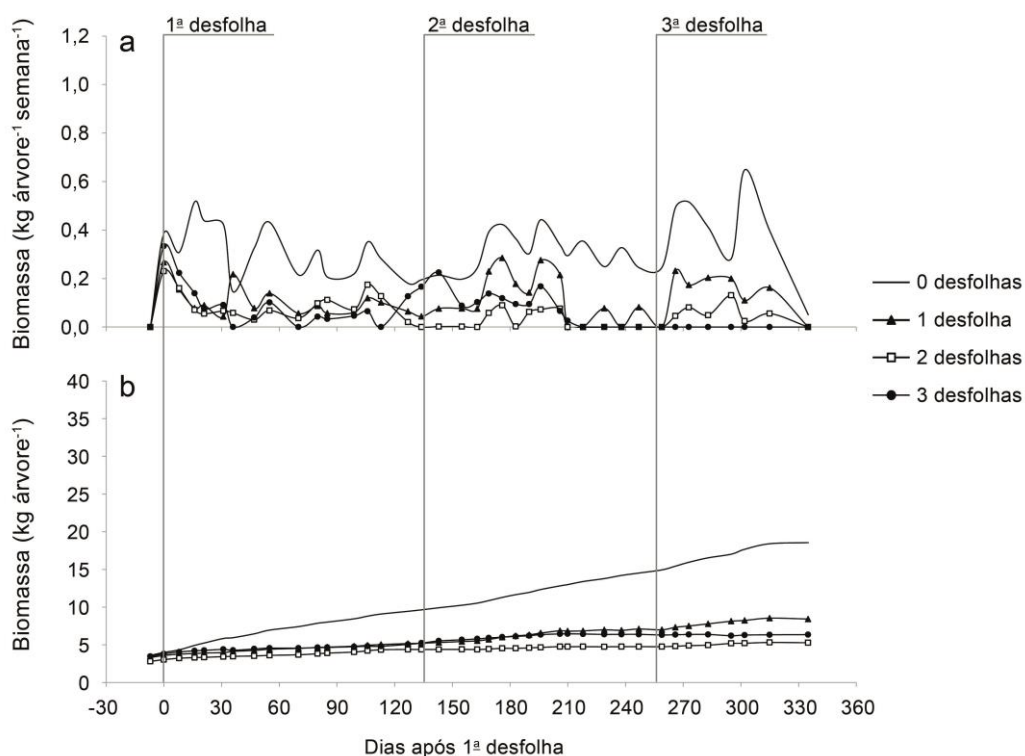


Figura 30. Crescimento do clone N5 (*E. dunnii*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

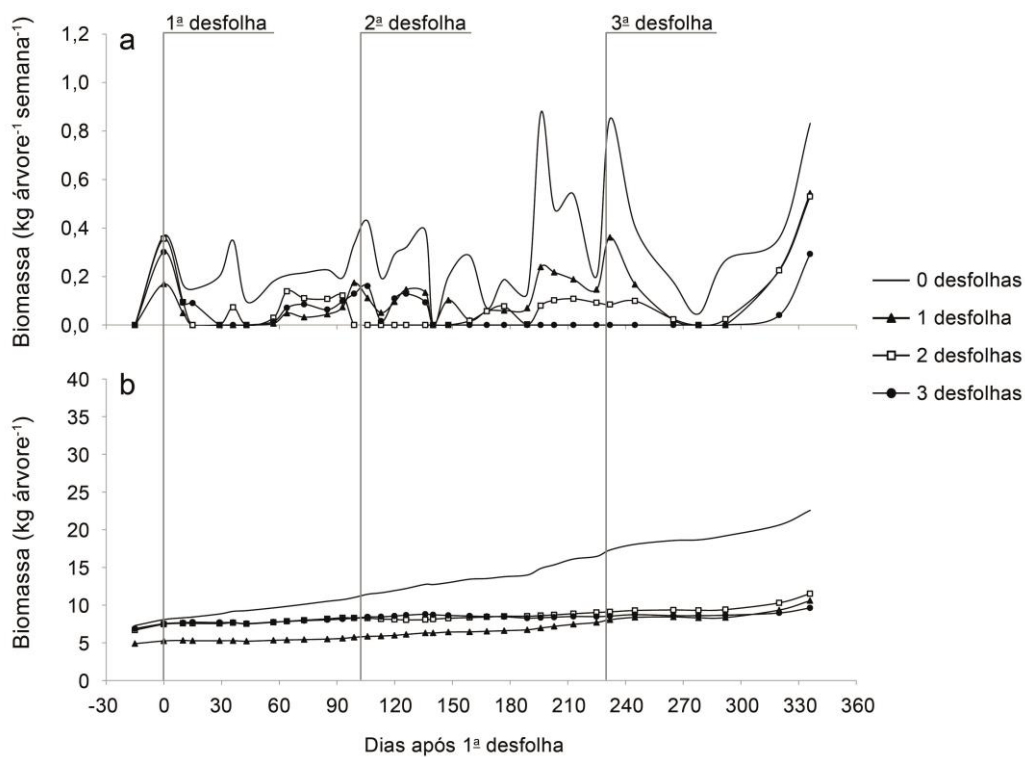


Figura 31. Crescimento do clone P7 (*E. urophylla* x *E. tereticornis*) submetido a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas. (a) incremento semanal de biomassa de madeira, (b) incremento acumulado de biomassa de madeira.

## **4.6. Perda de produtividade um ano depois da primeira desfolha**

### **4.6.1. Perdas em DAP das árvores**

Um ano após a primeira desfolha, as árvores que sofreram uma desfolha apresentaram redução média de 25% de DAP (variando entre 9 e 32% para clones) comparativamente às árvores que não sofreram desfolhas (Figura 32). Duas desfolhas sucessivas reduziram, em média, 28% do DAP (variando entre 17 e 37%) e três desfolhas sucessivas, na média, causaram redução de 35% (variando entre 22 e 47%). Uma desfolha total já reduziu muito o DAP. As desfolhas subsequentes também causaram impacto, mas as perdas foram mais brandas.

