

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Balanço hídrico do sistema solo-planta e eficiência de uso da água por espécies de
Eucalyptus com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica

Amanda de Castro Segtowich

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2020

Amanda de Castro Segtowich
Engenheira Florestal

**Balanço hídrico do sistema solo-planta e eficiência de uso da água por espécies de *Eucalyptus*
com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Segtowich, Amanda de Castro

Balço hídrico do sistema solo-planta e eficiência de uso da água por espécies de *Eucalyptus* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica / Amanda de Castro Segtowich. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2020.

74p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Silvicultura 2. Hidrologia 3. Ecofisiologia 4. Fluxo de seiva I. Título

AGRADECIMENTOS

À Deus e Nossa Senhora por me concederem mais esta conquista;

À minha mãe, Elizabeth, sem a qual eu não teria chegado até aqui;

Ao meu pai, Ciro, minhas irmãs, Fernanda e Rafaela, minha sobrinha perfeita, Maria, e aos meus cunhados, Victor e Luca, pela força;

Ao Professor Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves, pela oportunidade e todos os conhecimentos repassados;

À banca examinadora, meu orientador, Professor Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves, ao Professor Dr. Joannès Guillemot, Dr. Juan Sinfiorano Delgado Rojas, Professor Dr. Otávio Camargo Campoe, Dr. José Henrique Rocha, Dr. Bruno Bordron e ao Dr. José Carlos de Deus Junior, por terem aceitado participar da comissão julgadora da minha defesa de mestrado, como membros principais e suplentes;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), à Universidade de São Paulo (USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais pela estrutura e por contribuir enormemente para a minha formação profissional;

Ao Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo (PTSM), programa vinculado ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF), pelo apoio logístico e financeiro. E ao Alexandre de Vicente Ferraz pela ajuda técnica e científica;

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado;

Às minhas amigas e companheiras de laboratório, Ivanka Rosada de Oliveira e Liamara Masullo, que me incentivaram desde o início;

Aos meus outros companheiros de PTSM, que também contribuíram muito para a minha formação, José Carlos de Deus Junior, Antonio Florentino, Andressa Ávila, José Rocha, Andréa Wenzel, Robson Corrêa, Adam Rodrigues

À equipe da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECF), em especial, ao Rildo, Lourival e à Elaine, por todo o apoio na realização nas atividades de campo. E aos estagiários que passaram pela Estação, que também ajudaram nas atividades de campo do projeto;

Ao Dr. Juan Rojas, pelo apoio ao projeto desde o início e pelos conhecimentos repassados;

Ao Cirad e, em especial, ao Dr. Joannès Guillemot, pelo empréstimo de alguns materiais, essenciais para a execução de algumas metodologias;

Ao Eder e toda a equipe da Floragro, pelo apoio técnico prestado ao projeto;

Aos estagiários atuais e os que passaram pelo PTSM, com quem tive a oportunidade de trabalhar, Gardênia, Ana Paula, Rafael, Lucas, Victória, Carolina, Douglas, Bruno, João Carlos, Joana, João Victor e Renan, pela ajuda nas atividades do projeto. Sem vocês teria sido muito mais difícil;

À equipe do Viveiro da ESALQ/USP, Sabino e Natanael, pelo apoio e amizade ao longo desse período.

Muito obrigada

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. EUCALIPTO.....	11
2.1.1. <i>Eucalyptus grandis</i>	11
2.1.2. <i>Eucalyptus urophylla</i>	12
2.1.3. <i>Eucalyptus cloeziana</i>	12
2.1.4. <i>Corymbia citriodora</i>	12
2.1.5. <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13
2.1.6. <i>Eucalyptus brassiana</i>	14
2.2. MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA.....	14
2.3. BALANÇO HÍDRICO.....	14
2.3.1. <i>Precipitação pluvial</i>	15
2.3.2. <i>Evapotranspiração e fluxo de seiva</i>	15
2.4. ARQUITETURA DE COPA.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. PROCEDÊNCIA DE MUDAS.....	19
3.2. ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.3. AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE.....	21
3.4. DADOS CLIMÁTICOS.....	21
3.5. BALANÇO HÍDRICO DO SISTEMA SOLO-PLANTA.....	21
3.5.1. <i>Precipitação pluvial</i>	22
3.5.2. <i>Evaporação</i>	23
3.5.3. <i>Fluxo de seiva</i>	24
3.6. UMIDADE DO SOLO.....	26
3.7. ARQUITETURA DE COPA.....	27
3.8. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_{WF}).....	28
3.9. EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA (EUA).....	28
3.10. ANÁLISE DOS DADOS.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	31
4.2. PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS TOTAL E EFETIVA.....	35
4.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_{WF}).....	46
4.5. UMIDADE DO SOLO.....	54
4.6. BALANÇO HÍDRICO DO SISTEMA SOLO-PLANTA.....	58
4.7. EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA (EUA).....	62
5. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67

RESUMO

Balanço hídrico do sistema solo-planta e eficiência de uso da água por espécies de *Eucalyptus* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica

A crescente preocupação com o uso da água pelas culturas e a busca por maior eficiência hídrica tem sido agravada pela expansão das plantações no Brasil para áreas marginais, com menor disponibilidade hídrica, o que tende a aumentar com as mudanças climáticas. O conhecimento acerca das características morfológicas e dos principais processos fisiológicos que controlam o crescimento das árvores e o uso da água é essencial para a seleção e melhoramento de espécies florestais tolerantes à seca. Assim, o presente estudo teve como objetivos: i) avaliar as precipitações pluviais total e efetiva e monitorar as variações de umidade do solo; ii) estimar as taxas de crescimento e caracterizar a estrutura de copa de povoamentos de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*, sendo estas: *E. grandis* (pouco tolerante à seca), *E. urophylla* e *E. cloeziana* (mediamente tolerantes à seca), e *E. brassiana*, *E. camaldulensis* e *C. citriodora* (muito tolerantes à seca); e iii) fazer o balanço hídrico do sistema solo-planta e avaliar a eficiência de uso de água (EUA) para a produção de lenho em povoamentos de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*. O experimento foi instalado em março de 2016 no município de Itatinga-SP, Brasil. Foi instalada uma subparcela útil de 36 plantas para a realização de avaliações não-destrutivas em cada espécie. As demais linhas da parcela foram destinadas à amostragem destrutiva. As espécies que apresentaram maior precipitação pluvial efetiva foram *E. brassiana* e *C. citriodora*. Apesar de *E. grandis* e *E. urophylla*, as espécies mais produtivas, terem sido as que mais tiveram perda de água por interceptação, também foram as que apresentaram a maior EUA para a síntese de biomassa de tronco. O *E. grandis* e o *E. camaldulensis* foram as espécies que mais transpiraram em 12 meses (1112 mm e 797 mm, respectivamente). O *E. camaldulensis*, embora seja muito tolerante ao déficit hídrico, mostrou-se como uma espécie dispendiosa nas condições edafoclimáticas deste sítio, o qual, praticamente, não apresenta restrição hídrica. Esta espécie consumiu muita água e apresentou baixa EUA. O *E. urophylla*, espécie que menos transpirou (638 mm), apresentou baixo impacto no balanço hídrico do sistema solo-planta, sendo, também, importante no processo de alocação de carbono.

Palavras-chave: Silvicultura; Hidrologia; Ecofisiologia; Fluxo de seiva

ABSTRACT

Water balance of the soil-plant system and water use efficiency by *Eucalyptus* species with different tolerances to water deficiency

The growing concern with the use of water by crops and the search for greater water efficiency has been aggravated by the expansion of plantations in Brazil to marginal areas, with less water availability, which tends to increase with climate change. Knowledge about the morphological characteristics and the main physiological processes that control the growth of trees and water use is essential for the selection and improvement of drought-tolerant forest species. Thus, the present study aimed to: i) assess total and effective rainfall and monitor soil moisture variations; ii) estimate growth rates and characterize the crown structure of *Eucalyptus* and *Corymbia* species stands, which are: *E. grandis* (low-drought-tolerant), *E. urophylla* and *E. cloeziana* (moderately-drought-tolerant), and *E. brassiana*, *E. camaldulensis* and *C. citriodora* (high-drought-tolerant); and iii) calculate the water balance of the soil-plant system and evaluate the water use efficiency (WUE) for the production of wood in stands of *E. grandis*, *E. urophylla* and *E. camaldulensis*. The experiment was installed in March 2016 in the municipality of Itatinga-SP, Brazil. A useful subplot of 36 plants was installed to carry out non-destructive assessments on each species. The other lines of the plot were destined for destructive sampling. The species with the highest effective rainfall were *E. brassiana* and *C. citriodora*. Although *E. grandis* and *E. urophylla*, the most productive species, were the ones that had more water loss by interception, they were also the ones that presented the highest WUE for the synthesis of trunk biomass. *E. grandis* and *E. camaldulensis* were the species that transpired the most in 12 months (1112 mm and 797 mm, respectively). *E. camaldulensis*, although very tolerant to water deficit, proved to be an expensive species in the edaphoclimatic conditions of this site, which practically has no water restriction. This species consumed a lot of water and presented low WUE. *E. urophylla*, the species that transpired the least (638 mm), had a low impact on the water balance of the soil-plant system, and is also important in the carbon allocation process.

Keywords: Silviculture; Hidrology; Ecophysiology; Sap flow;

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o uso da água pelas culturas e a busca por maior eficiência hídrica tem sido agravada pela expansão das plantações no Brasil em áreas marginais, com menor disponibilidade hídrica (LIMA et al. 2012). Evidências mostram que as plantações florestais nos trópicos usam água de acordo com sua disponibilidade, e a escolha adequada de espécies/variedades são cruciais para a conservação da água. Há uma estreita relação entre disponibilidade de água e produtividade (STAPE et al. 2004; GONÇALVES et al. 2013). Por isso, a associação de materiais genéticos com diferentes produtividades em uma bacia hidrográfica tem efeito substancial no consumo de água.

Um dos maiores desafios da atualidade e nas próximas décadas será a adaptação dos genótipos nas novas fronteiras florestais, onde, em grande parte, as deficiências hídricas são elevadas e tendem a aumentar com as mudanças climáticas (GONÇALVES et al., 2017). O estresse hídrico nessas regiões possui amplas variações temporais e espaciais, exigindo a seleção e o melhoramento de genótipos plásticos e com alta resistência ao estresse biótico.

Faz-se necessário profundo conhecimento das características morfológicas e dos principais processos fisiológicos que controlam o crescimento das árvores e o uso da água. Esses atributos da planta têm base genética, comumente, com expressão influenciada pela interação genótipo-ambiente, e determinada por caracteres gênicos quantitativos (PAULA et al., 2011). Grande parte da pesquisa em fisiologia tem sido dedicada a identificar os mecanismos de adaptação à seca, principalmente aqueles relacionados ao retardo da desidratação (WHITEHEAD E BEADLE, 2004). Entender como esses eventos são ligados ou desligados e como eles interagem é essencial para a seleção e melhoramento de espécies florestais tolerantes à seca (PAULA et al., 2011).

O processo de melhoramento começa após a identificação de espécies tolerantes ao déficit hídrico. As espécies mais importantes de *Eucalyptus* quanto à tolerância à seca são encontradas no subgênero *Symphyomyrthus* seção *Transversaria* (e.g. *E. urophylla*) e seção *Exsertaria* (e.g. *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E.brassiana*), e subg. *Idiogenes* (e.g. *E. cloeziana*), e, no gênero *Corymbia*, *C. citriodora*, *C. torelliana* e *C. maculata* (FONSECA et al. 2010; GONÇALVES et al. 2013). Dado que essas espécies são perenes, que passam por vários ciclos de estresse ambiental, os mecanismos de tolerância a fatores abióticos e bióticos são complexos e visam principalmente suas sobrevivências. Os materiais genéticos mais tolerantes à deficiência hídrica são menos produtivos, pois os mecanismos de tolerância envolvem altos custos metabólicos, por exemplo, para o controle da abertura e fechamento de estômato, a produção de compostos osmoprotetores e o desenvolvimento do sistema radicular (WHITEHEAD & BEADLE, 2004; PAULA et al. 2011). Esses mecanismos fisiológicos e morfológicos favorecem a economia da água em períodos de escassez crítica de água, mas podem afetar negativamente o crescimento em períodos em que as condições hídricas são favoráveis.

As plantações clonais monoespecíficas e de híbridos interespecíficos têm sido fundamentais para adaptação do eucalipto. A hibridização interespecífica visa combinar características complementares, como a melhoria da qualidade da madeira, a tolerância aos estresses abióticos, a resistência às tensões bióticas, bem como a manifestação da heterose (ASSIS & MÁFIA, 2007). Segundo esses autores, a hibridização entre espécies que crescem rápido, mas que possuem baixa tolerância à seca, com espécies de crescimento lento tolerantes à seca, produz híbridos tolerantes à seca com taxas de crescimento mais altas do que as de seus genitores. Recentemente, híbridos dentro do gênero *Corymbia*, especialmente *C. torelliana* × *citriodora*, têm se mostrado uma alternativa de grande potencial para regiões com estresse hídrico moderado a alto (ASSIS, 2014). Esses híbridos são resistentes à maioria das pragas que causam danos às plantações de eucalipto no Brasil, como o psilídeo-de-concha, o percevejo-bronzeado e a vespa-da-galha (GONÇALVES et al., 2013).

A escolha adequada do genótipo para cada condição edafoclimática é o primeiro passo com objetivo de otimizar a produtividade das plantações. Especialmente nas regiões tropicais, os fatores seletivos mais importantes para a alocação de genótipo são as características da madeira, o nível de produtividade, a suscetibilidade às pragas e doenças, a tolerância à seca e o risco de incêndio. Em regiões subtropicais, com deficiência hídrica moderada (100-200 mm ano⁻¹), os materiais genéticos mais tolerantes são das espécies *E. urophylla*, *E. cloeziana* ou os híbridos *E. urophylla* × *grandis*, *E. grandis* × *camaldulensis*, *E. urophylla* × *camaldulensis*, *E. urophylla* × *tereticornis*. Quando há alta deficiência hídrica (200-400 mm ano⁻¹), normalmente observada em condições tropicais, os híbridos *E. grandis* × *camaldulensis*, *E. urophylla* × *camaldulensis*, *E. tereticornis* × *brassiana* e *E. urophylla* × *tereticornis* são os genótipos mais recomendados. A maioria das áreas com estas condições climáticas está localizada nas regiões centro-oeste e nordeste, onde estão localizadas as "novas fronteiras florestais" (GONÇALVES et al. 2013).

Nesse contexto, a hipótese deste estudo foi: "As espécies menos tolerantes à seca, que apresentam maior índice de área foliar e maior taxa de crescimento, como o *E. grandis* e *E. urophylla*, consomem mais água por evapotranspiração e são mais eficientes no uso da água para a produção de madeira do que as espécies mais tolerantes à seca, como o *E. camaldulensis*, que possuem menor índice de área foliar e menor taxa de crescimento".

Assim, o presente estudo teve como objetivos: i) avaliar as precipitações pluviométricas total e efetiva, e monitorar as variações de umidade do solo; ii) estimar as taxas de crescimento e caracterizar a estrutura de copa de povoamentos de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*, sendo estas: *E. grandis* (pouco tolerante à seca), *E. urophylla* e *E. cloeziana* (mediamente tolerantes à seca), e *E. brassiana*, *E. camaldulensis* e *C. citriodora* (muito tolerantes à seca); e iii) fazer o balanço hídrico do sistema solo-planta e avaliar a eficiência de uso de água em povoamentos de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Eucalipto

O gênero *Eucalyptus*, da família Myrtaceae, possui mais de 800 espécies adaptadas a diversas condições edafoclimáticas (FLORES et al., 2016), sendo a maioria destas de ocorrência natural na Austrália. A maior parte das espécies conhecidas é típica de florestas altas e podem atingir de 30 a 50 m de altura. Em florestas abertas, suas alturas podem variar de 10 a 25 m (MORA & GARCIA, 2000). As espécies desse gênero, em geral, apresentam alta produtividade, ciclos de corte mais reduzidos, em comparação a outras espécies florestais, competitividade no mercado, várias possibilidades de uso, entre outros (SOUZA et al., 2009).