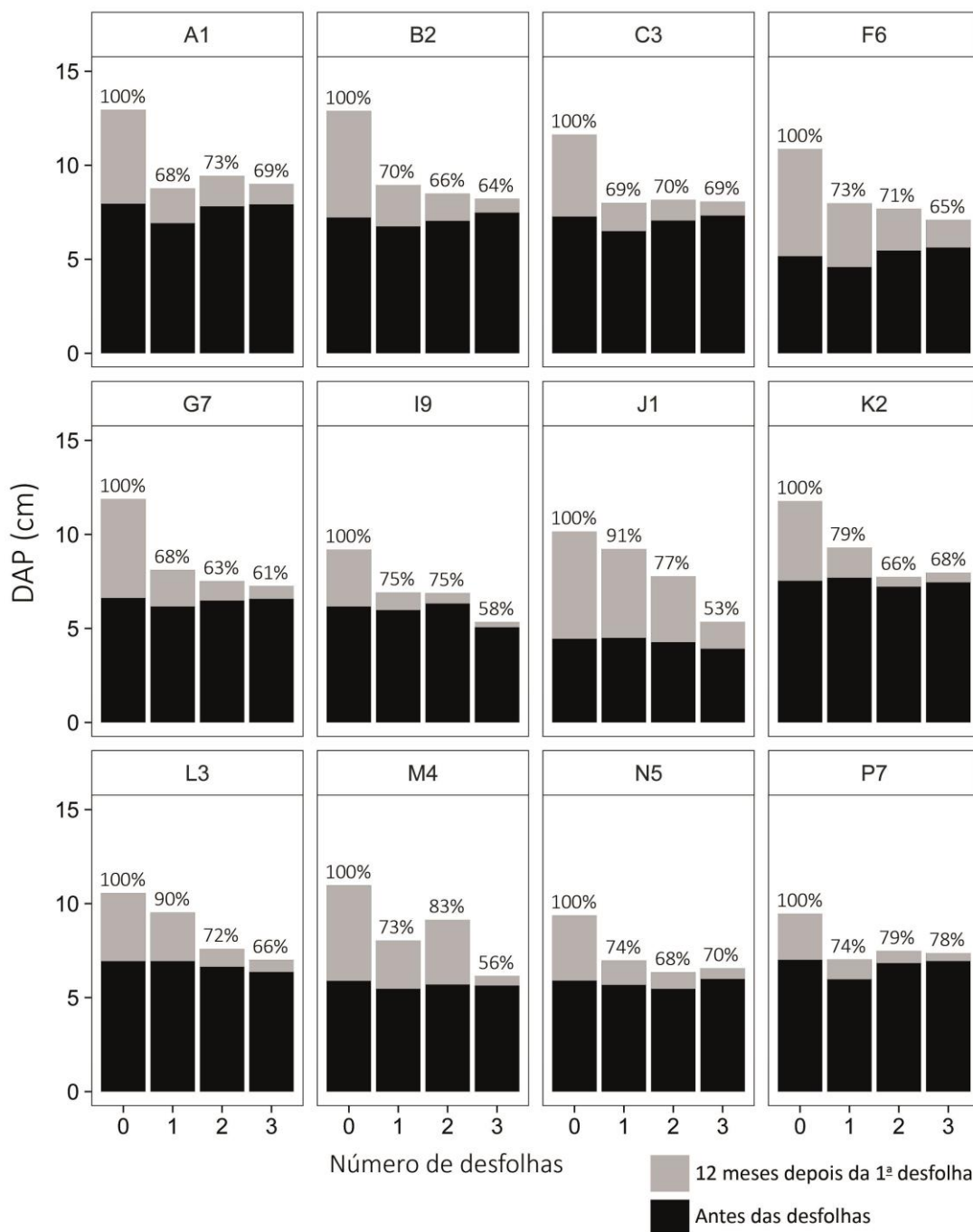


Figura 32. Diâmetro à altura do peito (DAP) médio de 12 clones antes das desfolhas e as perdas de DAP causadas por desfolhas sucessivas depois de um ano da aplicação da primeira desfolha.

#### 4.6.2. Perdas em altura total das árvores

Um ano após a primeira desfolha, as árvores que sofreram uma desfolha apresentaram redução média de 16% em altura total (variando entre 6 e 26% para clones) comparativamente às árvores que não sofreram desfolhas (Figura 33). Duas

desfolhas sucessivas causaram redução média de 21% em altura (variando entre 11 e 35%) e três desfolhas sucessivas, na média, reduziram a altura em 28% (variando entre 20 e 37%).

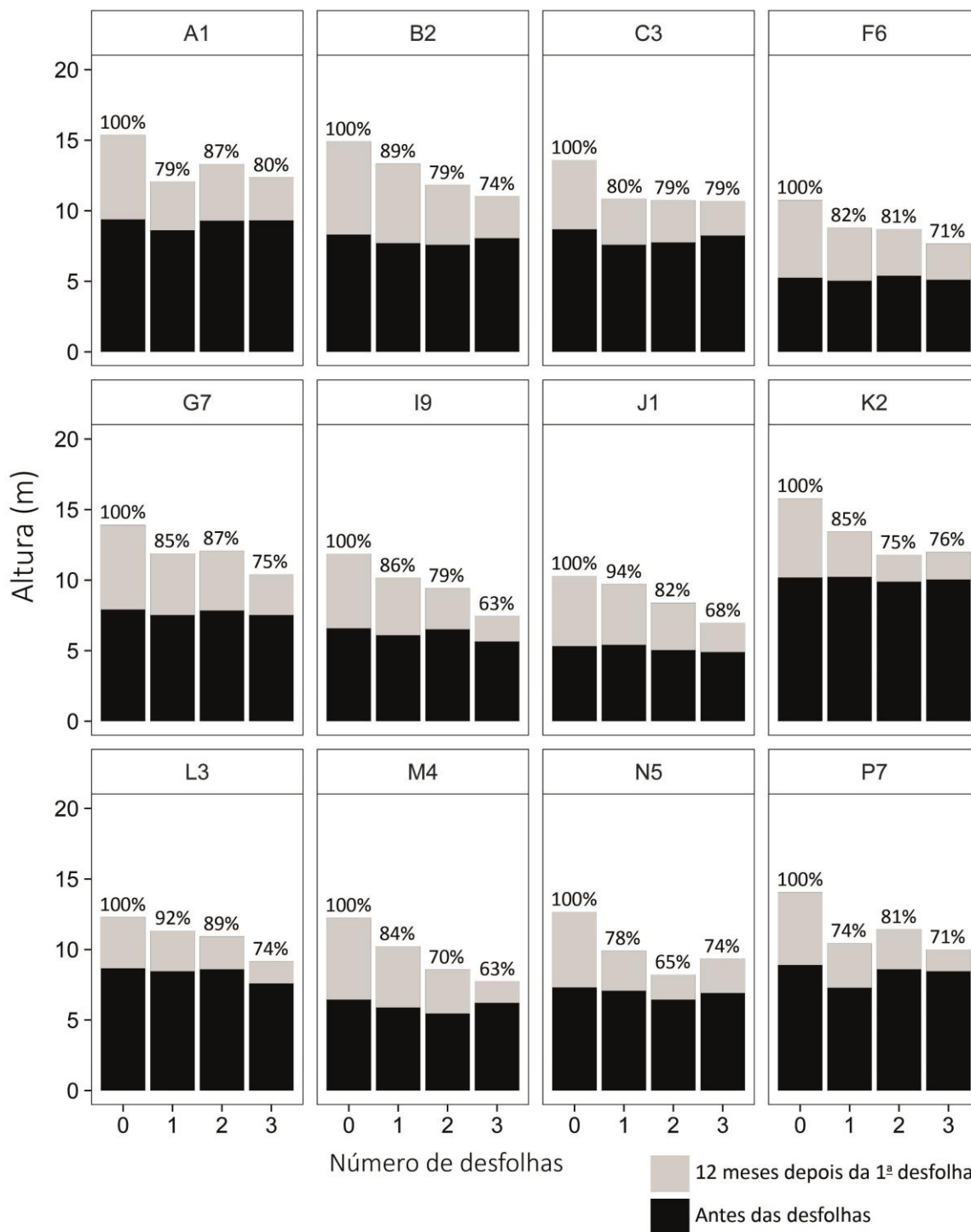


Figura 33. Alturas totais médias das árvores de 12 clones antes das desfolhas e as perdas de altura causadas por desfolhas sucessivas depois de um ano da aplicação da primeira desfolha.

Levando-se em consideração as perdas médias, uma, duas e três desfolhas causaram perdas de 25, 28 e 35% em DAP, respectivamente. Em altura, respectivamente, as perdas foram 16, 21 e 28%, portanto, as desfolhas sucessivas causam maiores perdas em DAP do que em altura. Isso ocorreu porque as árvores não desfolhadas continuaram crescendo normalmente, enquanto as árvores desfolhadas tentavam se recuperar do estresse causado pela perda de folhas. Como resultado do menor porte, as árvores desfolhadas foram dominadas e, para conseguir mais acesso à radiação solar, precisaram privilegiar o crescimento em altura.

#### **4.6.3. Perdas em volume de madeira**

Um ano após a primeira desfolha, as árvores que sofreram uma desfolha apresentaram redução média de 46% em volume de madeira (variando entre 23 e 55% para clones) comparativamente às árvores que não sofreram desfolhas (Figura 34). Duas desfolhas sucessivas causaram redução média de 57% de volume (variando entre 48 e 70%) e três desfolhas sucessivas, na média, reduziram o volume em 67% (variando entre 58 e 79%). A maior parte das perdas de produtividade causadas pelas desfolhas sucessivas já aparece na primeira desfolha. Para evitar a perda de produtividade, as pragas florestais precisam ser monitoradas e rigidamente controladas para que a primeira desfolha não ocorra.