O eucalipto foi introduzido no Brasil nos estados do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo (FLORES et al., 2016) e os projetos de reforestamento no país tiveram início em 1904 (MARTINI., 2004). De acordo com o IBGE (2017), há 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas no território nacional, sendo 7,41 milhões de plantios de eucalipto, o que corresponde a 75,23% do total. A maior parte dos plantios de *Eucalyptus* no Brasil está localizada na região sudeste, especialmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais (GONÇALVES et al., 2013). O *Eucalyptus grandis* é a espécie mais plantada no Brasil. Além dessa, espécies como o *E. urophylla*, o *E. camaldulensis*, o *E. saligna* e o *C. citriodora* também são plantadas no país (SOUZA et al., 2004).

As primeiras plantações de *Eucalyptus* no Brasil foram estabelecidas nas zonas temperadas das regiões Sul e Sudeste. Com o aumento da demanda por produtos florestais, estas plantações têm se expandido para regiões mais tropicais do país, Nordeste e Centro-Oeste, nas quais há a ocorrência de uma estação seca mais prolongada, com alto estresse hídrico, conferindo ao setor florestal um desafio para a obtenção de novos genótipos capazes de suportar as condições climáticas destas regiões (GONÇALVES et al., 2013).

As espécies, híbridos e clones de eucalipto apresentam diferentes respostas a diferentes estímulos ambientais, dependendo do nicho ecológico (FERREIRA et al., 2017), e a grande variabilidade de espécies do gênero e os avanços no melhoramento genético possibilitam uma adaptabilidade aos mais variados cenários edafoclimáticos, que associado com a fácil propagação e clonagem, permitem que haja plantio em várias regiões tropicais e subtropicais do Brasil (GONÇALVES et al., 2013).

2.1.1. *Eucalyptus grandis*

A principal área de ocorrência natural do *E. grandis* W. Hill ex Maiden é ao norte de Nova Gales do Sul e ao sul de Queensland na Austrália. O clima destas áreas varia de subtropical úmido a tropical úmido. A precipitação pluvial média anual fica entre 1.000 a 3.500 mm. A maior concentração de chuvas é no verão e a estação seca não ultrapassa três meses. Esta espécie se adapta melhor em solos úmidos, bem drenados, profundos e de textura média (CARPANEZZI et al., 1986). Na Austrália, consideram-se como condições favoráveis ao crescimento do *E. grandis*, temperaturas médias anuais entre 17 e 21 C e déficit hídricos menores do que 20 mm (GOLFARI, 1983). Por causa

das características das áreas de ocorrência do *E. grandis*, esta espécie apresenta plasticidade limitada e, quando plantada em áreas caracterizadas pelo clima tropical úmido, torna-se suscetível ao cancro (*Cryphonectria cubens* ou *Corticium salmonicolor*). Se for plantada em regiões de clima tropical, marcadas por um período seco extenso, seu incremento torna-se mais lento que o *E. tereticornis* e o *E. camaldulensis* (SOUSA, 2000).

2.1.2. *Eucalyptus urophylla*

O *E. urophylla* S. T. Blake possui ocorrência natural em algumas ilhas orientais do arquipélago de Sonda na Indonésia, ao norte da Austrália (SOUSA, 2000). As áreas de ocorrência natural desta espécie apresentam altitudes que variam entre 400 a 3.000 m. A precipitação pluvial média anual destas regiões varia entre 1.000 e 1.500 mm, com a maior incidência de chuvas no verão. O período seco varia entre três e seis meses. O clima destas áreas vai de subtropical seco a tropical úmido (CARPANEZZI et al., 1986). Esta espécie apresenta alta resistência ao cancro, alta qualidade da madeira e alta capacidade de regeneração por brotação das touças (SOUSA, 2000). Solos profundos, bem drenados, úmidos, derivados de rochas basálticas e metamórficas são mais favoráveis a esta espécie (CARPANEZZI et al., 1986).

2.1.3. *Eucalyptus cloeziana*

O *E. cloeziana* é naturalmente distribuído na região central e norte de Queensland na Austrália (TURNBULL, 1979), que é caracterizada por apresentar grandes diferenças nos regimes de chuva, temperatura, solo e geologia, o que sugere alta variabilidade genética dentro dessa espécie. O regime de chuva nos locais de ocorrência natural, regiões costeiras e interiores, são caracterizadas por precipitação pluvial anual > 1.400 mm e < 700 mm, respectivamente (NGUGI et al., 2003). A espécie é indicada para regiões tropicais e subtropicais, caracterizadas por chuvas estacionais e déficit hídrico moderado (SOUSA, 2000).

No Brasil, pode ser plantada nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e as sementes de melhor procedências são as das regiões costeiras da Austrália (SOUSA, 2000).

2.1.4. *Corymbia citriodora*

O *C. citriodora* Hook., antes *E. citriodora*, possui ocorrência natural no norte e centro de Queensland na Austrália, com altitudes entre 70 e 1000 m. O clima predominante nas áreas de ocorrência natural desta espécie é subtropical, com a temperatura máxima média no mês mais quente variando entre 30°C e 36°C (CARPANEZZI et al., 1986). O *C. citriodora* apresenta uma característica incomum às espécies de *Eucalyptus* da região subtropical. Esta prospera no sul da Austrália entre os regimes de chuva do inverno (COPPEN, 2002). A precipitação pluvial anual média dessas regiões fica entre 625 e 1000 mm, e o período de seca é entre cinco e sete meses, o que inclui a época mais quente do ano. Esta espécie não é indicada para áreas sujeitas à geadas (SOUSA, 2000). No estado de São Paulo, esta espécie tem se mostrado como suscetível à geadas e

tolerante à deficiência hídrica. Quando presente em solos pobres, podem ocorrer bifurcações no fuste desta espécie como consequência de deficiências nutricionais, especialmente de boro (CARPANEZZI et al., 1986). Sua madeira pode ser utilizada para serraria, mourões, estruturas, lenha, carvão, entre outros (SOUSA, 2000). Produz-se, ainda, óleo a partir das folhas desta espécie. Este é utilizado como ingrediente em repelentes de mosquitos e para perfumaria, sendo produzindo, principalmente, na China, Índia e Brasil (COPPEN, 2002). O *C. citriodora* se adapta a vários tipos de solo, sendo encontrado em solos pedregosos, pobres, podzóis e podzóis de origem laterítica (CARPANEZZI et al., 1986).

2.1.5. *Eucalyptus camaldulensis*

O *E. camaldulensis* é considerado como uma espécie tolerante à seca (LEMCOFF et al., 2002), é capaz de sobreviver em condições de alagamento (BACON et al., 1993), é a mais bem distribuída, dentre as espécies desse gênero, sendo também uma das mais variáveis (MIDGLEY et al., 1989). Esta possui ocorrência natural em praticamente todos os estados australianos, com exceção da Tasmânia (SOUSA, 2000; BUTCHER et al., 2009). O clima dessas regiões varia de temperado a tropical e de subúmido a semi-árido, o que comprova a plasticidade desta espécie (CARPANEZZI et al., 1986). Midgley et al. (1989) apontam que esta espécie é capaz de crescer em ambientes com a precipitação pluvial anual variando de 200 a 1.110 mm. Ela está presente em áreas quentes e secas da Austrália, nas quais depende da água presente no lençol freático advinda de inundações infrequentes. Dependendo da procedência, o desenvolvimento dessa espécie pode variar em crescimento, tolerância à seca, à salinidade e à geada, conteúdo de óleo na folha e polifenóis. Em áreas menos áridas, pode ocupar planícies e encostas, além de ser encontrada em locais próximos a lagos de sal e em vários tipos de solo. Dentre as principais características dessa espécie, estão: tolerância a situações de seca extrema, altas temperaturas e ambientes salinos, capacidade de rebrotamento, rápido crescimento, entre outros (MIDGLEY et al., 1989; SOUSA, 2000). A espécie não é bem adaptada a solos calcários, tendo preferência, em sua região de ocorrência natural, solos aluviais tipicamente arenosos (CARPANEZZI et al., 1986).

No Brasil, pode ser considerada como uma espécie potencial para uso no cerrado e caatinga, sendo, para isso, importante o uso de sementes com procedência de regiões que possuem latitudes e características climáticas similares. Nas partes subúmidas, semi-áridas e áridas, as procedências de Petford e Gibb River em Queensland, e as do Território do Norte podem ser mais indicadas (SOUSA, 2000). Esta espécie pode ser utilizada para a produção de carvão, papel e celulose, recuperação de áreas, e também, em programas hibridação para aumentar a tolerância a seca e a salinidade (BUTCHER et al., 2009). Na China, outro lugar onde esta espécie é bem utilizada, foi, inicialmente, implantada em muitas áreas tropicais e subtropicais para a produção de papel e celulose (YANG et al., 2018).

2.1.6. *Eucalyptus brassiana*

O *E. brassiana* ocorre naturalmente no norte de Queensland na Austrália e no sul de Papua-Nova Guiné, em regiões de climas tropicais subúmidos, ou subúmidos secos. É uma espécie extremamente resistente ao déficit hídrico, sendo capaz de resistir a longos períodos de estiagem (entre cinco e oito meses) (SOUSA, 2000). É encontrada próxima de florestas fluviais em povoamentos puros ou em florestas de Savana, normalmente associadas a outras espécies do gênero (BLAKE, 1977). No Brasil, seria uma espécie potencial para uso na região subúmida úmida ou subúmida seca do Nordeste, podendo ser útil para a produção de lenha, carvão e mourões (SOUSA, 2000).

2.2. Mecanismos de tolerância à seca

As estratégias que as plantas utilizam para sobreviver em situações de estresse hídrico variam com o genótipo (CHAVES et al., 2002). Estes mecanismos podem ser classificados como: aqueles que permitem que as plantas evitem baixos potenciais hídricos (fuga à seca), que mantêm o status hídrico da planta, de modo que a perda e o consumo de água permaneçam balanceados; e aqueles que permitem que estas suportem a desidratação (tolerância à seca) (LEVITT, 1972; VERSLUES et al., 2006; BRUNNER et al., 2015). As estratégias que evitam a desidratação estão associadas a mudanças nas características morfo-fisiológicas (TUBEROSA, 2012). As plantas podem evitar a perda de água por meio do fechamento estomático e, em longo prazo, pela restrição do crescimento de novos ramos (BRUNNER et al. 2015). O consumo de água pode ser aumentado por uma maior produção de raízes finas, formação de raízes profundas e acúmulo de solutos para diminuir o potencial de água no tecido da raiz. Além destes, outros exemplos de mecanismos envolvem mudanças na área foliar e manipulação osmótica (WHITEHEAD & BEADLE, 2004).

As árvores são caracterizadas por um crescimento secundário extenso, que pode responder a condições de seca. Por exemplo, mudanças no diâmetro dos vasos do xilema, responsáveis pelo transporte de água, e na espessura de suas paredes celulares podem resultar em um aumento na resistência à cavitação em tecidos vasculares. Em situações de déficit hídrico, as árvores também alocam mais fotoassimilados para a produção de raízes finas, buscando otimizar o consumo de água e, ao mesmo tempo, minimizar a perda por transpiração (BRUNNER et al., 2015; KOZLOWSKI & PALLARDY, 2002). Em nível molecular, a síntese de novas proteínas e canais de água protéicos, em condições de seca, pode proteger as membranas e outras macromoléculas da desnaturação e dos danos causados pela desidratação das células (KOZLOWSKI & PALLARDY, 2002).

2.3. Balanço hídrico

Ao quantificar o balanço hídrico de uma floresta, o conhecimento das perdas por evapotranspiração, e seus componentes evaporação e transpiração, é muito importante (LIMA, 1986), pois se constituem nas principais formas de perda do sistema. Além desse parâmetro, entram na equação do balanço hídrico: precipitação pluvial, drenagem profunda e variação do armazenamento de água no solo.

2.3.1. Precipitação pluvial

A precipitação pluvial é a principal forma de entrada de água no sistema, quando se trata de um povoamento não irrigado, e pode ser dividida em três frações: (1) a que fica retida copa das árvores e depois é evaporada (interceptação); (2) a que escorre pelo tronco até o solo; (3) a que passa através da copa das árvores, com ou sem contato, e chega até o solo (CROCKFORD & RICHARDSON, 2000). As condições climáticas e a arquitetura de copa afetam o volume e a distribuição espacial da precipitação pluvial efetiva (ZHANG et al., 2018), que é somatória dos dois fluxos hídricos resultantes da precipitação total (PT) - precipitação interna (PI) e escoamento de água pelo tronco (Et) - sendo responsável pela quantidade de água no solo, pela absorção pelas raízes, transpiração das plantas, além de abastecer o lençol freático (ARCOVA et al., 2003).

As características de um povoamento florestal que influenciam na distribuição espacial da precipitação incidente, incluem: arquitetura de copa, a capacidade individual de cada árvore em reter água e o índice de área foliar do povoamento (JOHNSON & LEHMANN, 2006).

O escoamento de água pelo tronco (Et) consiste na fração da chuva que é interceptada pelas folhas e galhos, sendo direcionada até o fuste, por onde irá escorrer até chegar ao solo (ZHANG et al., 2017). Para que o Et ocorra, primeiramente, a copa tem que ter alcançado a sua capacidade máxima de retenção de água (saturação) (SHINZATO et al., 2011). Cada folha possui uma determinada capacidade de reter água em sua superfície (LIMA, 1986), a qual é influenciada pela estrutura da copa, características da chuva e variáveis meteorológicas (LEVIA & FROST, 2003).

Prevendo a conservação dos recursos hídricos, a quantificação do quanto é interceptado pelas copas das árvores é essencial, pois representa um volume de água que foi perdido (LIMA, 1976), um processo evaporativo, sendo necessário o conhecimento da participação da interceptação no processo de evapotranspiração a fim de alcançar uma estimativa confiável do balanço hídrico de determinado povoamento florestal, uma vez que esta evaporação ocorre a taxas maiores que a transpiração e, como resultado, diminui proporcionalmente o conteúdo de água no solo (LIMA & NICOLIELO, 1983). Além da arquitetura de copa, o processo de interceptação também é influenciado pelo tipo de eventos de chuva (magnitude, intensidade e duração) (CROCKFORD & RICHARDSON, 2000).

2.3.2. Evapotranspiração e fluxo de seiva

A evapotranspiração (ET) consiste nos processo de perda de água sofrido por um povoamento. A transpiração é um dos componentes da ET e a principal fonte de perda de água nas plantas, sendo este um processo desencadeado por forças físicas, que causam a evaporação de água através dos estômatos, o que resulta na absorção da água no solo e na movimentação da mesma pelo xilema (SOARES & ALMEIDA, 2001) e depende de dois fatores principais: 1) a diferença na concentração de vapor de água entre os espaços intercelulares das folhas e a massa atmosférica externa, e 2) a resistência à difusão dessa rota (TAIZ et al., 2017).

Junto com o fluxo de seiva, os dois integram os fatores fisiológicos das plantas, como fotossíntese e condutância estomática, que nos permitem inferir sobre a saúde da planta (CERMAK & NADEZHINA, 2011). Dessa forma, a comparação do fluxo de seiva de espécies que estejam crescendo em condições edafoclimáticas similares pode auxiliar na determinação das espécies que podem lidar melhor com condições ambientais extremas (DORONILA & FORSTER, 2015).

O método de dissipação térmica de Granier (1985) tem como princípio que a variação de temperatura entre as duas sondas é inversamente proporcional ao fluxo de seiva ocorrido em um determinado período de avaliação, e que a máxima diferença de temperatura entre as sondas indica que o fluxo é mínimo ou nulo, e quando essa diferença for mínima, o fluxo de seiva chegará a sua taxa máxima (GENTIL, 2010).

O estudo de resposta fisiológicas do fluxo de seiva em relação ao déficit de pressão de vapor (DPV), por exemplo, seja esta uma relação linear ou curvilínea, permite-nos inferir acerca da capacidade da árvore de lidar com situações de estresse hídrico (ROSADO et al., 2012). Uma relação linear dessa resposta no período noturno indicaria que os estômatos estão abertos e que está havendo perda de água das folhas durante a noite. Em contrapartida, a obtenção de uma relação curvilínea significaria que conforme há o aumento do DPV, os estômatos se fecham e a perda de água durante este período é restrita (DORONILA & FORSTER, 2015). Durante o período da manhã, a resposta comumente encontrada mostra uma relação de saturação não-linear da transpiração com DPV por causa da diminuição da condutância estomática como resposta a uma atmosfera menos úmida (ROSADO et al. 2012). A intensidade da transpiração, portanto, é proporcional a diferença entre a concentração de vapor d'água presente na atmosfera e nas folhas (LARCHER, 2006).

O mecanismo de abertura e fechamento estomático apresenta ligação direta com a transpiração e a fotossíntese. Em condições hídricas ideais, com água abundante no solo, as plantas estabelecem uma regulação temporal das aberturas estomáticas, na qual os estômatos mantêm-se fechados durante a noite para evitar perda desnecessária de água, pois não há fotossíntese, e abertos durante o dia. Em condições hídricas limitadas, e em uma manhã ensolarada, as plantas abrirão seus estômatos por menos tempo ou poderão mantê-los fechados (TAIZ et al., 2017). As plantas são capazes, portanto, de controlar as suas taxas transpiratórias mediante a necessidade do seu balanço hídrico (LACHER, 2006).

2.4. Arquitetura de copa

A quantidade de água que uma folha ou galho consegue reter em sua superfície depende de suas respectivas morfologias e ângulos (JOHNSON & LEHMANN, 2006), por isso o conhecimento da disposição das folhas é um importante parâmetro da arquitetura de copa. As plantas podem ter ângulos foliares fixos, que não variam muito em diferentes sítios. Muitas espécies, no entanto, são capazes de reposicionar e/ou ajustar a sua angulação foliar, como resposta a uma determinada condição ambiental, como evitar o estresse causado pelo calor ou para maximizar o ganho de carbono, ao redirecionar as suas folhas a radiação incidente (ZANTEN et al., 2010).

Outro parâmetro importante para o estudo de arquitetura de copa é o índice de área foliar (IAF). Este índice representa a interface entre a planta e atmosfera (OLIVAS et al., 2013) e, dentre outras funções, influencia na quantidade de água e luz interceptada pelas copas e na troca de água e gás carbônico com a atmosfera, o que o torna um componente chave nos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas (BRÉDA et al., 2003; DUURSMA et al., 2009). Nas plantações de eucalipto o IAF aumenta conforme o povoamento se desenvolve, e posteriormente tende a estabilizar ou lentamente diminuir até que atinja um estado de equilíbrio (HINGSTON et al. 1994), sendo que qualquer mudança no IAF de uma copa, por tempestades, desfolhamento, déficit hídrico, entre outros, é acompanhada por mudanças na produtividade do povoamento (BRÉDA et al., 2003).

Métodos destrutivos de medição são importantes por proporcionarem o valor real de uma copa a partir de uma amostra representativa do povoamento (RODY et al., 2014) e servem como referências para o desenvolvimento ou calibração de modelos para estimar este índice (BRÉDA et al., 2003). No entanto, a execução desses métodos por períodos prolongados, em curtos espaços de tempo e com um grande número de árvores é, na maioria das vezes, inviável. A medição do IAF também pode ser feita indiretamente (OLIVAS et al., 2013), e apesar de métodos indiretos, como o uso de LAI-2000 e fotos hemisféricas, subestimarem, em média, 51% e 68% o valor do IAF real, respectivamente (GIUNTI NETO et al., 2015), dependendo do objetivo do trabalho, são boas alternativas para substituir o método direto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Procedência de mudas

3.2. Área de estudo

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF) de Itatinga, no município de Itatinga-SP (23°10' S, 48°40' W, 860 m de altitude). O clima local é classificado como Cwa pela descrição Köppen, com temperatura média anual, dos últimos cinco anos, de 20°C, sendo a média dos meses mais frios (junho e julho) 17°C e a média dos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) 23°C. A precipitação pluvial média anual dos últimos cinco anos é de 2027 mm, com 70% concentrada nos meses de outubro a março. A vegetação nativa da área é o Cerrado. O relevo é plano. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de textura média (EMBRAPA, 2012).

A implantação do experimento ocorreu em março de 2016. As mudas foram produzidas em tubetes de 290 cm³, a partir de sementes semeadas das seguintes procedências: *E. grandis*: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF), Bofete – SP; *E. urophylla*: IPEF, Anhembi – SP; *E. cloeziana*: IPEF, Anhembi – SP; *E. camaldulensis*: Selvíria – MG, cultivar LCFA014; *C. citriodora*: Sementes Caiçara, cultivar LCFA021; *E. brassiana*: Urbano Santos – MA.

O solo foi preparado na linha de plantio com subsolador florestal em uma profundidade de 40 cm. Na adubação de plantio foram aplicados em filete contínuo 10 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 10 kg ha⁻¹ de K₂O. Para o suprimento de Ca e Mg, aplicou-se 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Na primeira adubação de cobertura foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 5 kg ha⁻¹ de B. Na segunda adubação de cobertura foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de K₂O. Foram instaladas parcelas com espécies de baixa tolerância, *Eucalyptus grandis*, média tolerância, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*, e alta tolerância à deficiência hídrica, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* (GONÇALVES & MELLO, 2000; SOUZA & COLLICCHIO, 2013; GONÇALVES et al., 2013). Cada parcela possuía 37 linhas com 10 árvores (total de 370 árvores), considerando bordadura dupla e espaçamento de plantio de 3 m entrelinhas por 3 m entre as plantas (Figura 1). Para cada espécie (tratamento) foi destinada uma subparcela útil de 36 plantas para a realização de avaliações não-destrutivas (inventário florestal, medição da transpiração, umidade do solo, potencial hídrico foliar). As demais linhas da parcela foram destinadas à amostragem destrutivas (medição da biomassa das árvores). Nestas subparcelas também foram mantidas bordaduras duplas.

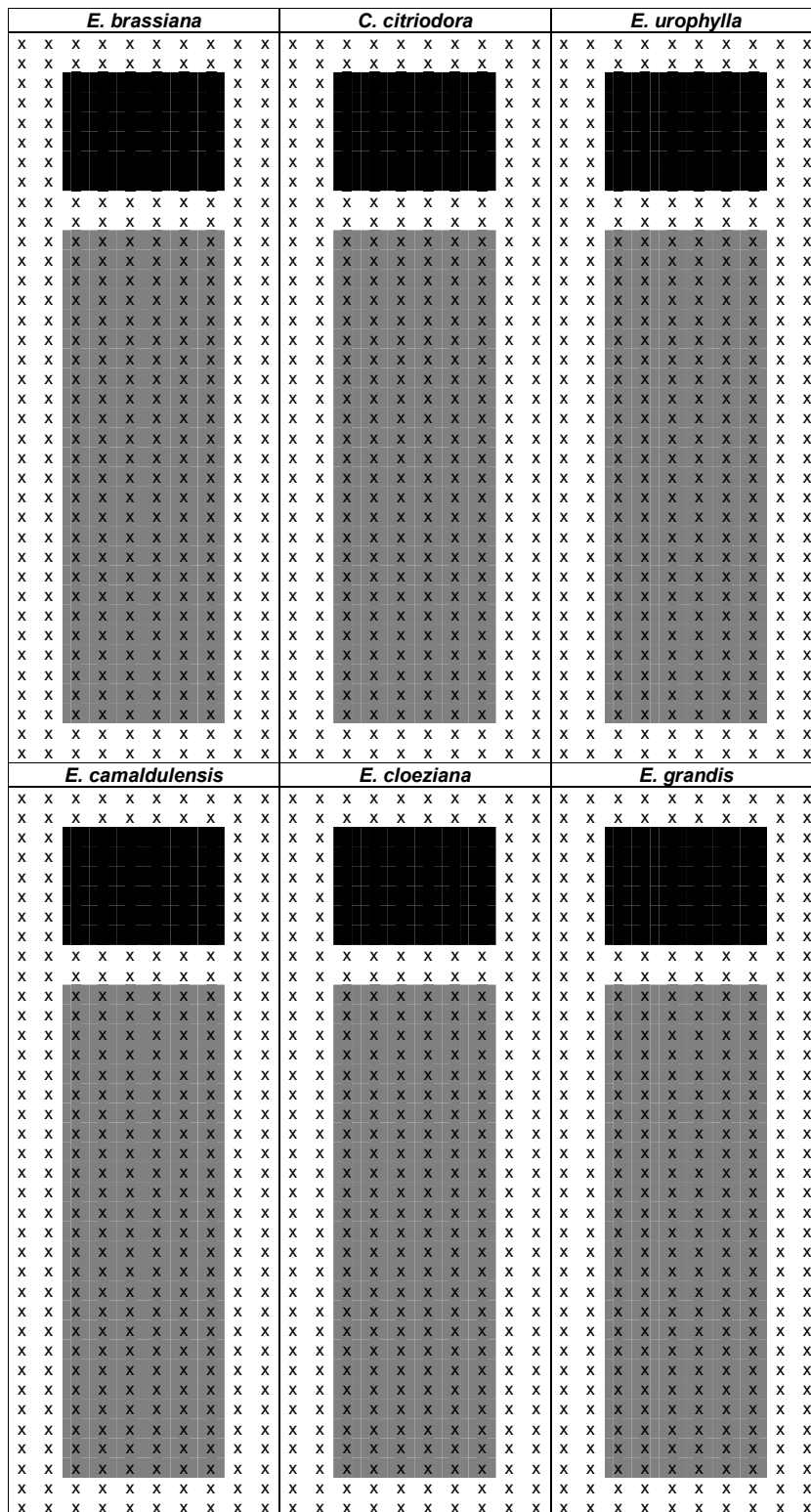


Figura 1. Croqui da distribuição das suparcelas para amostragem não-destrutiva (em preto) e destrutiva (cinza), para as diferentes espécies.

3.3. Avaliação de crescimento e produtividade

O inventário florestal foi realizado na subparcela útil de cada espécie. O diâmetro à altura do peito (DAP), situado a 1,3 m de altura do solo, e a altura (H) foram medidos em todas as árvores da parcela aos 12, 18, 27, 31 e 40 meses de idade do povoamento.

A quantificação de biomassa foi realizada aos 11 meses e 23 meses de idade, abatendo-se quatro árvores em uma linha de seis plantas de cada tratamento em função da similaridade entre indivíduos da parcela. Aos 36 meses, foram abatidas oito árvores por espécie. Foram escolhidas as árvores mais representativas baseado no DAP. As árvores foram segmentadas em tronco, ramos e folhas, os quais foram pesados e amostrados para a secagem e estimativa da massa seca. Os troncos das árvores foram divididos em toretes de 1 m de comprimento até o diâmetro mínimo de 5 cm, e estes foram utilizados para calcular o volume de madeira pela equação de Smalian.

Os volumes obtidos do toco e ponteiro foram somados ao volume das demais seções da árvore. Para o volume do toco, foi considerado a altura de 2 cm e o volume do ponteiro foi calculado por meio da equação volumétrica do cone. Amostras dos componentes aéreos das árvores foram secadas a 65°C, até massa constante. As massas fresca e seca foram determinadas para a quantificação do teor de umidade do material, o qual foi utilizado para a estimativa da biomassa seca total de cada compartimento das árvores.

O volume e a biomassa dos compartimentos de todas as árvores do povoamento foram estimados a partir de valores de DAP e H. Estas variáveis independentes foram utilizadas para o ajuste do modelo Schumacher & Hall (1933). Os parâmetros estatísticos, coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e o erro padrão da estimativa ($Sy_x\%$) foram utilizados para o ajuste e avaliação da precisão do modelo (SCHNEIDER, 1997).

3.4. Dados climáticos

A temperatura atmosférica, a precipitação pluvial diária, a evapotranspiração de referência (ET_o), o déficit de pressão de vapor (DPV) e a umidade relativa (UR) foram obtidos em uma estação meteorológica automatizada, que está localizada na EECF de Itatinga, situada a aproximadamente 1.900 m da área experimental. O modelo de Penman-Monteith foi usado para o cálculo da ET_o.

3.5. Balanço hídrico do sistema solo-planta

Sob condições naturais, um povoamento florestal possui um balanço hídrico do solo que pode ser expresso por meio da equação (1) (TOMASELLA & ROSSATO, 2005).

$$P + I - ET - R \pm D \pm \Delta A = 0 \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

P = precipitação pluvial (mm);

I = irrigação (mm);

ET = evapotranspiração real (mm);
 R = escoamento superficial (mm);
 D = drenagem profunda;
 ΔA = variação da água armazenada no solo.

Neste estudo, como os povoamentos não foram irrigados, a entrada de água ocorreu por precipitação pluvial. O escoamento superficial foi considerado como nulo, porque o relevo da área experimental é plano. Assim, o balanço hídrico do solo foi estimado com o uso da equação (2), apenas nas subparcelas do *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, em que se estimou a transpiração das árvores por meio de sensores de fluxo de seiva.

$$DP = P - ETR \pm \Delta ARM \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

DP = drenagem profunda (mm);
 P = precipitação pluvial total (mm);
 ETR = evapotranspiração real (mm);
 ΔARM = variação do armazenamento de água no solo (mm).

3.5.1. Precipitação pluvial

A quantificação da precipitação pluvial total (PT) foi realizada mediante a utilização do valor médio obtido por quatro pluviômetros externos localizados em local aberto, próximos da área experimental. A precipitação pluvial interna (PI) foi quantificada dentro de cada povoamento das seis espécies por meio da média de nove pluviômetros instalados a 1,5 m do solo (Figura 2A), dispostos de acordo com o diagrama de Voronoi, utilizado na configuração espacial de pontos (DIGGLE, 2003). A PT e a PI de cada tratamento foram calculadas pela equação (3):

$$P = \frac{V}{A} \cdot 10 \quad \text{eq.(3)}$$

Em que:

P (pode ser PT ou PI) = precipitação pluvial total (mm); precipitação pluvial interna (mm);
 V = volume de água coletado no pluviômetro (ml);
 A = área de captação do pluviômetro (cm²).

Para a quantificação do escoamento de água pelo tronco (Et) foram instalados quatro sistemas de captação e armazenamento por espécie (Figura 2B). Os recipientes foram confeccionados a partir de mangueiras, que direcionam a água escoada para galões de plástico com capacidade de 50 L de armazenamento. A quantificação do escoamento de água pelo tronco foi obtida a partir da equação (4). A interceptação e a evaporação de água pela copa foram estimadas pela equação (5) (KLASSEN et al., 1996). A soma de PI e Et resulta em uma estimativa da

precipitação pluvial efetiva (PE). As medições de PT, PI e Et foram realizadas no mesmo dia, com frequência quinzenal, aproximadamente.

$$Et = \frac{V}{A} \quad \text{eq. (4)}$$

Em que:

Et = escoamento de água pelo tronco (mm);

V = volume de água coletado (L);

A = área de projeção da copa (m²), a qual foi considerada como igual a 9 m² (espaçamento de plantio = 3 m x 3 m).

$$I = PT - PE \quad \text{eq. (5)}$$

Em que:

I = quantidade de água interceptada (mm);

PT = precipitação pluvial total (mm);

PE = precipitação pluvial efetiva (mm).