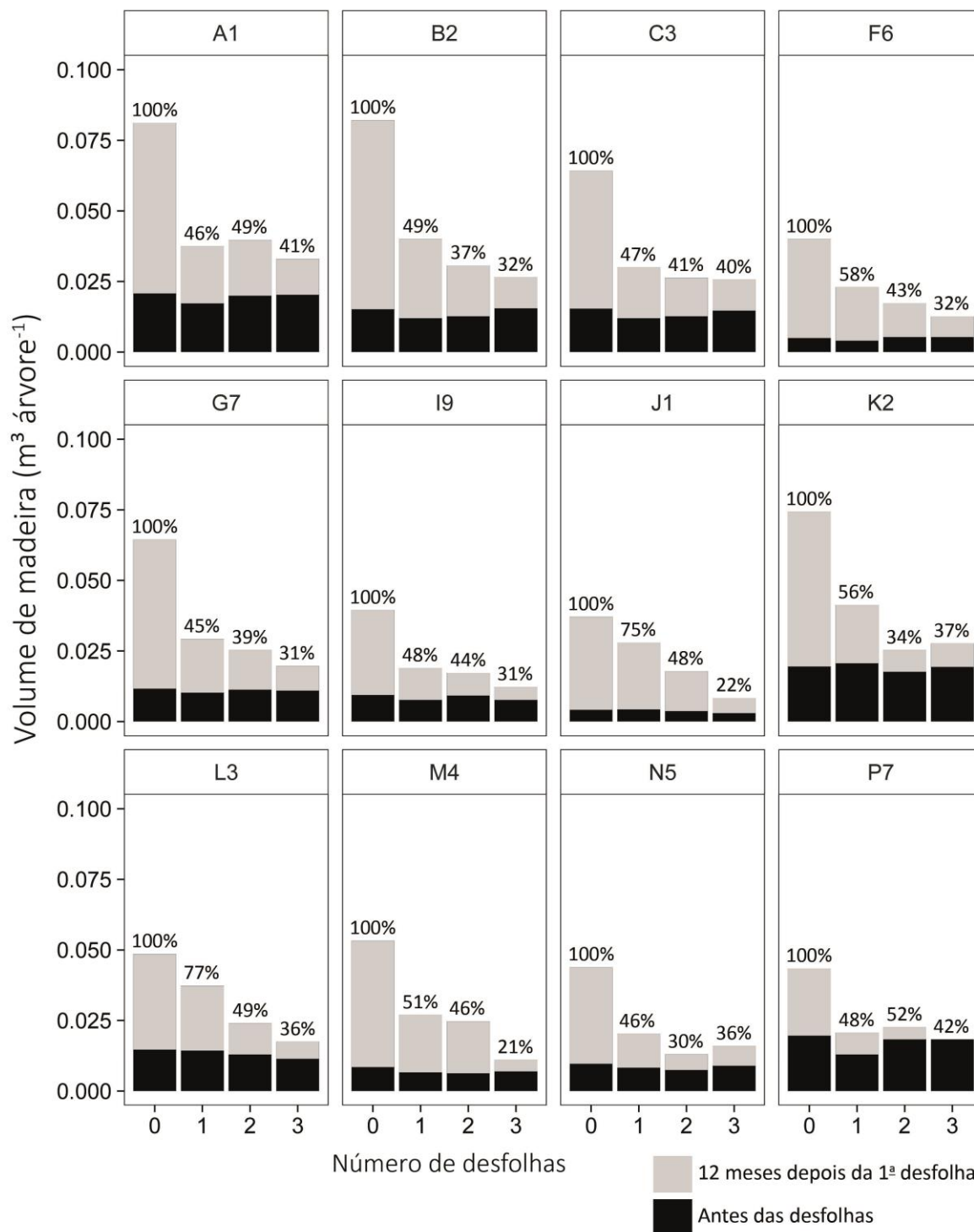


Figura 34. Volume individual médio de madeira de 12 clones antes das desfolhas e a perda de volume depois de um ano das aplicações de uma, duas e três desfolhas artificiais totais e sucessivas.

#### 4.6.4. Perdas em biomassa de madeira

As perdas de biomassa foram similares às perdas de volume. Um ano após a primeira desfolha, as árvores que sofreram uma desfolha apresentaram redução média de 48% em biomassa de madeira (variando entre 24 e 57% para clones) comparativamente às árvores que não sofreram desfolhas (Figura 35). Duas desfolhas sucessivas causaram redução média de 59% de biomassa (variando entre 49 e 72%) e três desfolhas sucessivas, na média, reduziram a biomassa em 68% (variando entre 57 e 80%).

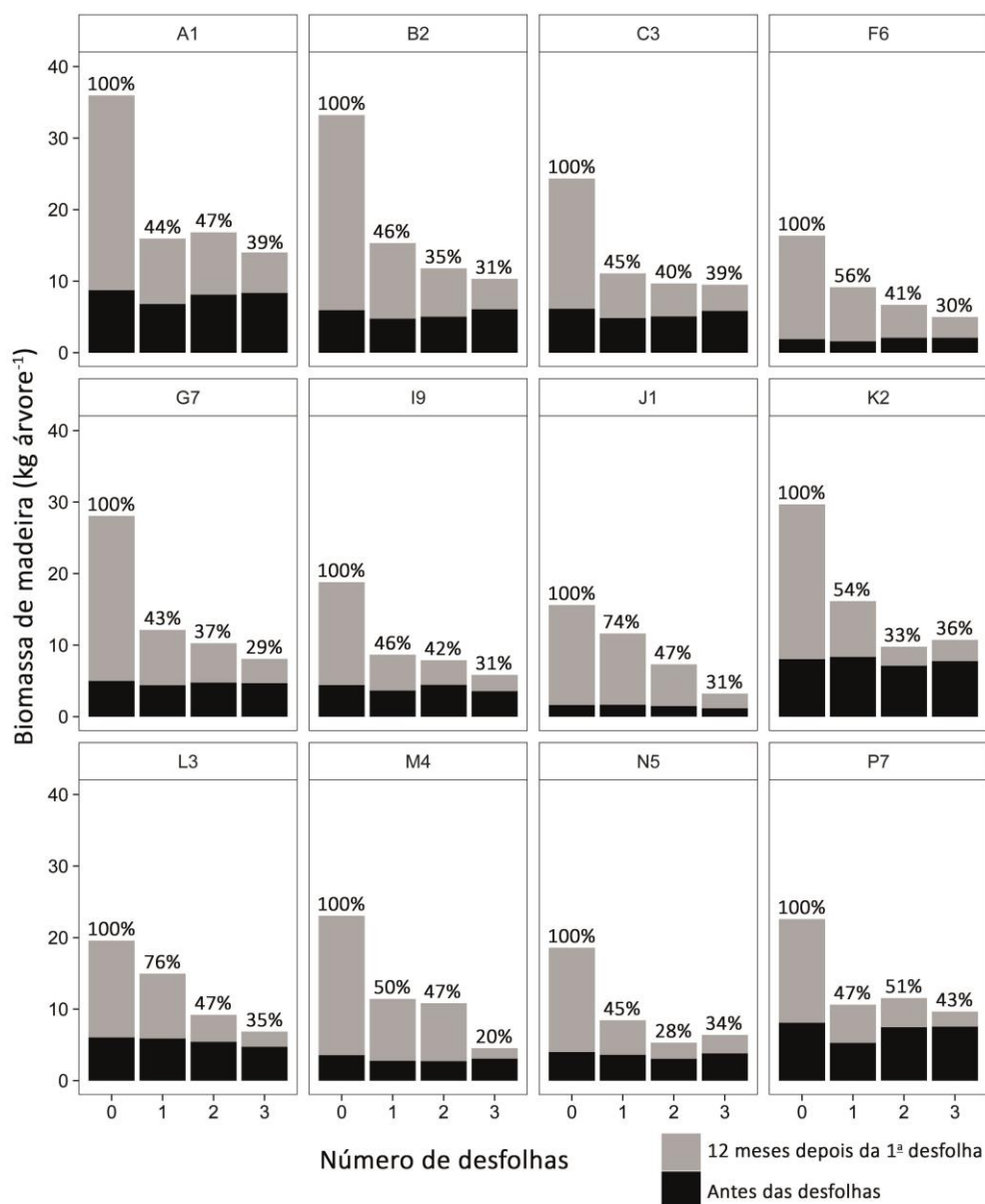


Figura 35. Biomassa de madeira individual média de 12 clones antes das desfolhas e a perda de biomassa depois de um ano das aplicações de uma, duas e três desfolhas artificiais totais e sucessivas.

Os três clones com maior AF média em 2015 (M4, G7 e P7) perderam em média 53, 55 e 70% de biomassa de madeira depois de uma, duas e três desfolhas sucessivas, respectivamente, e os três clones com menor AF (I9, C3 e J1) apresentaram perdas de 45, 57 e 70%, respectivamente. Os valores de perdas dos clones com contrastantes AF são semelhantes, desta forma, não podemos concluir que árvores com maior AF são mais afetadas pelas desfolhas. Podemos concluir que a produtividade das árvores depende da sua capacidade de absorver radiação solar e, as desfolhas, por causar a perda de AF (Figura 36), fazem com que as árvores não consigam crescer.

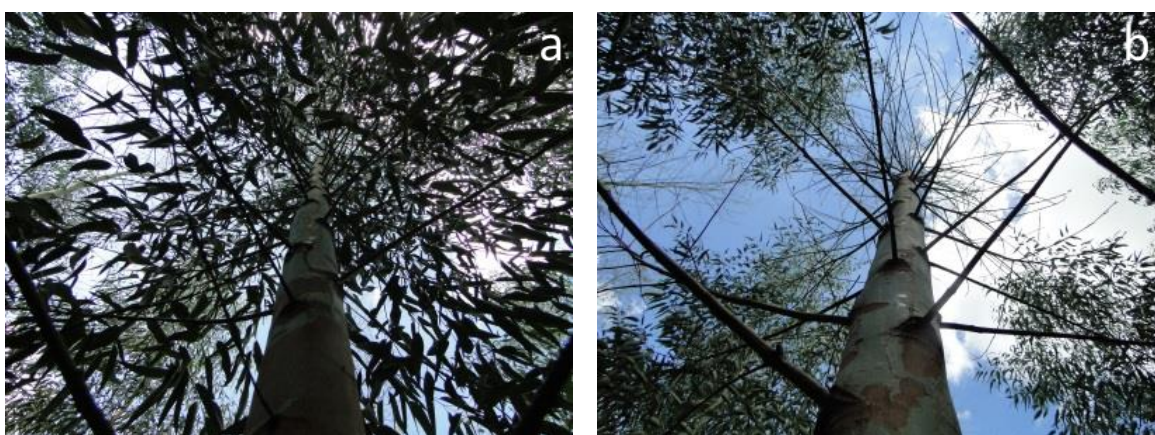


Figura 36. Desfolha total e o aumento da disponibilidade de luz. (a) árvore com a copa intacta, antes da desfolha, (b) árvore com a copa 100% desfolhada, incapaz de utilizar a radiação solar disponível para realizar fotossíntese.

#### 4.7. Sobrevivência às desfolhas sucessivas

Ao todo, 39 árvores sofreram uma desfolha, 37 sofreram duas desfolhas sucessivas e 32 sofreram três desfolhas sucessivas. Apenas uma árvore, que sofreu três desfolhas sucessivas, do clone M4 (*E. dunnii*) não sobreviveu ao estresse. As árvores vizinhas apresentavam alta AF e não sofreram desfolhas, o que proporcionou maior sombreamento e pode ter dificultado sua recuperação.

#### 4.8. Uniformidade das parcelas

As desfolhas artificiais sucessivas reduziram a homogeneidade das parcelas (Figura 37 a). Segundo trabalho realizado por Hakamada et al. (2015), valores de PV50 superiores a 37% representam povoamentos de adequada uniformidade. O valor



médio encontrado para as parcelas não desfolhadas foi de 40%, mostrando que o experimento foi bem instalado. Já para as parcelas desfolhadas, o valor médio do índice caiu para 22%, mostrando que as parcelas encontram-se bastante heterogêneas. Todos os tratamentos silviculturais foram os mesmos para os 18 clones, com exceção das desfolhas artificiais. As parcelas dos seis clones que não sofreram desfolhas apresentaram valores de PV50 entre 34% (clone E5) e 41% (clone O6). Já para as 12 parcelas dos clones desfolhados, os valores de uniformidade variaram entre 10% (clone N5) e 29% (clone A1) (Figura 37 b).

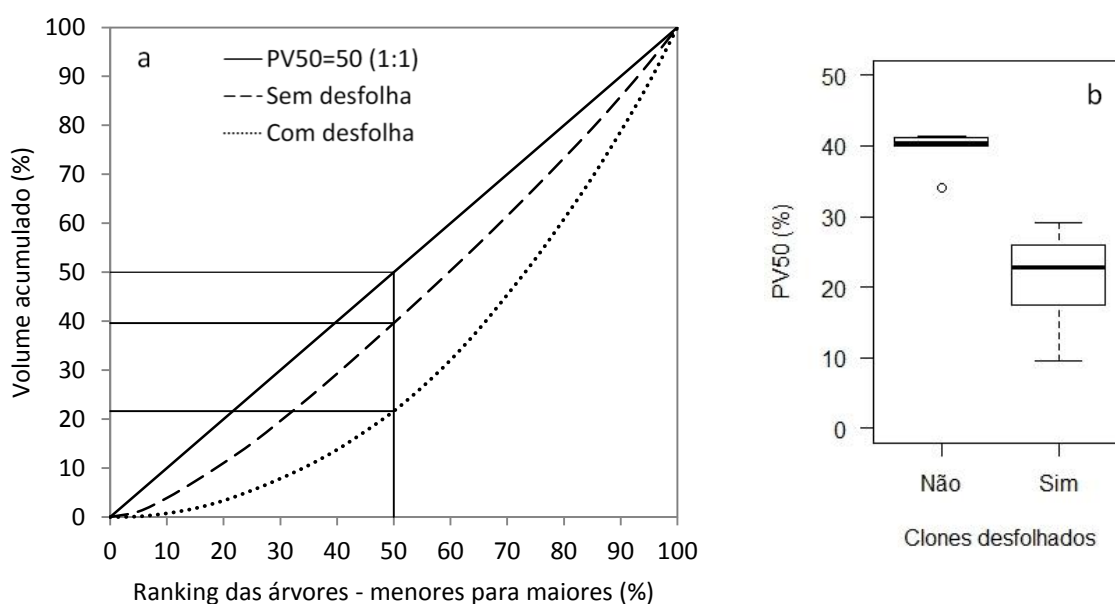


Figura 37. (a) índice PV50% médio dos clones não desfolhados e desfolhados. (b) valores de PV50% para seis clones não desfolhados e 12 clones desfolhados

Hakamada (2012) estudou as relações de dominância entre árvores de clones de *Eucalyptus* e verificou que a uniformidade dos povoamentos aumentava até a idade aproximada de 24 meses, quando a competição entre árvores aumentava, seguida de um decréscimo até o final do ciclo. Em campo, ao 27º mês de plantio, foi visível o efeito das desfolhas sucessivas na produtividade e uniformidade das parcelas (Figura 38). As árvores desfolhadas, já dominadas, não terão a mesma disponibilidade de recursos das árvores não desfolhadas.

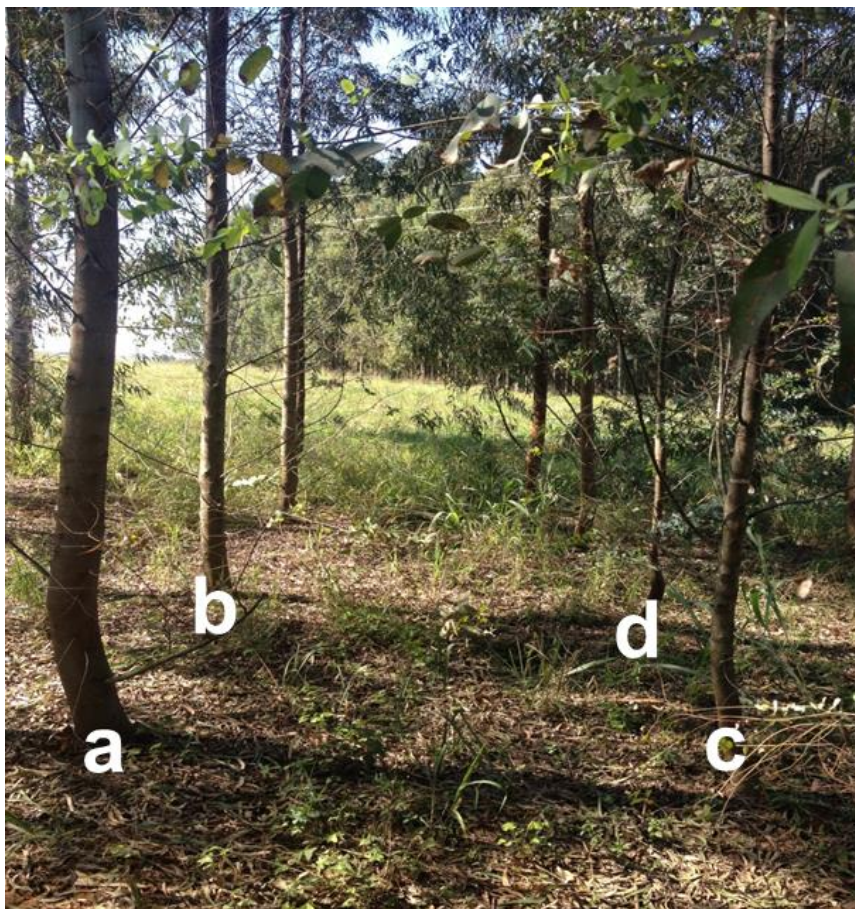


Figura 38. Árvores do clone J1 (*E. benthamii*), com a mesma idade, submetidos a diferentes quantidades de desfolhas. (a) zero desfolhas, (b) uma desfolha, (c) duas desfolhas sucessivas e (d) três desfolhas sucessivas.

#### 4.9. Nutrição foliar

As folhas das árvores dos 12 clones de eucalipto apresentaram teores nutricionais normais, entretanto, as desfolhas sucessivas causaram alterações (Figura 39). Na média dos 12 clones, as árvores que sofreram três desfolhas sucessivas apresentaram aumento na concentração dos macronutrientes N (22%), P (16%), K (22%), Mg (15%) e S (2%) e dos micronutrientes Cu (4%), Mn (6%) e Zn (12%), em relação aos teores apresentados pelas árvores não desfolhadas. Por outro lado, as árvores não desfolhadas apresentaram concentrações do macronutriente Ca, e dos micronutrientes B e Fe, 2%, 11% e 22% superiores aos teores das árvores desfolhadas, respectivamente.