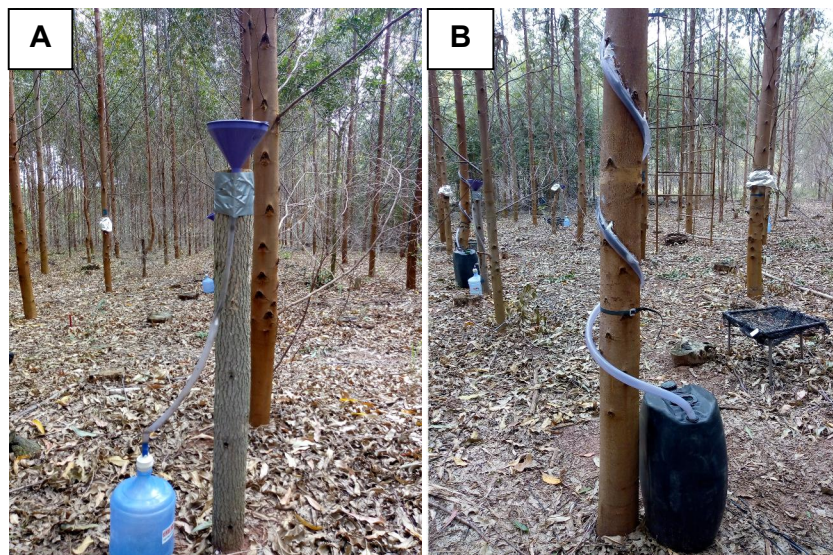


Figura 2. Pluviômetro usado para a medição da precipitação pluvial interna (PI) e a precipitação pluvial total (PT) (A) e sistema de captação de água escoada pelo tronco (B).

3.5.2. Evaporação

A água evaporada foi considerada como a soma da água interceptada pela copa (eq. 5) e da água evaporada da superfície do solo. Considerou-se como água evaporada do solo o valor médio, correspondente a 40% da quantidade de água interceptada pela copa. Esta estimativa foi feita baseada nas pesquisas de Christina et al. (2017), que estimaram a evaporação do solo durante cinco anos em uma plantação de *Eucalyptus*, em uma área experimental adjacente a este estudo, com características ambientais semelhantes. Para chegar ao valor de 40%, utilizou-se a média dos valores estimados para o segundo, terceiro e quarto ano de idade do povoamento estudado pelos autores.

3.5.3. Fluxo de seiva

Foi usado o método de Granier (1985) para quantificar o fluxo de seiva. Como sensores, foram usadas duas agulhas (sondas) cilíndricas com 2 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento, inseridas no alburno do tronco das árvores, a uma altura de 1,30 m acima do solo.

As sondas foram confeccionadas a partir de termopares de cobre-constantan e agulhas hipodérmicas com fios de diâmetro de 50 μm , os quais foram introduzidos em tubos de alumínio com diâmetro interno de 2 mm, sendo colocadas até uma profundidade de 2 cm do tronco (DELGADO-ROJAS, 2003).

Essas duas sondas foram dispostas separadas entre si em 10 cm. A sonda superior foi continuamente alimentada com uma entrada de energia constante, dissipando calor devido ao efeito Joule (Figura 3). A sonda inferior não foi aquecida, provendo a temperatura de referência da madeira. A diferença de temperatura entre as duas sondas é inversamente correlacionada com a densidade do fluxo de seiva f por unidade de área de alburno (GRANIER et al., 1996).

Potenciais erros nesta medição, inerentes a metodologia, podem estar relacionados, dentre outros fatores, com a variabilidade espacial da densidade do fluxo de seiva (HATTON et al., 1995), e com o contato das sondas a uma parte inativa do xilema (CLEARWATER et al., 1999).

Foram escolhidas seis árvores por espécie (*E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*), de acordo as classes de frequência de DAP, entre -1 e $+1$ desvio padrão. Estas três espécies foram selecionadas para o estudo mais aprofundado por serem as que possuem maior importância econômica no setor florestal brasileiro, dentre as seis espécies desta pesquisa.

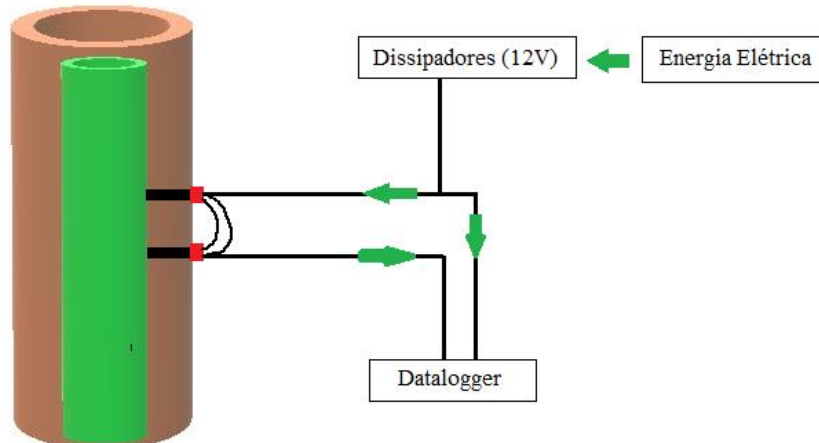


Figura 3. Esquema do medidor de fluxo de seiva desenvolvido por Granier (1985). A sonda inferior e a superior são conectadas ao datalogger e, a superior, também é conectada ao fio condutor de energia elétrica (modelo adaptado de LU et al., 2004).

A equação proposta por Granier (1985) para estimar o fluxo de seiva subestima a taxa de transpiração para espécies de *Eucalyptus*. Por isso, foram usadas as equações 6 e 7, calibradas por Delgado-Rojas (2008).

$$u = 478,017 \cdot 10^{-6} k^{1,231} SA \quad \text{eq. (6)}$$

Em que:

u = densidade de fluxo de seiva ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

SA = área de alburno do fuste das árvores (m^2);

k = constante que relaciona a densidade de fluxo e as temperaturas medidas pelos sensores (equação 7).

$$k = \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T}{\Delta T} \quad \text{eq. (7)}$$

Em que:

$\Delta T_{\text{Máx}}$ ($^{\circ}\text{C}$) = diferença máxima de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre os dois pontos de medida, que normalmente ocorre durante a madrugada;

ΔT = diferença atual da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre as duas sondas.

A área do alburno (SA) do fuste dos indivíduos das três espécies foi determinada mediante amostragem destrutiva aos 36 meses de idade do povoamento. Amostras de lenho foram cortadas a 1,30 m de altura da base das árvores. No laboratório, determinou-se a área de alburno em um sistema de pressão acoplado a um cilindro e compressor. Foi aplicada pressão a uma coluna de água misturada com corante Violeta de Astra em um cilindro para forçar a passagem de água através do lenho. A área ativa de condução de seiva no lenho das plantas foi colorida com o corante. Foram cortados discos com aproximadamente 1 cm de espessura das amostras de lenho para digitalização em scanner e estimativa da área de alburno por meio do programa Image J (Figura 4). O *E. grandis* apresentou o maior valor médio de área do alburno e diferiu do *E. urophylla* (Tabela 1). Apesar de ter apresentado o menor CAP, o *E. camaldulensis* não diferiu do *E. grandis* na área do alburno. A área de alburno medida foi relacionada com as medidas de circunferência à altura do peito, obtendo-se uma equação linear para cada espécie. Com as equações ajustadas estimou-se, mensalmente, a área de alburno para o *E. grandis*, o *E. urophylla* e o *E. camaldulensis* (Figura 5). Foram realizadas medições de DAP nas parcelas úteis de cada espécie aos 29, 32, 35, 38 e 41 meses para monitoramento do crescimento, o que possibilitou estimar por extrapolação as taxas de transpiração para todos os indivíduos da parcela.

Tabela 1. Média de circunferência à altura do peito (CAP) e área do alburno para o *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*. Números seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p = 0,05$).

Espécie	CAP	Área do alburno
	cm	cm^2
<i>E. grandis</i>	43,0a	83,4a
<i>E. urophylla</i>	38,6ab	53,3b
<i>E. camaldulensis</i>	33,0b	67,3ab

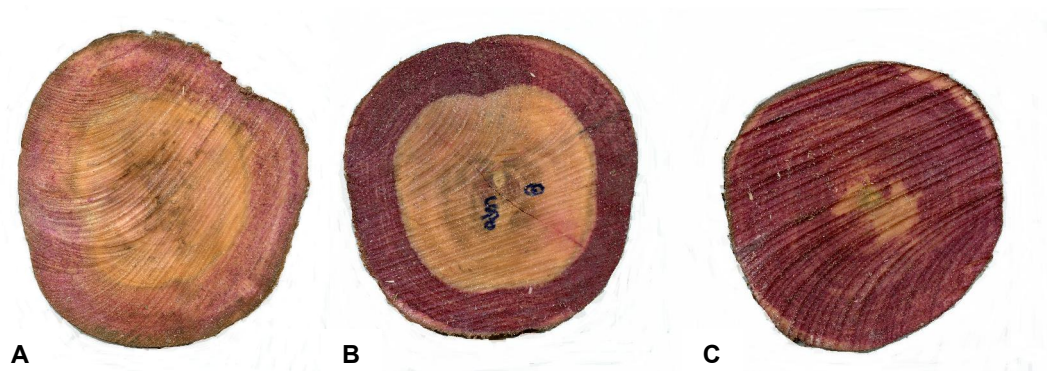


Figura 4. Amostras de lenho de *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B) e *E. camaldulensis* (C) mostrando as áreas de alborno coloradas.

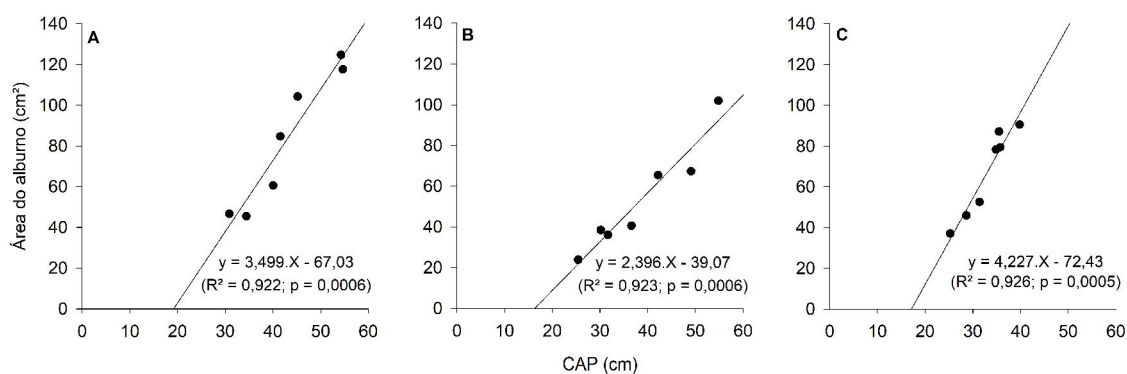


Figura 5. Regressões lineares entre a área de alborno e a circunferência à altura do peito (CAP) para as três espécies – *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B) e *E. camaldulensis* (C).

3.6. Umidade do solo

A umidade do solo foi monitorada por meio de uma sonda capacitiva FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência), modelo DIVINER. Para a realização da calibração da sonda, foram determinadas a umidade gravimétrica (U_g) e a densidade do solo (D_s) em amostras de solo coletadas com anéis volumétricos em diferentes profundidades. Foi usada a equação 8 para estimar umidade volumétrica.

$$\theta = U_g \cdot D_s \cdot 100 \quad \text{eq. (8)}$$

Em que:

θ = Conteúdo de água no solo (mm);

U_g = Umidade gravimétrica (%);

D_s = Densidade do solo (kg m^{-3}).

Selecionou-se uma árvore representativa de cada espécie na subparcela útil destinada ao inventário florestal, ao lado da qual foram instalados três tubos de acesso: um na linha, um na entrelinha e um na interseção do quadrante formado com as árvores vizinhas, totalizando 18 tubos nas subparcelas úteis das seis espécies. Os tubos foram alocados a 1,60 m de profundidade e as

leituras foram feitas a cada 10 cm. As medições foram realizadas nos mesmos dias em que se mediu a precipitação pluvial.

3.7. Arquitetura de copa

Para caracterizar a arquitetura de copa, foram medidos o índice de área foliar (IAF) e o ângulo foliar. O ângulo de inclinação entre as folhas e o solo foi medido em campo durante a avaliação destrutiva realizada aos 36 meses de idade do povoamento, para as seis espécies. Foi usado o hipsômetro Vertex IV na função angular. Foram medidos os ângulos de 20 folhas de cada terço da copa, em oito árvores de cada espécie.

A medição do IAF pelo método destrutivo foi realizada anualmente aos 11, 23 e 36 meses de idade do povoamento para as seis espécies. Foram retiradas 30 folhas de cada terço da copa (inferior, médio e superior) das árvores usadas para a cubagem rigorosa e biomassa. As amostras foram acondicionadas em uma caixa de isopor com gelo, em ambiente refrigerado até a chegada no laboratório. A área de cada amostra foi determinada com o auxílio de um scanner de mesa e do software ImageJ. As folhas foram colocadas em estufa para secagem a 65 °C, até massa constante, e foram pesadas para a determinação da massa seca. A área foliar específica (AFE) foi determinada pela equação (9). Multiplicando-se a massa seca de folha pela AFE média de cada tratamento estimou-se a área foliar total de cada árvore. O IAF foi obtido pela razão entre a área foliar da parcela e a área total da parcela.

$$AFE = \frac{AFU}{MFS} \quad \text{eq. (9)}$$

Em que:

AFE = área foliar específica (m²);

AFU = área da folha úmida (m²);

MFS = massa da folha seca (m²).

Fotos hemisféricas foram tiradas mensalmente durante 12 meses, entre julho de 2018 e junho de 2019, nas subparcelas das espécies em que se instalou os sensores do fluxo de seiva: *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*. Foram selecionados seis pontos na subparcela útil de cada espécie, dispostos de acordo com o diagrama de Voronoi. Em cada um dos pontos foram tiradas três fotos, totalizando 18 fotos para cada espécie. Utilizou-se uma câmera com lente do tipo *fisheye* (olho de peixe) da marca Opteka. As fotos foram processadas no programa Hemisfer, utilizando-se três anéis para o processamento das imagens. Este programa calcula o índice de área vegetada (IAV), que leva em consideração folhas, galhos e troncos, de acordo com vários métodos, e fornece também o ângulo foliar. O melhor método, dentre os fornecidos pelo software, para estimar o IAV foi o G & al (GONSAMO et al., 2018) e, para o ângulo foliar, o LAI 2000.

Para ajustar as equações destinadas a estimar o IAF a partir do IAV, selecionaram-se os IAF intermediários de seis árvores abatidas aos 36 meses de idade, e ordenou-se de forma crescente os seus valores com os valores dos seis pontos das fotos hemisféricas do mesmo mês. Foram ajustadas três equações polinomiais, uma para cada espécie (Figura 6).

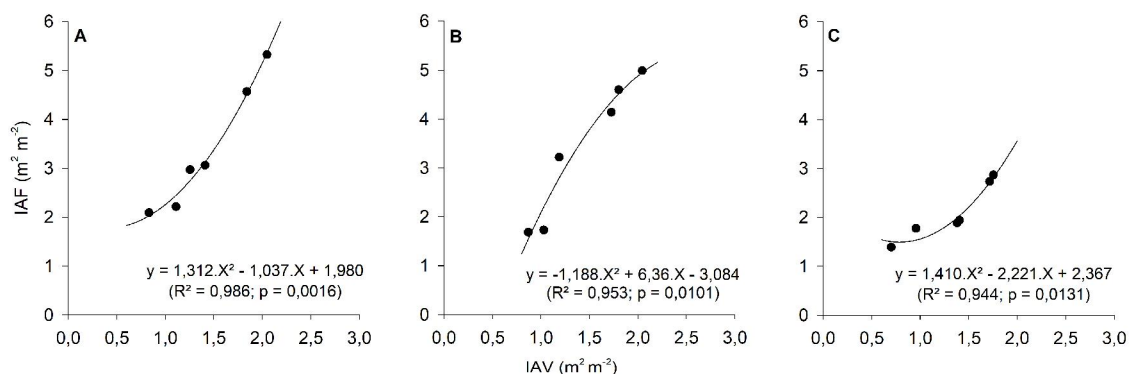


Figura 6. Equações que relacionam o índice de área foliar (IAF) e o índice de área vegetada (IAV) para três espécies – *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B) e *E. camaldulensis* (C).

3.8. Potencial hídrico foliar (ψ_{wf})

O Ψ_{wf} foi avaliado mensalmente durante 12 meses, em quatro árvores com CAP médio de três *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, nas subparcelas úteis. Foram instalados três andaimes, um para cada espécie. As leituras foram feitas em folhas expandidas do terço superior de cada indivíduo, sendo 16 folhas por espécie (quatro folhas por árvore). Para a medição, utilizou-se uma câmara de pressão tipo Scholander. As leituras foram realizadas durante o período de antemanhã ($\approx 3:30h - 5:30h$) e ao meio-dia ($\approx 12h - 14:30h$).