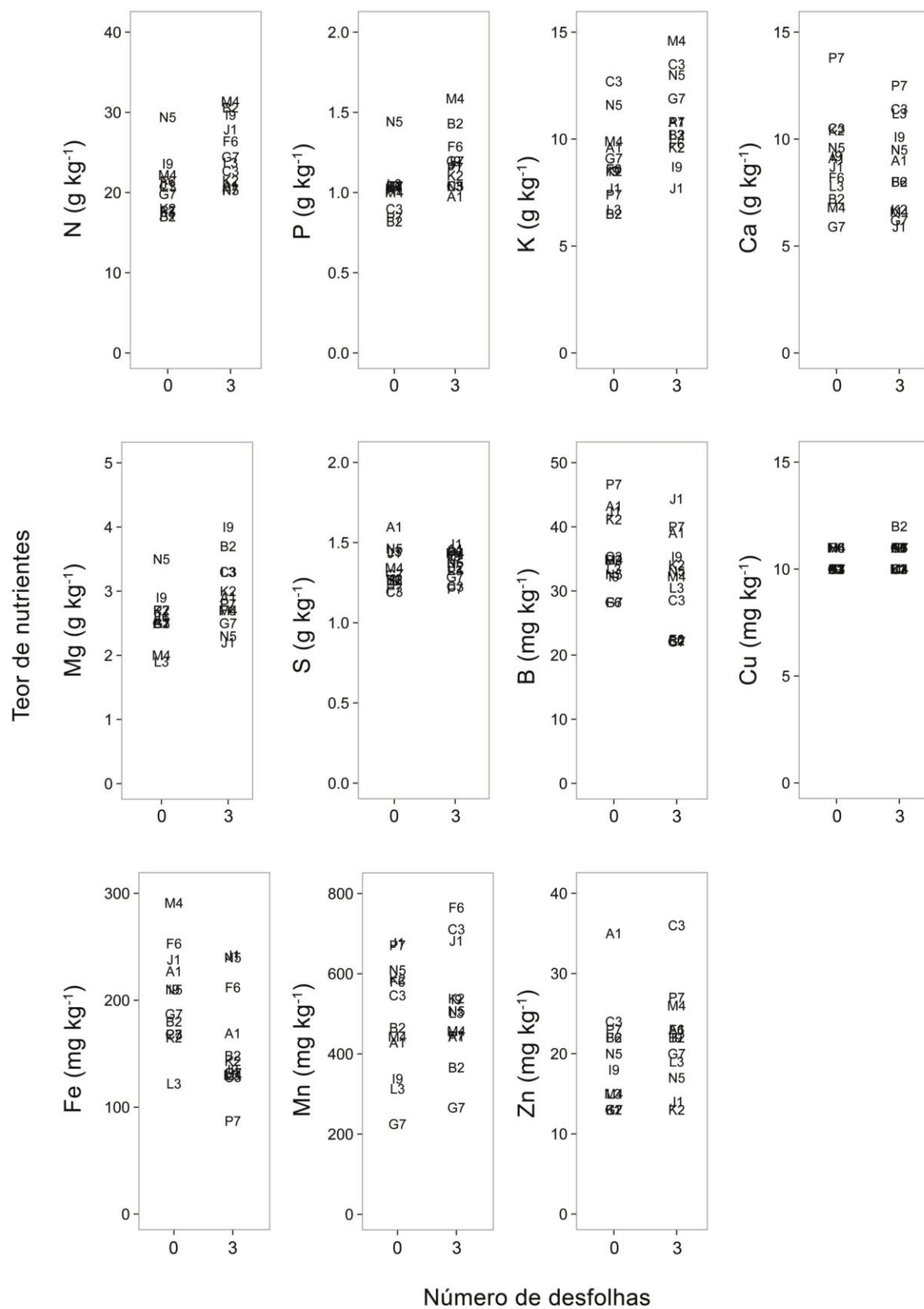


Figura 39. Teores de nutrientes nas folhas de árvores submetidas a zero e três desfolhas sucessivas de 12 clones de eucalipto

A concentração de nutrientes na folha varia conforme a idade. Quando a folha é nova, por exemplo, a atividade metabólica e a concentração de nutrientes são altas. Conforme a folha fica mais velha, os nutrientes móveis são consumidos ou mobilizados para novas partes da planta. Quando a folha fica mais velha sua matéria seca aumenta e as concentrações de nutrientes imóveis também aumentam (NIEMINEN; HELMISAARI, 1996). No momento da coleta das amostras, a segunda desfolha havia ocorrido a cerca de quatro meses. As novas folhas das árvores que haviam sido desfolhadas, embora estivessem completamente expandidas, estavam mais tenras do que as folhas das árvores não desfolhadas. Por isso, os resultados indicam que as árvores desfolhadas não apresentavam deficiências nutricionais.

#### **4.10. Teor de carboidratos não estruturais**

Os teores de carboidratos não estruturais das árvores não desfolhadas foram diferentes entre os três clones (Figura 40). O clone J1, *E. benthamii* de origem climática Cfb (subtropical úmido sem estação seca e com verão temperado), foi o clone com maiores teores dos três carboidratos analisados. O clone A1, *E. urophylla* de origem climática Cwa (subtropical úmido com inverno seco e verão quente), apresentou teores de CNE semelhantes ao clone B2, *E. urophylla* x *E. grandis* de origem climática Aw (tropical com inverno seco). O *E. benthamii* é conhecido por suportar temperaturas mais frias e apresenta crescimento lento, se comparado aos outros dois clones, neste sítio. A afirmação de que espécies adaptadas a ambientes frios apresentam um moderado balanço de carboidratos não estruturais foi verdadeiro neste caso.

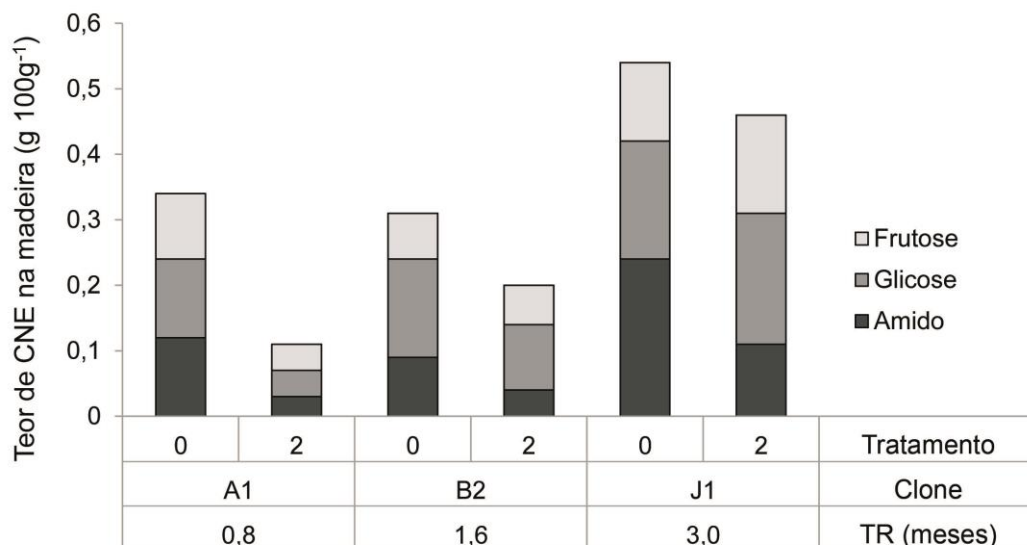


Figura 40. Teor de três Carboidratos Não Estruturais (CNE) em três clones de eucalipto submetidos a diferentes quantidades de desfolhas sucessivas (zero e duas desfolhas sucessivas). TR = Tempo de recuperação entre a segunda desfolha e a coleta das amostras de madeira

O tempo entre a segunda desfolha e a coleta das amostras variou de 0,8 e 3 meses entre os clones. Os que tiveram mais tempo de recuperação do estresse apresentaram níveis mais próximos daqueles das árvores não desfolhadas. Em três meses, o clone J1 conseguiu recuperar boa parte das reservas de carboidratos. Se isso for uma regra, esse material genético estaria pronto para suportar outra desfolha total. Já no caso do clone A1, em 0,8 meses muito pouca reserva restava.

Os clones podem apresentar velocidades de recuperação dos teores de carboidratos não estruturais diferentes. Por isso, será realizada a comparação entre a perda de produtividade causada pela primeira desfolha com o teor de carboidratos não estruturais das árvores não desfolhadas dos três clones. O clone J1 foi o que apresentou os maiores teores de carboidratos não estruturais, seguido pelos clones A1 e B2, que apresentaram teores bastante inferiores e semelhantes entre si. As perdas de biomassa do clone J1 foram de 25%, enquanto que os clones A1 e B2 apresentaram perdas de 54% e 51%, respectivamente. O maior teor de carboidratos não estruturais permitiu que o clone J1 se recuperasse mais rapidamente do estresse causado pela desfolha.

As análises de carboidratos não estruturais se mostraram compatíveis com o que se encontra em literatura e o melhor entendimento do assunto pode desenvolver uma nova ferramenta para a silvicultura, criando-se um indicador de estresse pela falta de reserva de carboidratos não estruturais.

#### 4.11. Aplicações práticas da quantificação de perdas de crescimento

Os 12 clones deste estudo são de extrema relevância à silvicultura brasileira e representam boa parte dos materiais genéticos plantados no país. O efeito das desfolhas totais é prolongado e o impacto na produtividade é significativo. As perdas causadas pelas desfolhas sucessivas nos 12 clones do experimento são substanciais (Figura 41), entretanto, os valores encontrados podem estar superestimados se comparados aos locais em que todas as árvores são atacadas por pragas. Isso porque uma parcela da perda verificada foi causada pelas árvores não desfolhadas dominarem aquelas que sofreram o estresse. Quando as pragas atacam todas as árvores, elas têm a mesma oportunidade de recuperação de copa e de crescimento, portanto as perdas podem ser menores.

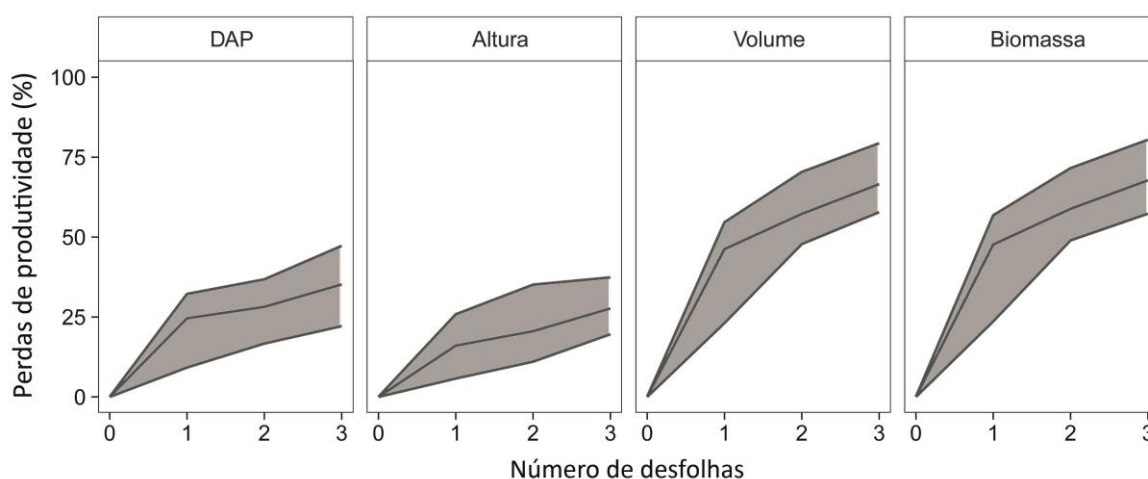


Figura 41. Amplitude de perdas de produtividade proporcionadas por diferentes quantidades de desfolhas sucessivas em 12 clones de eucalipto um ano após a primeira desfolha.

#### 4.12. Verificação das hipóteses

- i. A primeira desfolha causará maior impacto na produtividade do que as desfolhas subsequentes; - Corroborada;
- ii. Clones com menor área foliar serão menos susceptíveis à perda de crescimento pelas desfolhas; - Não corroborada;
- iii. Os teores de carboidratos não estruturais serão inversamente proporcionais ao número de desfolhas; - Corroborada;
- iv. Os carboidratos não estruturais podem servir como um indicador de estresse por desfolhas; - Corroborada.

## 5. CONCLUSÕES

As desfolhas sucessivas afetam o crescimento árvores de maneira forte e prolongada havendo um gradiente de perdas entre clones, uns são mais prejudicados que outros. As desfolhas causaram perdas de crescimento em DAP, altura total, volume e biomassa de madeira. O crescimento em DAP foi mais prejudicado do que em altura total, portanto, as desfolhas causam o estiolamento das árvores. As perdas de volume e biomassa foram semelhantes e fizeram com que as árvores desfolhadas fossem dominadas pelas não desfolhadas, causando redução da homogeneidade das parcelas.

Um ano após a primeira desfolha, as árvores que sofreram uma desfolha apresentaram redução média de 48% em biomassa de madeira (variando entre 24 e 57% para clones) comparativamente às árvores que não sofreram desfolhas. Duas desfolhas sucessivas causaram redução média de 59% de biomassa (variando entre 49 e 72%) e três desfolhas sucessivas, na média, causaram perdas de 68% (variando entre 57 e 80%). O controle de pragas deve ser realizado rapidamente, antes que a primeira desfolha ocorra, pois ela causa os maiores impactos na produtividade de clones de eucalipto.

A área foliar dos clones não influencia a recuperação da árvore depois das desfolhas. Por outro lado, maiores teores de carboidratos não estruturais proporcionaram menores perdas de biomassa de madeira e apresentam-se como potenciais indicadores de estresse em clones de eucalipto.



## 6. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.]: Schweizerbart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013.

AMANTE, E. Prejuízos causados pela formiga saúva em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 355-363, 1967.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. **Abiotic stress**. Binghamton: Haworth, 2005. 727 p.

BARRY, K. M. et al. Consequences of resource limitation for recovery from repeated defoliation in *Eucalyptus globulus* Labillardière. **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 24-35, dez. 2011.

BATTAGLIA, M. et al. Modelling the impact of defoliation and leaf damage on forest plantation function and production. **Ecological Modelling**, [s.l.], v. 222, n. 17, p. 3193-3202, set. 2011.

BINKLEY, D. et al. Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam: Elsevier BV, v. 259, n. 9, p. 1704-1713, abr. 2010.

BLOOM, A. J.; CHAPIN, F. S.; A. MOONEY, H. Resource limitation in plants: an economic analogy. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [s.l.]: Annual Reviews, v. 16, n. 1, p. 363-392, nov. 1985.

BROOKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A. **Field guide to Eucalypts**. 3. ed. Richmond, VIC: Blooming Books, 2006. 356 p.

CAMPOE, O. C. et al. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 288, p. 14-20, jan. 2013.

CAMPOE, O. C. **Ecologia da produção e da competição intra-específica do *Eucalyptus grandis* ao longo de um gradiente de produtividade no Estado de São Paulo**. 2012. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Silvicultura e Manejo Florestal, Ciências Florestais, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.

CHABOT, B. F.; HICKS, D. J. The ecology of leaf life spans. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [s.l.]: Annual Reviews, v. 13, n. 1, p. 229-259, nov. 1982.

CHAMPE, P. C.; HARVEY, R. A.; FERRIER, D. R. **Bioquímica ilustrada**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 544 p.

CHEN, Z.; KOLB, T. E.; CLANCY, K. M. Mechanisms of Douglas-fir resistance to western spruce budworm defoliation: bud burst phenology, photosynthetic compensation and growth rate. **Tree Physiology**, [s.l.]: Oxford University Press, v. 21, n. 16, p. 1159-1169, out. 2001.



DELLA LUCIA, T. M. C. **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa, MG: UFV, 2011. 421 p.

FAETH, S. H. Do defoliation and subsequent phytochemical responses reduce future herbivory on oak trees? **Journal of Chemical Ecology**, [s.l.]: Springer Science + Business Media, v. 18, n. 6, p. 915-925, jun. 1992.

FREITAS, S.; BERTI FILHO, E. Efeito do desfolhamento no crescimento de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden (myrtaceae). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 47, p. 36-43, maio 1994.

GALIANO, L.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; LLORET, F. Carbon reserves and canopy defoliation determine the recovery of Scots pine 4 yr after a drought episode. **New Phytologist**, [s.l.]: Wiley-Blackwell, v. 190, n. 3, p. 750-759, jan. 2011.

GERMINO, M. J. A carbohydrate quandary. **Tree Physiol**, [s.l.]: Oxford University Press, p. 1141-1145, out. 2015.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, [s.l.]: Informa UK Limited, v. 70, n. 2, p. 105-118, ago. 2008.

GRIME, J. P. **Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties**. 2. ed. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 2006. 456 p.

HAKAMADA, R. E. **Uso do inventário florestal como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultura em povoamentos clonais de *Eucalyptus***. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

HAKAMADA, R. E. et al. Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 27-39, mar. 2015.