3.9. Eficiência de uso da água (EUA)

A avaliação do crescimento em CAP das árvores equipadas com sensores de fluxo de seiva foi feita mensalmente com o auxílio de uma fita métrica. Com os valores de circunferência e biomassa seca obtidos durante a avaliação destrutiva realizada aos 36 meses de idade, foi ajustada uma equação entre o CAP e a massa seca de lenho para avaliar o incremento em biomassa de lenho ao longo de 12 meses para três espécies (*E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*) (Figura 7). A EUA foi calculada como a razão entre o incremento de biomassa do lenho e o volume de água transpirado no mesmo período (Equação 10).

$$EUA = \frac{\Delta Biomassa}{Transpiração} \quad \text{eq. (10)}$$

Em que:

EUA = Eficiência de uso da água ($g \text{ MS } m^{-3} \text{ H}_2\text{O}$);

Δ Biomassa = Biomassa final – Biomassa inicial (g);

T = Transpiração ($m^3 \text{ H}_2\text{O}$).

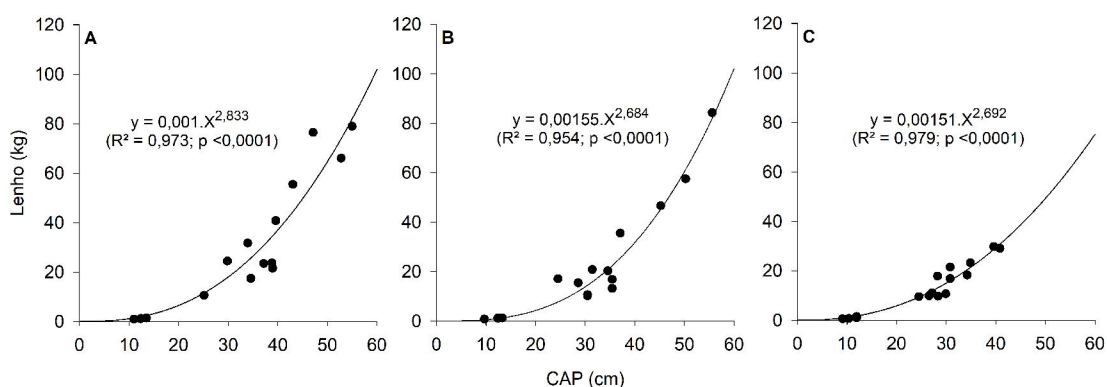


Figura 7. Equações que relacionam a massa seca de lenho e a circunferência à altura do peito (CAP) para três espécies: *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B) e *E. camaldulensis* (C).

3.10. Análise dos dados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$) e de homogeneidade de variâncias. Quando necessário, foram realizadas transformações Box-cox. Análises estatísticas descritivas e de variância (ANOVA) foram utilizadas. Como todas as avaliações não-destrutivas ocorreram em uma única parcela útil para cada espécie, para a realização da ANOVA, em algumas avaliações, as árvores foram consideradas como repetições. Em outras, os meses foram considerados como repetições. Para a comparação das médias, foi utilizado o Teste de Fisher (ou LSD), com até 10% de probabilidade de erro ($p \leq 0,1$), e os dados foram analisados no programa estatístico SAS 9.3 (SAS INSTITUTE, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação de crescimento das árvores

Com base no inventário florestal realizado aos 12, 18, 27, 31 e 40 meses de idade do povoamento, observa-se que o *E. grandis* manteve-se como a espécie com maior DAP médio (cm) em todas as datas avaliadas. O inverso aconteceu com o *E. brassiana*. (Figura 8a). O comportamento do crescimento em altura não acompanhou este mesmo padrão. No entanto, o *E. grandis* manteve-se como a espécie que apresentou maior altura média (m) em todas as avaliações e, o *E. brassiana*, a menor (Figura 8b).

O crescimento inicial do *E. cloeziana* é mais lento do que para o *E. grandis* e o *E. urophylla* (SOUSA, 2000), o que foi observado neste estudo. O *E. cloeziana* apresentou menor média de DAP e altura do que essas duas espécies em todas as datas de medição. O *E. camaldulensis* é tido como uma espécie com grande potencial de crescimento inicial em sítios com boas condições edafoclimáticas (ZOHAR & SCHILLER, 1998). Foi possível observar esse comportamento neste estudo. Aos seis meses de idade, foi a espécie que apresentou a segunda maior altura média (2,1 m), ficando atrás apenas do *E. grandis* (2,7 m). Aos 12 meses, apresentou um incremento médio em altura de quase 3 m em seis meses (Tabela 2), e apresentou a terceira maior média de DAP (4,9 cm), enquanto o *E. grandis* e o *E. urophylla* apresentaram um DAP médio de 6,5 e 5,0 cm, respectivamente. Quando o povoamento chegou aos 18 meses, apresentou a segunda maior altura média (7,6 m). A partir do vigésimo sétimo mês, quando o povoamento tinha um pouco mais de dois anos, o crescimento dessa espécie desacelerou, tanto em altura, quanto em DAP.

O *E. urophylla* foi o que apresentou maior incremento médio de DAP entre 12 e 18 meses (Tabela 2). No período subsequente, o *E. cloeziana* foi a espécie que mais cresceu, sendo também o maior incremento observado em todas as avaliações. O *C. citriodora* foi o que apresentou o maior crescimento aos 27 e 31 meses, e aos 31 e 40 meses. Considerando apenas o período a partir dos 27 meses, quando as avaliações de precipitação pluvial já tinham começado, todas as espécies apresentaram um menor incremento em DAP entre 27 e 31 meses, quando comparadas com o crescimento do período seguinte (31 e 40 meses). Este comportamento coincidiu com o período de menor precipitação pluvial, ocorrido entre maio e setembro de 2018, mostrando que as menores taxas pluviométricas nesse período podem ter sido um fator limitante ao crescimento das árvores. O mesmo comportamento foi observado para os dados de altura (Tabela 2). O *E. grandis* apresentou maior crescimento em altura em quase todos os períodos de avaliação, com exceção do período entre 18 e 27 meses, e 31 e 40 meses, quando o *E. urophylla* e o *E. cloeziana* apresentaram maior incremento, respectivamente.

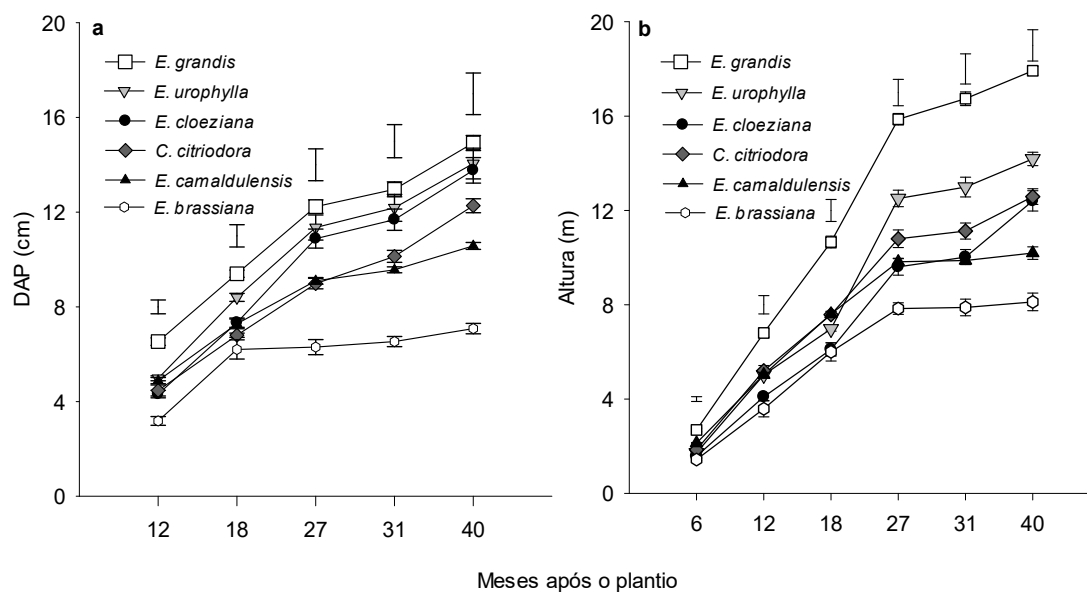


Figura 8. Valores médios de DAP (a) e altura (b) para *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* em diferentes idades do povoamento. As barras sobre os pontos indicam o erro padrão da média e a barra sem o ponto indica a diferença mínima significativa pelo teste LSD ($p=0,01$).

Tabela 2. Valores médios de incremento em diâmetro à altura do peito (DAP) e altura entre os períodos de avaliação.

Espécie	Incremento médio de DAP				
	6-12	12-18	18-27	27-31	31-40 (mês)
	cm				
<i>E. grandis</i>	2,87	2,83	0,73	1,95	
<i>E. urophylla</i>	3,42	2,95	0,83	1,87	
<i>E. cloeziana</i>	3,02	3,55	0,80	2,08	
<i>C. citriodora</i>	2,33	2,18	1,15	2,14	
<i>E. camaldulensis</i>	2,40	1,82	0,47	1,01	
<i>E. brassiana</i>	3,02	0,10	0,23	0,55	
	Incremento médio de altura				
	m				
<i>E. grandis</i>	4,11	3,86	5,21	0,87	1,18
<i>E. urophylla</i>	3,30	3,12	5,53	0,48	1,19
<i>E. cloeziana</i>	2,51	2,01	3,50	0,41	2,39
<i>C. citriodora</i>	3,34	2,38	3,22	0,33	1,46
<i>E. camaldulensis</i>	2,90	2,58	2,22	0,05	0,32
<i>E. brassiana</i>	2,15	2,42	1,84	0,05	0,23

A quantificação de biomassa foi realizada aos 11, 23 e 36 meses de idade do povoamento (Tabela 3). Aos 11 meses, o *E. cloeziana* e o *E. urophylla* foram as espécies que apresentaram os maiores valores médios de biomassa total seca (4,8 t ha⁻¹). Aos 23 meses, o *E. grandis* foi a espécie que apresentou a maior quantidade de biomassa total (46,6 t ha⁻¹). O mesmo se repetiu para a biomassa realizada aos 36 meses, com esta atingindo um valor médio de 71,7 t ha⁻¹ de massa seca. O *E. brassiana* foi a espécie que apresentou menor produção de biomassa em todos os períodos de avaliação e compartimentos.

Entre as árvores monitoradas com sensores de fluxo de seiva, o *E. grandis* apresentou o maior DAP médio ao longo do período de avaliação, seguido do *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, respectivamente (Figura 9). Apesar das árvores de *E. grandis* terem sido as que apresentaram maior DAP médio ao longo do estudo, ao avaliar o incremento médio entre os meses de avaliação, observa-se que *E. urophylla* foi a espécie que apresentou maior incremento em seis dos doze meses avaliados (Figura 10).

Houve correlação entre a precipitação pluvial total (PT) e o incremento médio de DAP para o *E. grandis* ($r = 0,718$) e o *E. urophylla* ($r = 0,664$), indicando que o crescimento em diâmetro dessas espécies foi influenciado, dentre outros fatores, pela quantidade de chuva no período (Figura 11). O incremento de DAP do *E. camaldulensis*, por sua vez, não apresentou correlação com esta variável.

Tabela 3. Valores médios de volume de madeira (Vol), diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H), área basal (G), compartimentos de biomassa aérea (lenho, casca, folha e galho) e a biomassa total para diferentes idades do povoamento (11, 23 e 36 meses). Números dentro dos parênteses indicam o erro padrão. Números seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p=0,05$).

Espécie	H	DAP	G	Vol	Biomassa					
					Lenho	Casca	Folha	Galho	Total	
	m	cm	m ² ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	t ha ⁻¹					
11 meses										
<i>E. grandis</i>	3,8 (0,2)	3,9 (0,2)	1,4 (0,1)	5,7 ab	1,3 (0,1)	0,33 (0,04)	1,2 (0,1)	1,6 (0,1)	4,4 a	
<i>E. urophylla</i>	4,2 (0,2)	3,8 (0,3)	1,3 (0,1)	6,9 a	1,3 (0,1)	0,32 (0,03)	1,5 (0,2)	1,7 (0,2)	4,8 a	
<i>E. cloeziana</i>	3,6 (0,1)	3,1 (0,1)	0,9 (0,1)	4,7 b	1,2 (0,2)	0,32 (0,03)	2,2 (0,2)	1,2 (0,1)	4,8 a	
<i>C. citriodora</i>	3,6 (0,1)	3,0 (0,2)	0,8 (0,1)	3,8 bc	1,2 (0,2)	0,20 (0,02)	1,7 (0,2)	1,1 (0,4)	4,3 ab	
<i>E. camaldulensis</i>	3,5 (0,1)	3,5 (0,2)	1,1 (0,1)	5,1 ab	1,1 (0,2)	0,27 (0,02)	1,3 (0,1)	0,7 (0,1)	3,4 b	
<i>E. brassiana</i>	3,0 (0,1)	2,1 (0,2)	0,4 (0,1)	2,1 c	0,4 (0,1)	0,18 (0,04)	0,5 (0,1)	0,3 (0,1)	1,5 c	
23 meses										
<i>E. grandis</i>	13,4 (0,3)	11,9 (0,3)	12,3 (0,7)	69,1 a	23,9 (1,6)	3,9 (0,3)	6,8 (0,8)	12,1 (1,3)	46,6 a	
<i>E. urophylla</i>	10,7 (0,2)	10,5 (0,5)	9,6 (0,8)	38,7 b	14,2 (1,7)	2,3 (0,1)	6,3 (1,6)	10,1 (1,1)	32,9 ab	
<i>E. cloeziana</i>	7,3 (0,8)	9,4 (1,3)	7,8 (2,0)	41,8 b	9,4 (3,0)	3,2 (0,9)	6,8 (2,1)	11,2 (1,4)	30,5 b	
<i>C. citriodora</i>	9,5 (0,1)	5,9 (0,2)	3,0 (0,2)	21,0 c	10,9 (0,2)	2,1 (0,2)	3,8 (0,3)	5,0 (1,1)	21,8 b	
<i>E. camaldulensis</i>	9,7 (0,1)	8,9 (0,2)	6,9 (0,4)	27,8 bc	11,5 (0,3)	2,8 (0,1)	3,9 (0,4)	4,3 (1,1)	22,5 b	
<i>E. brassiana</i>	7,5 (0,2)	6,2 (0,1)	3,4 (0,1)	10,5 d	4,7 (0,5)	1,5 (0,2)	1,7 (0,2)	2,0 (1,1)	9,9 c	
36 meses										
<i>E. grandis</i>	18,6 (0,9)	13,0 (1,2)	14,7 (1,2)	176,5 a	53,4 (1,3)	7,4 (1,3)	3,9 (0,8)	7,0 (1,4)	71,7 a	
<i>E. urophylla</i>	15,7 (0,7)	12,2 (1,2)	13,0 (1,2)	176,7 a	42,3 (1,2)	6,6 (1,6)	3,8 (1,1)	8,1 (1,9)	60,8 a	
<i>E. cloeziana</i>	12,0 (0,8)	12,1 (0,9)	12,9 (2,0)	91,8 ab	36,4 (1,2)	7,5 (1,4)	9,2 (1,8)	13,8 (3,0)	67,0 a	
<i>C. citriodora</i>	14,6 (0,6)	11,1 (0,9)	10,7 (1,8)	89,5 ab	45,4 (1,2)	6,8 (0,8)	8,0 (1,9)	12,4 (3,7)	72,5 a	
<i>E. camaldulensis</i>	13,4 (0,8)	10,8 (0,7)	10,3 (1,2)	63,5 b	18,2 (1,1)	4,1 (0,4)	1,7 (0,4)	2,8 (1,2)	26,7 b	
<i>E. brassiana</i>	9,1 (0,5)	7,1 (0,7)	4,4 (1,0)	24,0 c	8,3 (1,3)	2,4 (0,6)	1,2 (0,3)	2,4 (0,5)	14,2 c	

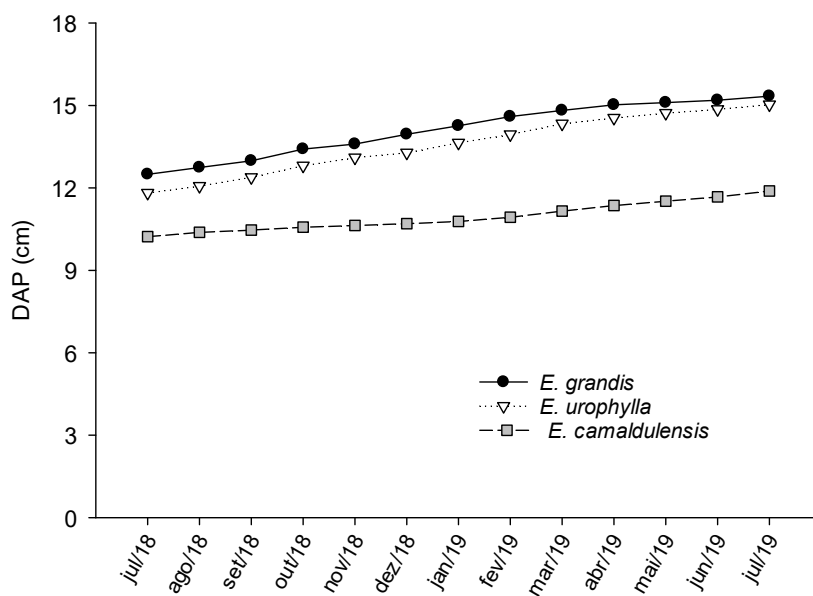


Figura 9. Valores médios de diâmetro à altura do peito (DAP) para as árvores monitoradas com os sensores de fluxo de seiva em três espécies.