HJÄLTÉN, J. Simulating herbivory: problems and possibilities. In: EDS, 1. 2004, Heidelberg, Germany. **Insects and Ecosystem Function**, Heidelberg: Springer, 2004. p. 244-255.

HOCH, G. Cell wall hemicelluloses as mobile carbon stores in non-reproductive plant tissues. **Functional Ecology**, [s.l.]: Wiley-Blackwell, v. 21, n. 5, p. 823-834, out. 2007.

HOOGESTEGER, J.; KARLSSON, P. S. Effects of defoliation on radial stem growth and photosynthesis in the Mountain Birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*). **Functional Ecology**, [s.l.]: JSTOR, v. 6, n. 3, p. 317-323, 1992.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (São Paulo). **Relatório IBÁ 2016**. São Paulo: Studio 113, 2016.

INMET. **Dados Históricos**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

IPEF. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus***: princípios básicos e a sua evolução no Brasil. 192. ed. Piracicaba: IPEF, 2000. 14 p.

JACQUET, J.-S. et al. Combined effects of defoliation and water stress on pine growth and non-structural carbohydrates. **Tree Physiology**, [s.l.]: Oxford University Press, v. 34, n. 4, p. 367-376, abr. 2014.

JACQUET, J. S.; ORAZIO, C.; JACTEL, H. Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review. **Annals of Forest Science**. Cestas, p. 857-866, maio 2012.

KÖPPEN, W. Handbuch der Klimatologie. **Das Geographische System Der Klimate**, Berlin, v. 35, n. 1, parte C, p. 1-44, 1936.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. Nedlands, Austrália: Springer, 2000. 571 p.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 4 ed. Springer, 2003. 514 p.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1980. 497 p.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996. 307 p.

LOWMAN, M. D.; RINKER, H. B. **Forest canopies**. 2. ed. Burlington, MA: Elsevier, 2004. 517 p.

LUU, T. C.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Neighborhood uniformity increases growth of individual *Eucalyptus* trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 289, p. 90-97, fev. 2013.

MARICONI, F. A. M.; MENDES FILHO, J. M. A. M.; MORAES, T. S. A. **Reunião Técnica sobre “Formigas cortadeiras em povoamentos florestais”**. Piracicaba: IPEF, 1981. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr07.asp>>. Acesso em: 27 maio 2014.

MATRANGOLO, C. A. R. et al. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.]: FapUNIFESP (SciELO), v. 45, n. 9, p. 952-957, set. 2010.

MATTHEWS, R. W.; MATTHEWS, J. R. **Insect behavior**. 2. ed. Athens: Springer, 2010. 514 p.

MATTOS, E. M. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

MCNAUGHTON, S. J. Compensatory plant growth as a response to herbivory. **Oikos**, [s.l.]: JSTOR, v. 40, n. 3, p. 329-336, maio 1983.

MCNAUGHTON, S. J.; CHAPIN, F. S. Effects of phosphorus nutrition and defoliation on C4 graminoids from the Serengeti plains. **Ecology**, [s.l.]: Wiley-Blackwell, v. 66, n. 5, p. 1617-1629, out. 1985.

MENDES FILHO, J. M. A. Ação danosa de pragas desfolhadoras sobre as florestas de *Eucalyptus*. 131. ed., Piracicaba, SP: IPEF, 1981. 5 p. **Circular Técnica**.

MEYER, G. A. Pattern of defoliation and its effect on photosynthesis and growth of Goldenrod. **Functional Ecology**, London, v. 12, n. 2, p. 270-279, 1998.

MITHÖFER, A.; WANNER, G.; BOLAND, W. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves: continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory - Related Volatile Emission. **Plant Physiology**, California, v. 137, n. 3, p. 1160-1168, abr. 2005.

MOONEY, H. The Carbon Balance of Plants. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, [s.l.]: Annual Reviews, v. 3, n. 1, p. 315-346, nov. 1972.

MOONEY, H. A.; WINNER, W. E.; PELL, E. J. (Ed.). **Response of plants to multiple stresses: Physiological Ecology**. Stanford: Academic Press, 1991. 396 p.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 113 p.

NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; ZUCCHI, R. A. **Entomologia econômica**. Piracicaba: Livrocere Ltda, 1981. 314 p.

NIEMINEN, T.; HELMISAARI, H.-S. Nutrient retranslocation in the foliage of *Pinus sylvestris* L. growing along a heavy metal pollution gradient. **Tree Physiology**, [s.l.]: Oxford University Press, v. 16, n. 10, p. 825-831, out. 1996.

ONU. **World population 2015**. New York: Department of Economic and Social Affairs - Population Division, 2015. 2 p. Disponível em: <[http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/World\\_Population\\_2015\\_Wallchart.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/World_Population_2015_Wallchart.pdf)>. Acesso em: 1 abr. 2016.

OVASKA, J. et al. Combined effects of partial defoliation and nutrient availability on cloned *Betula pendula* saplings: changes in net photosynthesis and related biochemical properties. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 44, n. 265, p. 1395-1402. ago. 1993.

OWEN, D. F.; WIEGERT, R. G. Do Consumers Maximize Plant Fitness? **Oikos**, [s.l.]: JSTOR, v. 27, n. 3, p. 488-492, 1976.

PIMENTEL, D. **Encyclopedia of pest management**. Ithaca: Taylor and Francis, 2002. 931 p.

PINKARD, E. A. Physiological and growth responses related to pattern and severity of green pruning in young *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 182, n. 1-3, p. 231-245, 2003.

PINKARD, E. A. et al. Photosynthetic responses of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden to green pruning. **Trees**, [s.l.]: Springer Science + Business Media, v. 12, n. 3, p. 119-129, 15 jan. 1998.

PINKARD, E. A.; BATTAGLIA, M.; MOHAMMED, C. L. Defoliation and nitrogen effects on photosynthesis and growth of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, Victoria, v. 27, n. 7, p. 1053-1063, abr. 2007.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. G. **O eucalipto**: um século no Brasil. São Paulo: Antonio Bellini, 2007. 132 p.

QUENTIN, A. G. et al. Do artificial and natural defoliation have similar effects on physiology of *Eucalyptus globulus* Labill. seedlings? **Annals of Forest Science**, [s.l.]: Springer Science + Business Media, v. 67, n. 2, p. 203-203, jan. 2010.

QUENTIN, A. G. et al. Non-structural carbohydrates in woody plants compared among laboratories. **Tree Physiol**, [s.l.]: Oxford University Press, p. 1146-1165, 29 set. 2015.

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

SCHOWALTER, T. D. **Insect ecology**: An ecosystem approach. San Diego: Academic Press, 2000, 633 p.

SENTELHAS, P. C. et al. **Balances hídricos climatológicos do Brasil - 500 balanços hídricos de localidades brasileiras**. 1999. ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil**. 2002. 225 p. Thesis (Ph. D. in Forest Sciences) – Colorado State University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J. L. et al. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucalipto cultura: O programa TECHS. In: Encontro Brasileiro De Silvicultura, 3., 2014, Campinas. **Anais...** Curitiba: Embrapa Florestas, 2014. p. 81-98.

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

STAPE, J. L.; ROCHA, J. C.; DONATTI, Z. Indicadores de qualidade silvicultural na Aracruz: 2000 a 2005. Piracicaba: IPEF, 2006. **Relatório Técnico**.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam: Elsevier BV, v. 193, n. 1-2, p. 219-234, maio 2004.

STEINBAUER, M. J. Seasonal phenology and developmental biology of *Amorbus obscuricornis* (Westwood) and *Gelonus tasmanicus* (Le Guillou) (Hemiptera: Coreidae). **Australian Journal of Zoology**, Melbourne, v. 45, p. 49-63, jan. 1997.

TIMOFEICZYK, R. J. **Análise econômica da atividade de controle de formigas cortadeiras e da maturação financeira de um povoamento de *Eucalyptus* spp no estado do Mato Grosso**. 1998. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

TORRADO, P. V. et al. **Mapa de solos Campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba: Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, 2004. 95 p.

TRLICA, M. J.; RITTENHOUSE, L. R. Grazing and plant performance. **Ecological Applications**, Ithaca, p. 21-23, fev. 1993.

TURNBULL, T. L.; WARREN, C. R.; ADAMS, M. A. Novel mannose-sequestration technique reveals variation in subcellular orthophosphate pools do not explain the effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Eucalyptus globulus* seedlings. **New Phytologist**, [s.l.]: Wiley-Blackwell, v. 176, n. 4, p. 849-861, dez. 2007.

VANDERKLEIN, D. W.; REICH, P. B. The effect of defoliation intensity and history on photosynthesis, growth and carbon reserves of two conifers with contrasting leaf lifespans and growth habits. **New Phytologist**, [s.l.]: Wiley-Blackwell, v. 144, n. 1, p. 121-132, out. 1999.