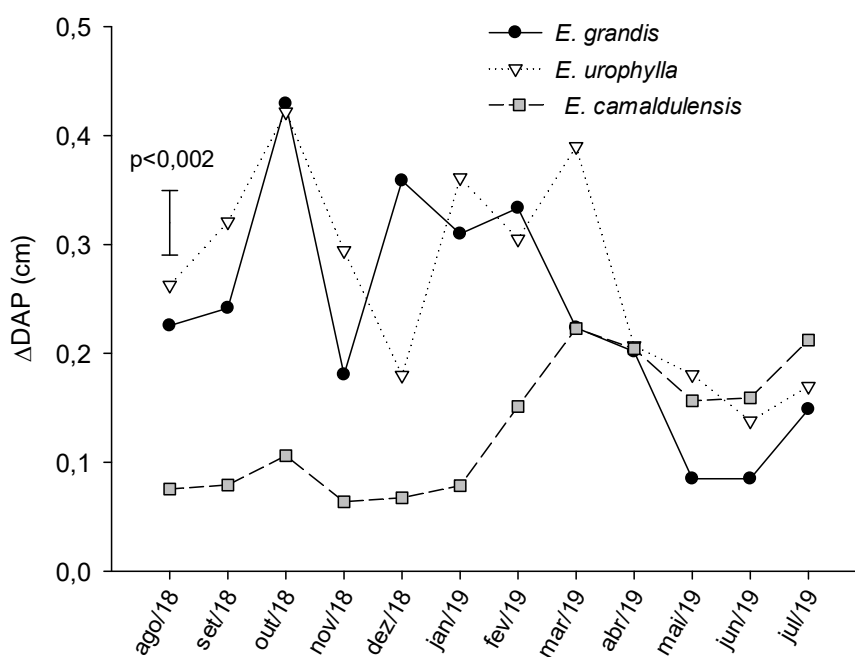


Figura 10. Incremento médio de diâmetro à altura do peito (DAP) para as árvores monitoradas com os sensores de fluxo de seiva em três espécies. A barra indica a diferença mínima significativa pelo teste LSD a 10% de probabilidade.

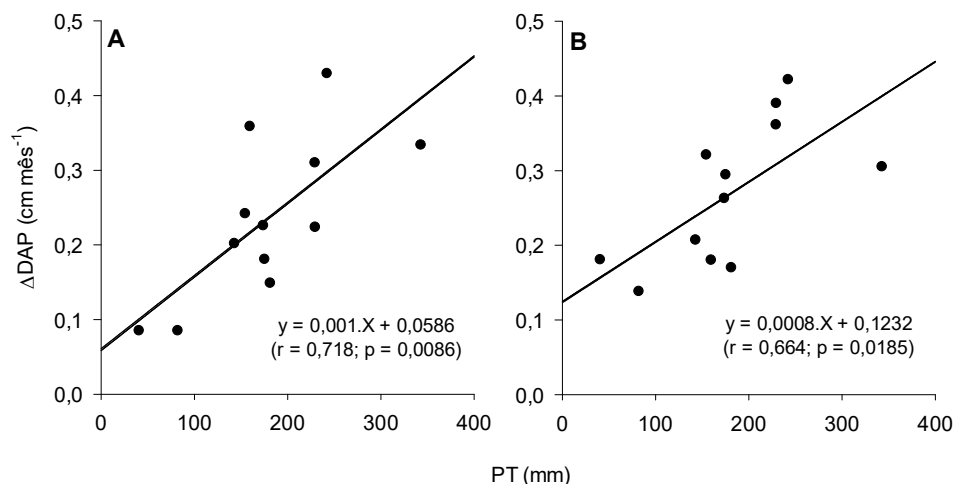


Figura 11. Correlação entre a precipitação total (PT) e o incremento de diâmetro à altura do peito (DAP) para *E. grandis* (A) e *E. urophylla* (B).

4.2. Precipitações pluviiais total e efetiva

A precipitação pluvial total (PT) foi de 2.121 mm durante os 14 meses de avaliação (Tabela 4). A precipitação pluvial interna (PI) aumentou de forma proporcional ao aumento da quantidade da PT. A espécie que apresentou maior PI foi o *C. citriodora* (2.015 mm), seguido do *E. brassiana* (2.012 mm) e do *E. camaldulensis* (1996 mm). E as espécies que mais escoaram água pelo tronco foram o *E. cloeziana* (78 mm) e *E. grandis* (74 mm) (Tabela 4). O *E. camaldulensis* apresentou PI maior que o *E. cloeziana*. No entanto, esta teve um escoamento de água pelo tronco (Et) maior e menores perdas por interceptação de água pela copa (I).

O *E. brassiana*, o *C. citriodora* e o *E. cloeziana* foram as espécies que menos interceptaram chuva. O *E. urophylla* e o *E. grandis* foram as espécies que mais interceptaram chuva pela copa (151 e 150 mm, respectivamente). Esta perda representou 7,1% da PT (Tabela 4). O *E. brassiana*, o *E. camaldulensis* e o *C. citriodora*, dentre as seis espécies estudadas, são consideradas como as mais tolerantes à seca, e, por isso, esperava-se que essas interceptassem menos chuva para que uma maior quantidade de água chegasse até o solo. No entanto, isto não se aplicou para o *E. camaldulensis*, que foi a terceira espécie que mais interceptou. Comparativamente com o *E. cloeziana*, vê-se a importância do processo de escoamento de água pelo tronco. Este processo representa uma pequena fração do total de precipitação pluvial, em comparação com os valores de PI, mas, no cômputo geral, constitui-se em parte importante do ciclo hidrológico. E, no caso do *E. cloeziana*, foi responsável por direcionar 78 mm de água até o solo.

A pluviosidade acumulada no verão foi maior do que nas outras estações, atingindo uma PT de 748 mm, seguido da primavera, outono e inverno, respectivamente (Tabela 5). O inverno apresentou uma PT de 268 mm. Não houve eventos de chuva entre 22/06/2018 e 22/07/2018. Com relação à interceptação, o mesmo comportamento foi observado. Houve maior perda de água nas estações mais chuvosas (verão-primavera) (Tabela 6).

Tabela 4. Precipitação pluvial total (PT), precipitação pluvial interna (PI), escoamento de água pelo tronco (Et), precipitação pluvial efetiva (PE) e interceptação de precipitação pluvial pela copa (I) ao longo do período de estudo para as seis espécies.

Espécie	PT	PI	Et	PE	I
<i>E. grandis</i>	2121	1897 (90)	74 (3,5)	1971 (93)	150 (7,1)
<i>E. urophylla</i>	2121	1922 (91)	48 (2,3)	1969 (93)	151 (7,1)
<i>E. cloeziana</i>	2121	1980 (93)	78 (3,7)	2058 (97)	63 (3,0)
<i>C. citriodora</i>	2121	2015 (95)	45 (2,1)	2060 (97)	61 (2,9)
<i>E. camaldulensis</i>	2121	1996 (94)	23 (1,1)	2019 (95)	102 (4,8)
<i>E. brassiana</i>	2121	2012 (95)	49 (2,3)	2061 (97)	60 (2,8)

Tabela 5. Precipitação pluvial total (PT) e precipitação pluvial efetiva (PE) por estação climática nos povoamentos das diferentes espécies*.

Data	PT	PE					
		EGRA	EURO	ECLO	CCIT	ECAM	EBRA
mm							
Inverno							
22/06-22/07	0	0	0	0	0	0	0
23/07-07/08	110	101	101	106	107	100	110
08/08-21/08	17	16	15	16	16	15	16
22/08-05/09	44	41	41	42	43	40	44
05/09-21/09	97	90	94	95	94	94	96
Total	268	248	251	259	259	250	266
Primavera							
22/09-06/10	35	30	31	31	32	33	33
07/10-20/10	195	190	182	192	191	194	193
21/10-06/11	66	57	62	62	59	61	57
07/11-20/11	102	95	90	99	101	102	101
21/11-05/12	123	118	118	122	121	118	122
Total	521	489	483	506	504	507	506
Verão							
06/12-08/01	186	176	169	174	178	177	181
09/01-24/01	23	18	21	21	21	20	21
25/01-18/02	176	163	167	175	171	175	171
19/02-27/02	123	110	112	116	117	110	120
28/02-14/03	173	162	163	173	170	162	171
15/03-22/03	67	60	60	66	63	61	59
Total	748	689	690	725	721	707	723
Outono							
23/03-04/04	145	141	140	144	144	137	143
05/04-22/04	97	90	89	93	96	95	96
23/04-10/05	24	23	22	23	24	24	24
11/05-25/05	19	16	15	16	16	17	17
26/05-21/06	104	96	94	101	103	98	101
Total	390	366	360	379	383	371	380

*EGRA= *E. grandis*; EURO= *E. urophylla*; ECLO= *E. cloeziana*; CCIT= *C. citriodora*; ECAM= *E. camaldulensis*; EBRA= *E. brassiana*.

Tabela 6. Precipitação pluvial total (PT) e interceptação (I) para as seis espécies por estação climática nos povoamentos das diferentes espécies*.

Data	PT	I					
		EGRA	EURO	ECLO	CCIT	ECAM	EBRA
mm							
Inverno							
22/06-22/07	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23/07-07/08	110	8,7	8,5	3,6	2,9	9,8	0,1
08/08-21/08	17	0,9	1,5	1,2	1,0	1,8	0,5
22/08-05/09	44	3,3	3,6	2,6	1,5	3,9	0,1
05/09-21/09	97	7,2	2,9	1,7	3,1	2,4	0,8
Total	268	20,1	16,5	9,0	8,6	17,8	1,4
Primavera							
22/09-06/10	35	5,3	4,4	4,0	3,2	2,0	1,9
07/10-20/10	195	5,4	13,0	3,1	4,5	1,6	2,5
21/10-06/11	66	9,2	4,0	3,5	7,0	4,8	8,6
07/11-20/11	102	7,1	12,1	3,2	0,9	0,7	1,7
21/11-05/12	123	5,1	5,2	1,2	1,6	4,9	0,8
Total	521	32,1	38,6	15,0	17,3	14,0	15,5
Verão							
06/12-08/01	186	10,2	17,4	12,4	7,6	8,8	5,4
09/01-24/01	23	5,2	2,9	2,0	2,0	3,0	2,7
25/01-18/02	176	13,3	8,8	0,9	4,9	1,2	4,6
19/02-27/02	123	12,4	11,3	6,6	6,2	12,4	2,4
28/02-14/03	173	10,9	10,3	0,2	2,9	10,6	1,8
15/03-22/03	67	7,0	7,4	0,8	3,6	5,5	8,5
Total	748	59,1	58,1	22,9	27,2	41,4	25,4
Outono							
23/03-04/04	145	4,2	5,6	0,8	0,9	8,4	2,4
05/04-22/04	97	6,7	7,5	3,3	1,0	1,4	0,4
23/04-10/05	24	0,8	2,1	0,8	0,2	0,6	0,1
11/05-25/05	19	3,6	3,9	3,3	3,3	2,4	2,6
26/05-21/06	104	8,2	10,0	2,8	1,0	5,9	3,6
Total	390	23,5	29,0	10,9	6,4	18,7	9,1

*EGRA= *E. grandis*; EURO= *E. urophylla*; ECLO= *E. cloeziana*; CCIT= *C. citriodora*; ECAM= *E. camaldulensis*; EBRA= *E. brassiana*.

Um dos principais fatores que influenciam no processo de interceptação é a duração e a frequência das chuvas (HALL, 2003). A interceptação é maior para chuvas de menor ou pequena intensidade (chuvas esparsas) do que em grandes eventos de chuva (tempestades) (BARBIER et al. 2009). Neste estudo, em termos relativos, esperavam-se maiores intensidades de interceptação nas estações menos chuvosas (inverno-outono), por serem caracterizadas, geralmente, por eventos de chuvas menos intensos (ARCOVA et al., 2003). E este nem sempre foi o caso, quando se consideraram os valores percentuais médios de interceptação por estação. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de terem sido considerados como eventos de chuva o somatório de todos os eventos isolados que ocorreram entre uma medição e outra, com intervalos de aproximadamente 15 dias e, dentro deles, pode ter havido chuvas mais ou menos intensas. Além disso, chuvas menos intensas podem ocorrer em estações mais chuvosas e, o inverso, para estações menos chuvosas, embora com menos frequência.

Optou-se por classificar como eventos de chuvas menos intensos aqueles que culminaram em um somatório ≤ 50 mm (valor arbitrário) em cada período de avaliação e, eventos de chuvas mais intensos, aqueles com somatório > 50 mm (Tabela 7). Com exceção dos eventos de chuva no inverno para o *E. grandis*, todos os outros eventos com menor intensidade (≤ 50 mm) resultaram em maior interceptação do que para as chuvas mais intensas, para todas as espécies e em todas as estações. Embora tenha ocorrido apenas um evento menos intenso no verão e um na primavera, estes foram os que tiveram maior interceptação em todo o período de estudo, seguidos dos eventos ocorridos no outono e depois no inverno. Foram feitas correlações entre a PT e a PE. Todas as espécies apresentaram alto coeficiente de correlação entre estas variáveis (Figura 12).

Tabela 7. Valores relativos de interceptação (I) para as seis espécies, de acordo com a intensidade dos eventos de chuvas.

Eventos de chuva	I						
	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	<i>E. cloeziana</i>	<i>C. citriodora</i>	<i>E. camaldulensis</i>	<i>E. brassiana</i>	
	%						
	Inverno						
≤ 50 mm	2	6,5	8,5	6,4	4,6	9,8	1,6
> 50 mm	2	7,7	5,4	2,5	3,0	5,7	0,4
	Primavera						
≤ 50 mm	1	15,1	12,4	11,4	9,2	5,8	5,5
> 50 mm	4	7,0	7,2	2,8	3,8	3,2	4,2
	Verão						
≤ 50 mm	1	22,2	12,5	8,6	8,5	12,7	11,5
> 50 mm	5	8,0	8,1	2,8	3,8	6,0	4,2
	Outono						
≤ 50 mm	2	10,9	14,5	10,0	9,0	7,6	6,9
> 50 mm	3	5,9	7,1	2,2	0,9	4,3	1,8

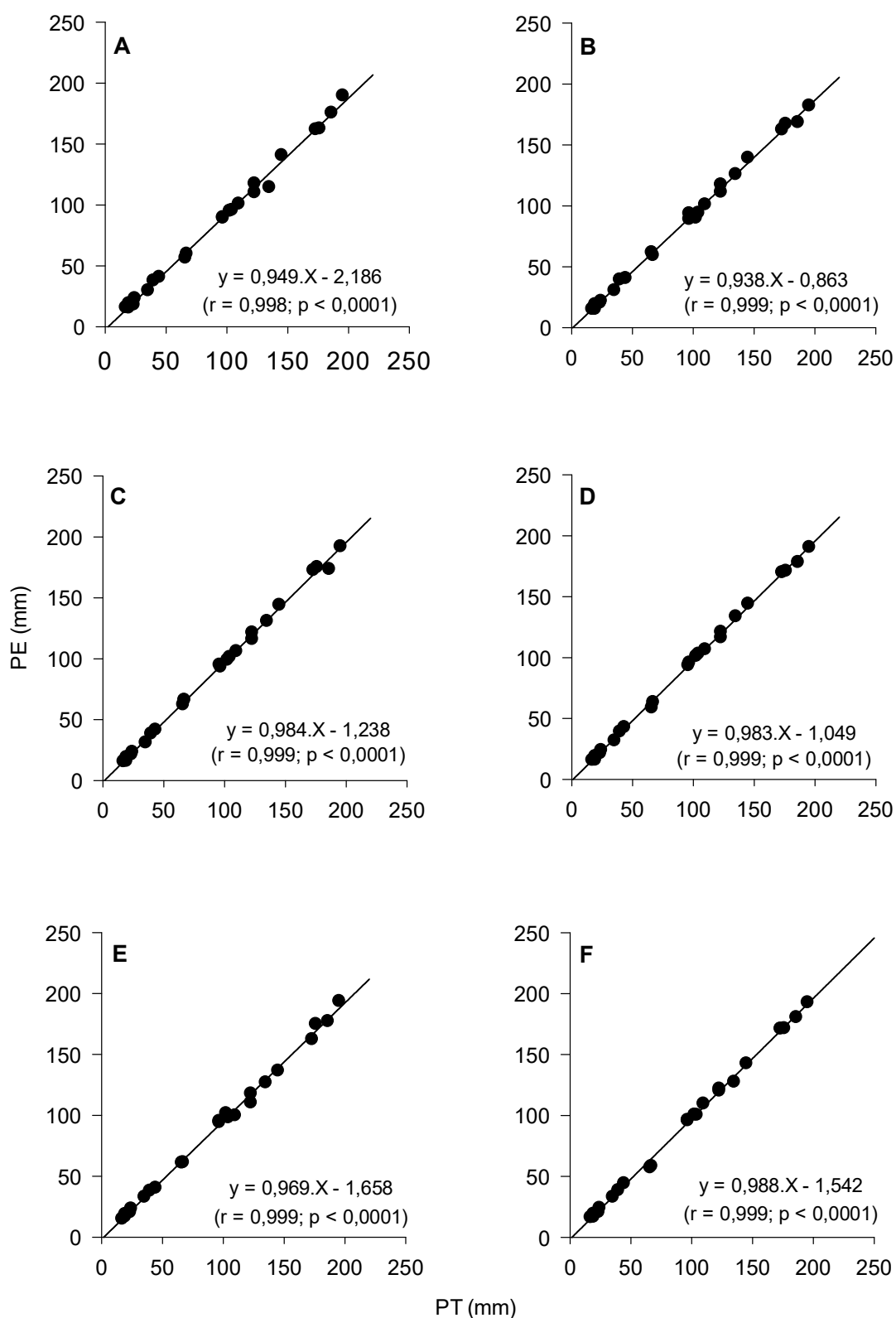


Figura 12. Coeficiente de correlação entre a precipitação pluvial total (PT) e a precipitação pluvial efetiva (PE) para as seis espécies – *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B), *E. cloeziana* (C), *C. citriodora* (D), *E. camaldulensis* (E) e *E. brassiana* (F).

4.3. Índice de área foliar (IAF) e ângulo foliar (°)

O *E. cloeziana* foi a espécie com maior IAF em todos os períodos de avaliação, diferindo de todas as outras, com exceção do *C. citriodora* aos 36 meses (Figura 13). O *E. brassiana* apresentou o menor IAF em todas as medições. O *E. cloeziana* e o *E. urophylla* foram as únicas espécies que apresentaram comportamento crescente em todas as avaliações. Todas as outras diminuíram seu IAF aos 23 meses de idade.

Yang et al. (2019) encontraram que árvores com maior IAF interceptaram mais precipitação pluvial. Isto não aconteceu no presente trabalho. Por exemplo, o *E. cloeziana* interceptou menos chuva do que o *E. urophylla*, o *E. grandis* e o *E. camaldulensis*, respectivamente, mesmo tendo apresentado maior IAF em todas as amostragens destrutivas. Isto ocorre porque, além do IAF, as características das chuvas (magnitude, intensidade e duração) e características da copa contribuem para menor ou maior interceptação (CROCKFORD & RICHARDSON, 2000).

Entre as espécies em que se monitorou o IAF com fotos hemisféricas, o *E. urophylla* foi a espécie que apresentou maior IAF em todos os meses de avaliação (Figura 15). O maior valor médio para esta espécie foi de $4,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ no mês de outubro de 2018 e, o menor valor médio foi de $2,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em maio de 2019. O *E. grandis* também apresentou IAF máximo no mês de outubro ($3,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e, seu mínimo foi de $2,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em março de 2019. O IAF do *E. camaldulensis* não alterou ao longo de 12 meses, apresentando um pico em fevereiro de 2019 ($1,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

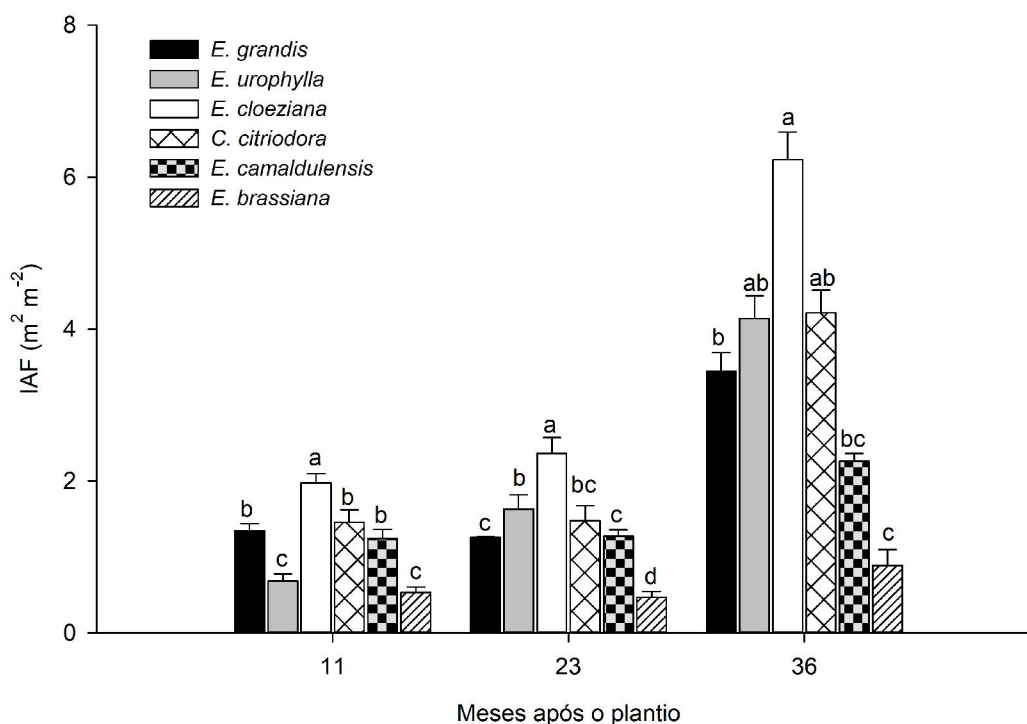


Figura 13. Índice de área foliar (IAF) determinado pelo método destrutivo aos 11, 23 e 36 meses de idade do povoamento para as seis espécies – *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana*. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p = 0,1$). Barras na vertical junto às colunas representam o erro padrão.

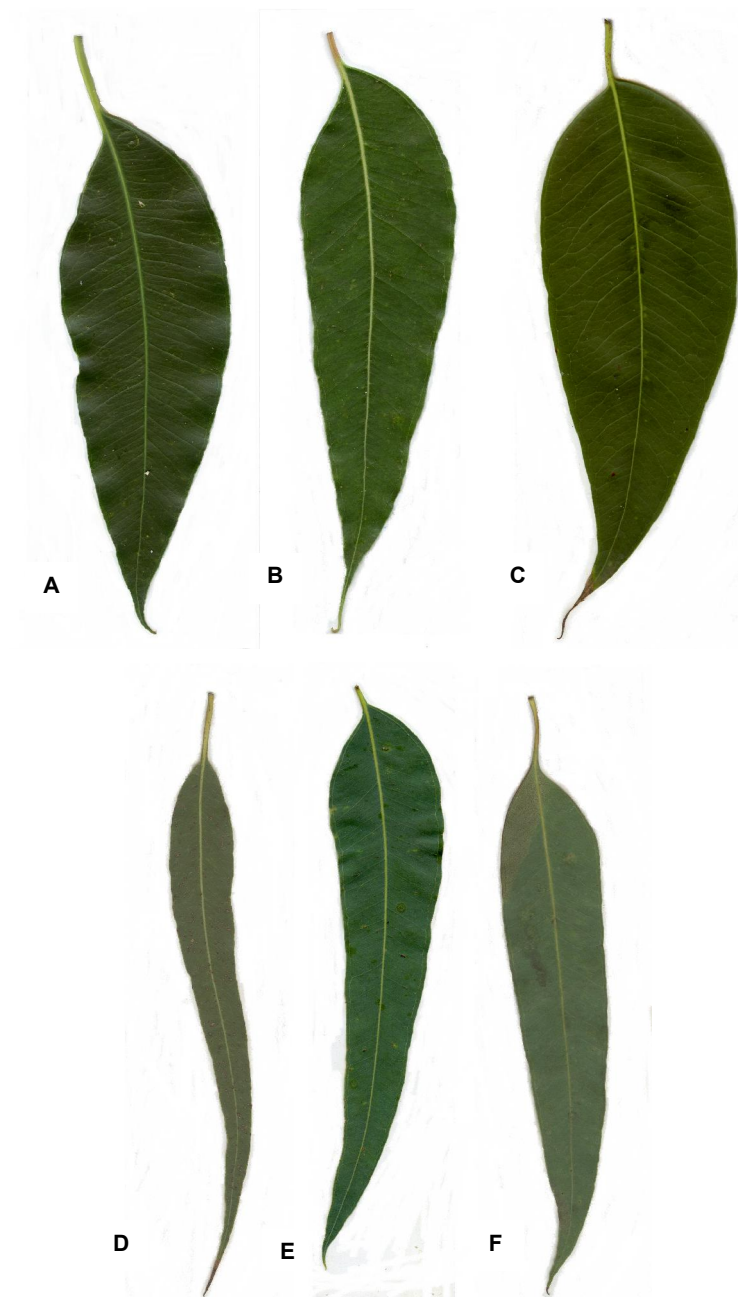


Figura 14. Folhas das espécies *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B), *E. cloeziana* (C), *C. citriodora* (D), *E. camaldulensis* (E) e *E. brassiana* (F).

Segundo Almeida e Soares (2003), o IAF do *E. grandis* pode chegar a $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, quando a floresta possui entre três e quatro anos de idade, próximo do valor máximo estimado neste trabalho. Eles verificaram declínio sazonal nos valores de IAF de até 35% nos meses de inverno. Também foi verificada variabilidade sazonal neste estudo, mas não apenas nos meses de inverno. Ao comparar relativamente o valor máximo de IAF estimado no mês de outubro com os demais meses, nota-se que houve um aumento de 32% no IAF dessa espécie em julho (mês mais seco) até o mês de outubro. Também foram observados declínios de 33,1% de outubro até março de 2019 e de 31,2% de outubro até junho de 2019.

Para o *E. camaldulensis*, Doody et al. (2015) verificaram que condições moderadas de estresse hídrico não costumam influenciar na diminuição significativa de IAF, sendo este valor predominantemente maior que $0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Eles sugerem que uma resposta significativa a seca é indicada por uma redução de IAF para valores abaixo de $0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, o qual os autores verificaram no sítio com maior escassez de água. Neste estudo, considerando os bons índices pluviométricos na maior parte do ano, o IAF manteve-se acima de $1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Figura 15). Em estudo com plantações de *E. nitens* e *E. globulus*, Battaglia et al. (1998) verificaram que o IAF diminuiu linearmente em condições de estresse hídrico. No sítio deste estudo praticamente não há restrições hídricas, mas foram observadas variações nos valores de IAF, especialmente, para o *E. grandis* e o *E. urophylla*, em função da variação de disponibilidade hídrica.

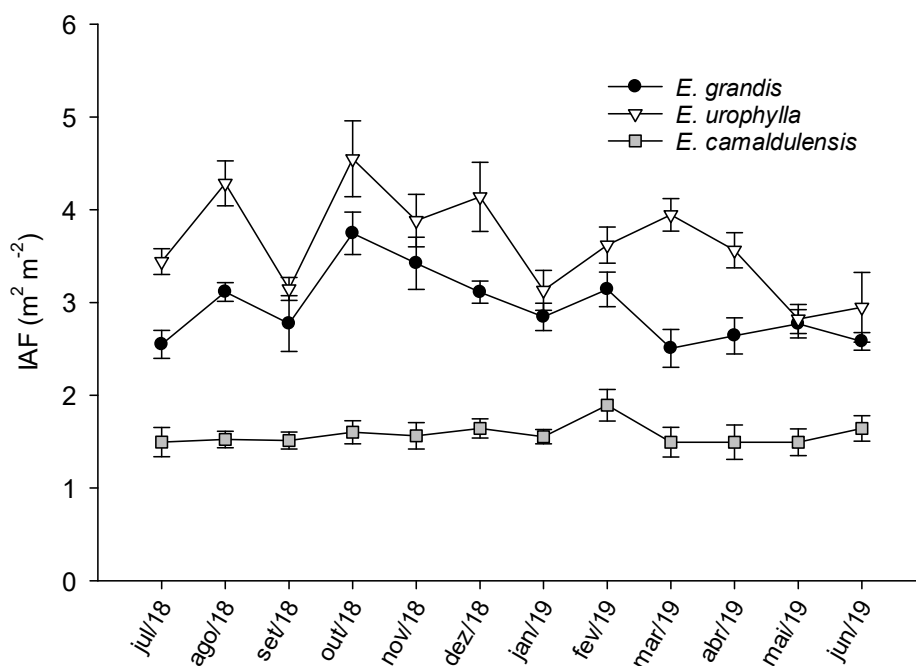


Figura 15. Índice de área foliar (IAF) médio estimado por fotos hemisféricas para três espécies ao longo de 12 meses. Barras na vertical junto aos pontos representam o erro padrão da média.