WILCKEN, C. F. et al. Manejo de pragas exóticas em florestas de eucalipto. in: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2., 2011, Campinas. **Anais do II Encontro Brasileiro de Silvicultura**. Campinas: IPEF, 2011, p. 129 - 134.

WILLOUGHBY, I. et al. **FSC Guide**: to integrated pest, disease and weed management in FSC certified forests and plantations. FSC International Center GmbH: FSC, 2009. 19 p. (FSC Technical Series).

## APÉNDICE

### Apêndice 1. Descrição do solo do sítio experimental.

Características Morfológicas dos horizontes (TORRADO, 2004):

- A 0-8cm; 7,5YR 4/3 (cor úmida); textura argilosa; estrutura forte em blocos sub angulares grandes; consistência duro (seco); firme (úmido); pegajoso e plástico (molhado); cerosidade fraca e pouca; transição gradual.
- AB 8-20cm; 7,5YR 4/4 (cor úmida); textura argilosa; estrutura forte blocos sub angulares médios a pequenos; consistência duro (seco); firme (úmido); pegajoso e plástico (molhado); cerosidade comum e moderada; transição clara.
- B1 20-60cm; 7,5YR 4/4 (cor úmida); textura muito argilosa; estrutura forte blocos sub angulares grandes a médios; consistência duro (seco); firme (úmido); muito pegajoso e muito plástico (molhado); cerosidade forte e comum; transição gradual.
- B2 60-85cm; 2,5YR 4/6 (cor úmida); textura muito argilosa; estrutura forte blocos sub angulares grandes a médios; consistência duro (seco); firme (úmido); muito pegajoso e muito plástico (molhado); cerosidade forte e comum; transição abrupta.
- B3 85-100cm seixos rolados em mais de 90% do volume do horizonte (Figura 42).
- C 100cm +

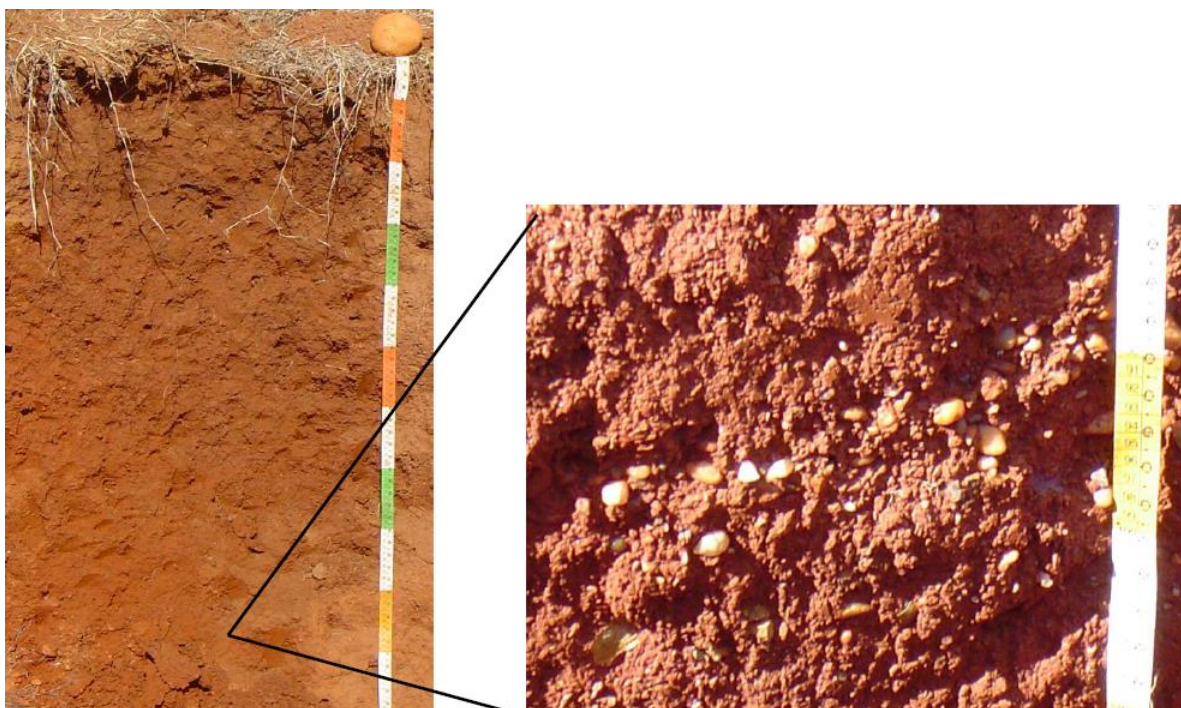


Figura 42. Trincheira com detalhe evidenciando seixos rolados (TORRADO, 2004).

A densidade do solo na camada de 0 a 20 cm e 60 a 80 cm de profundidade é de  $1,31 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,13 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente. A drenagem é considerada

boa, mesmo que o solo seja argiloso até 30cm de profundidade e, a partir daí, muito argiloso (Tabela 3). A Tabela 4 mostra a análise química do solo realizada por Torrado (2004), quando o solo estava sob pastagens sem erosão aparente.

Tabela 3. Análise granulométrica do perfil do solo (TORRADO, 2004)

Profundidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
0-10	28	31	41	Argilosa
10-30	35	28	37	Argilosa
30-56	18	21	62	Muito argilosa
56-85	14	16	70	Muito argilosa
85-100	11	17	73	Muito argilosa

Tabela 4. Análise química do perfil solo (TORRADO, 2004)

Profundidade	----- pH -----			MO g dm <sup>-3</sup>	P mg k <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m
	H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>											
0-10	5,1	4,1	4,4	50	9	0,4	4,2	2,8	0,5	5,8	7,3	13,2	56	6
10-30	4,8	3,7	3,9	20	2	0,2	1,1	1,0	2,2	7,2	2,3	9,5	24	48
30-56	5,0	3,7	3,9	19	1	0,1	1,3	0,9	3,7	13,5	2,4	15,9	15	60
56-85	5,1	3,7	3,9	16	2	0,1	1,0	0,8	3,9	15,0	2,0	17,0	12	66
85-100	5,2	3,8	3,9	9	1	0,1	0,5	1,2	4,2	16,6	1,7	18,3	9	70





Apêndice 3. Coeficientes das equações de volume (2) e biomassa de madeira (3) dos 18 clones do programa cooperativo TECHS.

Clone	Volume			Biomassa		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
A1	-10,1385			-4,3036		
B2	-10,1944			-4,3277		
C3	-10,2215			-4,3423		
D4	-10,1467			-4,2900		
E5	-10,2634			-4,4530		
F6	-10,2135			-4,3511		
G7	-10,2142			-4,2619		
H8	-10,2234			-4,2002		
I9	-10,1569			-4,0940		
K2	-10,2043	1,6552	1,2800	-4,3409	1,8534	1,1414
J1	-10,1985			-4,3021		
L3	-10,2138			-4,2801		
M4	-10,1265			-4,1872		
N5	-10,1548			-4,2050		
P7	-10,0128			-4,0682		
O6	-10,2057			-4,3391		
Q8	-10,2444			-4,3151		
R9	-10,2370			-4,3591		

$$(2) \quad \ln(\text{Vol}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{DAP}) + \beta_2 \ln(\text{H})$$

$$(3) \quad \ln(\text{B}) = \beta_3 + \beta_4 \ln(\text{DAP}) + \beta_5 \ln(\text{H})$$

Onde,

Vol é o volume de madeira (m<sup>3</sup>)

B é a biomassa de madeira (kg)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  são os coeficientes da equações 2 e 3

DAP é o Diâmetro à Altura do Peito (cm)

H é a altura total das árvores (m)

Apêndice 4. Idade dos clones no momento da primeira desfolha e as datas em que as desfolhas sucessivas ocorreram

Clone	Idade (meses)	Data média		
		1ª desfolha	2ª desfolha	3ª desfolha
J1	14,2	30/01/2015	18/05/2015	19/09/2015
F6	14,3	03/02/2015	31/05/2015	21/09/2015
M4	14,4	07/02/2015	17/06/2015	01/10/2015
N5	14,5	08/02/2015	20/06/2015	08/10/2015
B2	14,6	10/02/2015	28/06/2015	14/10/2015
G7	14,8	16/02/2015	08/07/2015	28/10/2015
I9	15,0	24/02/2015	13/07/2015	04/11/2015
C3	15,2	02/03/2015	15/07/2015	11/11/2015
L3	15,6	15/03/2015	18/07/2015	15/11/2015
A1	16,1	30/03/2015	22/07/2015	02/12/2015
K2	16,6	11/04/2015	26/07/2015	03/12/2015
P7	16,9	21/04/2015	29/07/2015	02/12/2015