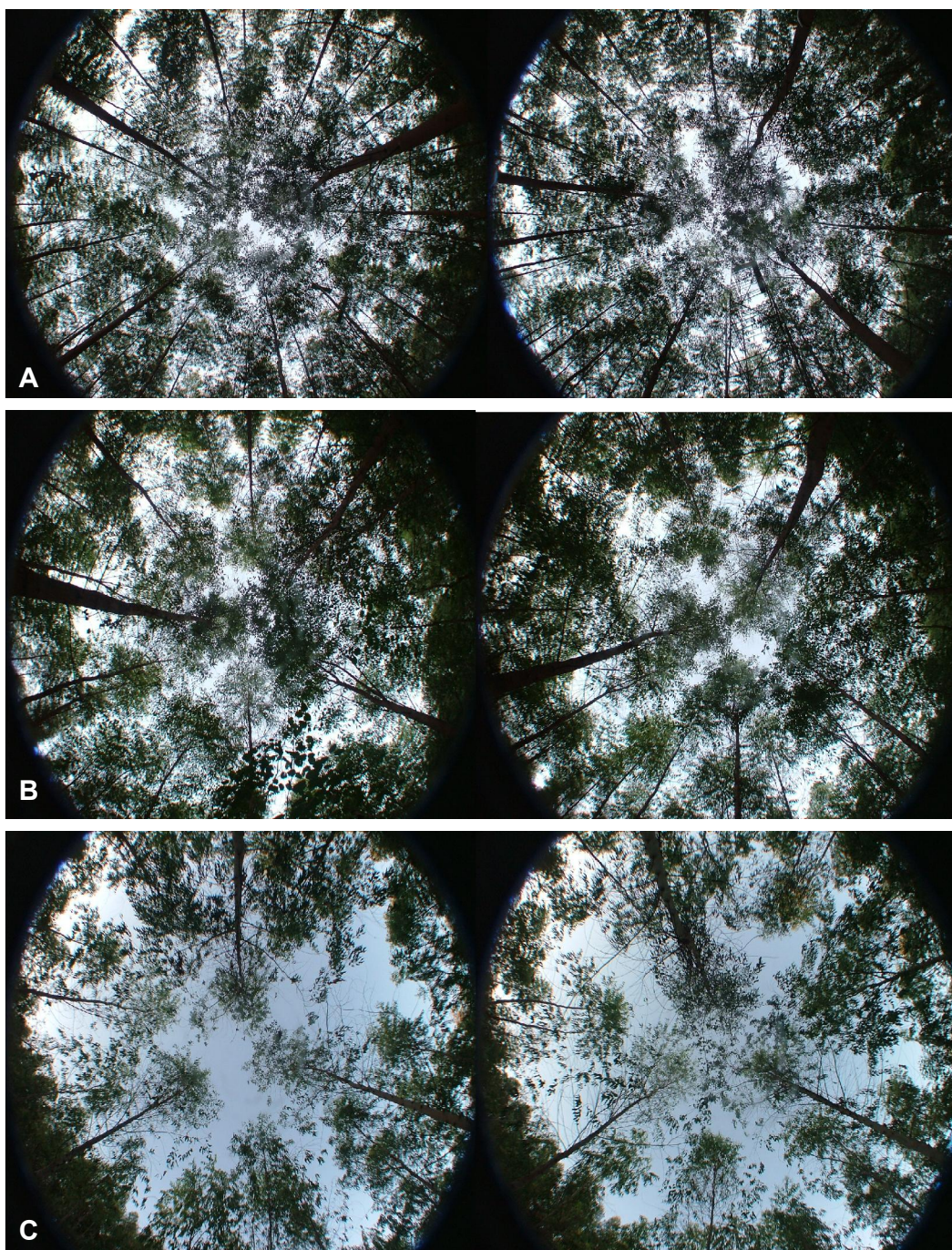


Figura 16. Aspectos da arquitetura de copa nos povoamentos de *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B) e *E. camaldulensis* (C) (fotos hemisféricas tiradas em julho de 2018).

O *E. camaldulensis* foi a espécie que apresentou os maiores valores de ângulo foliar em todos os terços da copa (média de 77°) (Figura 17). O *E. grandis*, o *E. urophylla* e o *C. citriodora* não diferiram entre si em todos os terços da copa. Estas espécies apresentaram valor médio de 54°, 56° e 57°, respectivamente. O *E. cloeziana* apresentou 47° de ângulo foliar médio e, o *E. brassiana*, 42°, os menores ângulos foliares entre as espécies. Pelo método de fotos hemisféricas, o *E. camaldulensis* também foi a espécie com o maior ângulo foliar em todos os meses (Figura 18).

Os valores de interceptação de chuva pela copa encontrados neste estudo foram baixos para todas as espécies. No entanto, algumas inferências podem ser feitas com base nos resultados obtidos de IAF e ângulo foliar para entender melhor este processo e a diferença entre as espécies, embora estas não sejam as únicas variáveis que influenciam nesse processo. Espécies tidas como menos tolerantes ao déficit hídrico, como o *E. grandis*, o *E. urophylla* e o *E. cloeziana*, apresentam folhas mais larga. Ao compararem-se apenas os valores de PI entre as espécies, vê-se que estas foram as que apresentaram os menores valores (Tabela 4). O contrário ocorreu para as demais espécies, que são caracterizadas por apresentarem folhas mais estreitas, possibilitando que mais água passe através da copa. Ao avaliar-se apenas o Et, o padrão não é o mesmo. O *E. cloeziana* e o *E. grandis* foram as espécies que mais escoaram água pelo tronco, seguidos do *E. brassiana*, do *E. urophylla* e do *C. citriodora*. Todas essas espécies têm em comum ângulo foliar mais horizontal. No caso do *E. cloeziana*, em especial, esta espécie não só apresentou ângulo foliar médio de 47°, como também um IAF de 6,2 m² m⁻². Essas características fazem com que suas folhas se assemelhem a calhas, possibilitando maior escoamento pelo tronco. O *E. camaldulensis*, por sua vez, possui folhas pendentes, finas e com baixo IAF. Esta espécie apresentou ângulo foliar médio de 77°, e escoou apenas 23 mm de água pelo tronco, bem inferior ao valor medido para as demais espécies.

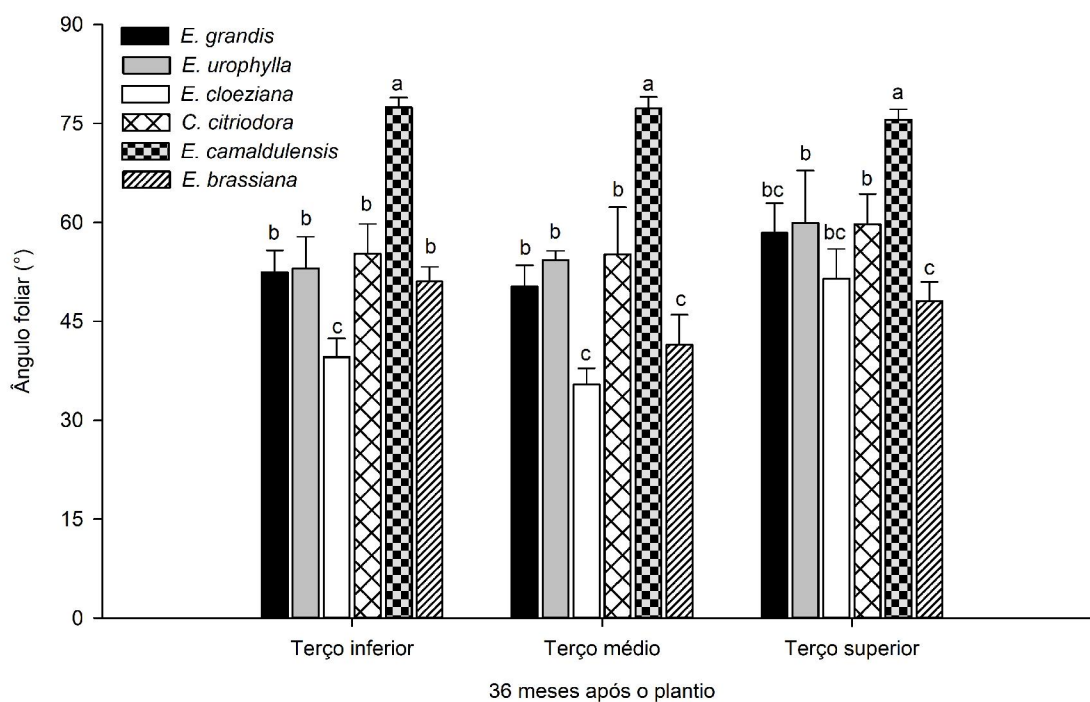


Figura 17. Ângulo foliar médio das diferentes espécies aos 36 meses de idade nos terços inferior, médio e superior da copa. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p = 0,1$). Barras na vertical junto às colunas representam o erro padrão.

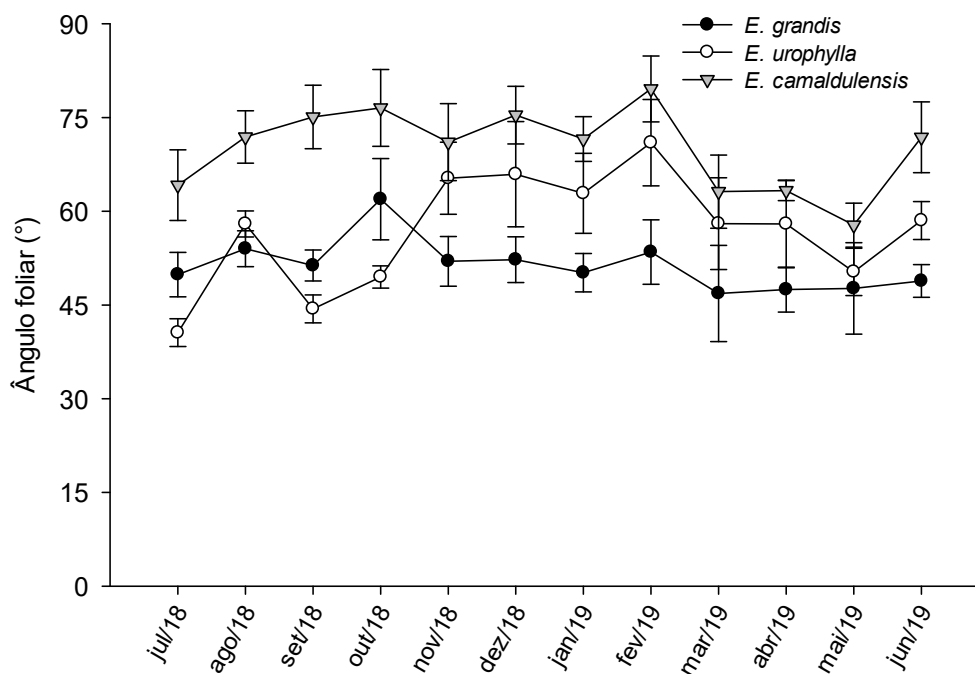


Figura 18. Ângulo foliar obtido a partir de fotos hemisféricas, durante 12 meses, para três espécies. Barras na vertical junto às colunas representam o erro padrão.

4.4. Evapotranspiração real e potencial hídrico foliar (Ψ_{wf})

O *E. urophylla* e o *E. grandis* foram as espécies que mais perderam água pelo processo evaporativo (copa e solo) em quase todas as datas de avaliação (Figuras 19). Tendo em vista que a evaporação de água pela copa foi considerada como o valor de água interceptada pela mesma, e que a evaporação do solo foi estimada a partir dos valores interceptados, então estes dois processos apresentaram o mesmo padrão de comportamento observado para a interceptação. Estimou-se que o *E. urophylla* tenha perdido 199 mm de água, considerando o somatório da evaporação pela copa e pelo solo, seguido do *E. grandis* (175 mm) e do *E. camaldulensis* (127 mm).

A transpiração diária do *E. grandis* foi, predominantemente, superior aos valores medidos para o *E. urophylla* e o *E. camaldulensis* ao longo de 12 meses de medição (Figura 20). O *E. grandis* foi a espécie que mais transpirou em todos os meses de avaliação, atingindo seu pico no mês de dezembro (151 mm) (Figura 21). Nos dois primeiros meses de avaliação, o *E. urophylla* apresentou taxa transpiratória pouco maior que o *E. camaldulensis*. Nos meses subsequentes, esta espécie passou a transpirar mais. Isto ocorreu no período em que houve aumento na precipitação pluvial, a partir de outubro. O *E. grandis* foi a espécie que mais transpirou em todo o período de estudo, chegando a um valor acumulado de 1112 mm, e, o *E. urophylla*, a espécie que menos transpirou (638 mm). O *E. camaldulensis* transpirou 797 mm. A transpiração total do *E. grandis* representou 84% da ETo (1329 mm), 48% para o *E. urophylla* e, 60%, para o *E. camaldulensis*.

O *E. grandis* transpirou em média 11.500 L em 12 meses, seguido do *E. camaldulensis*, 9.395 L, e o *E. urophylla*, que foi a espécie que menos transpirou, 7.362 L (Figura 22). Este consumo equivale a $12.778 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$, $10.438 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$ e $8.180 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$, respectivamente.

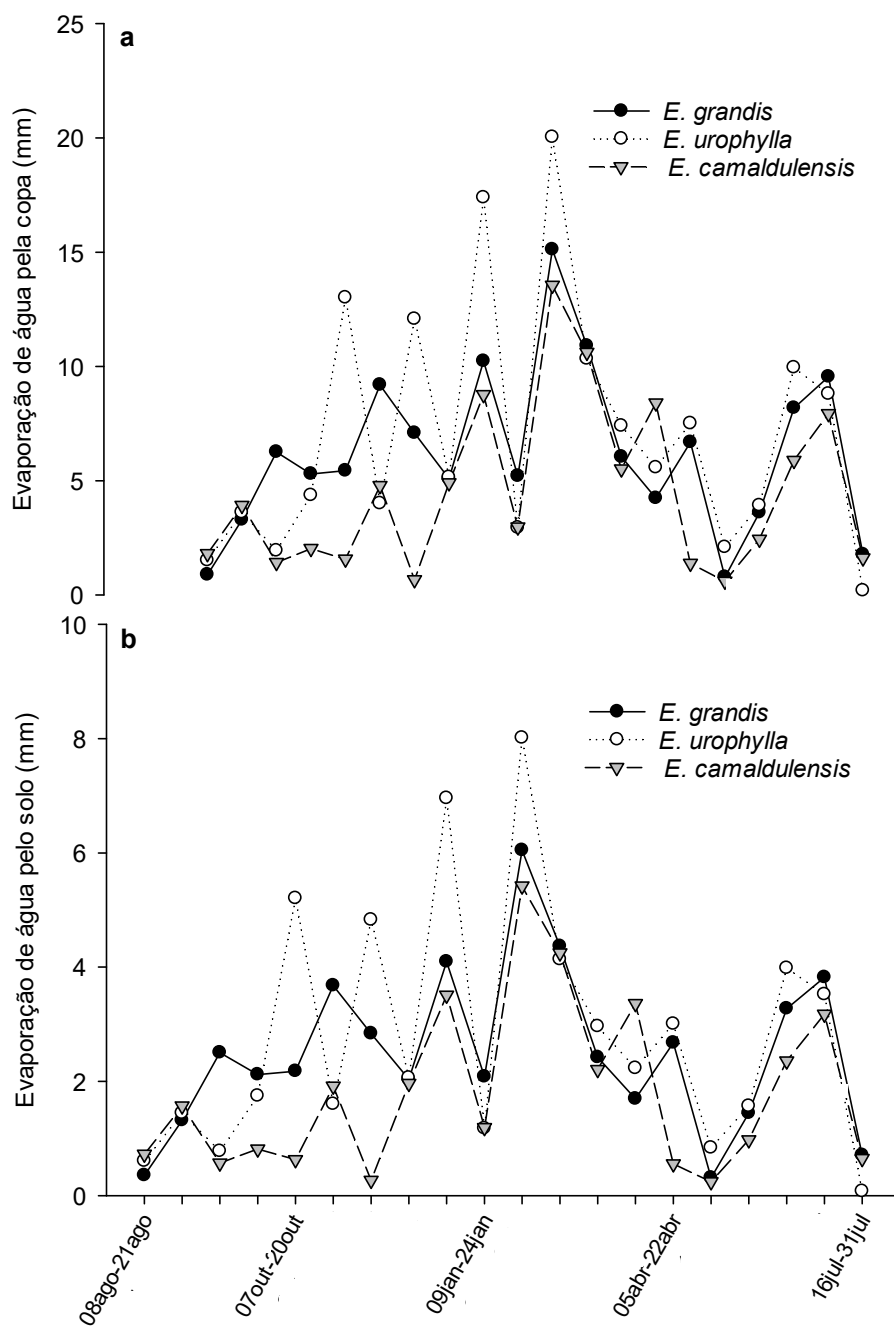


Figura 19. Evaporação de água pela copa (a) e pelo solo (b) para três espécies entre agosto de 2018 e julho de 2019.

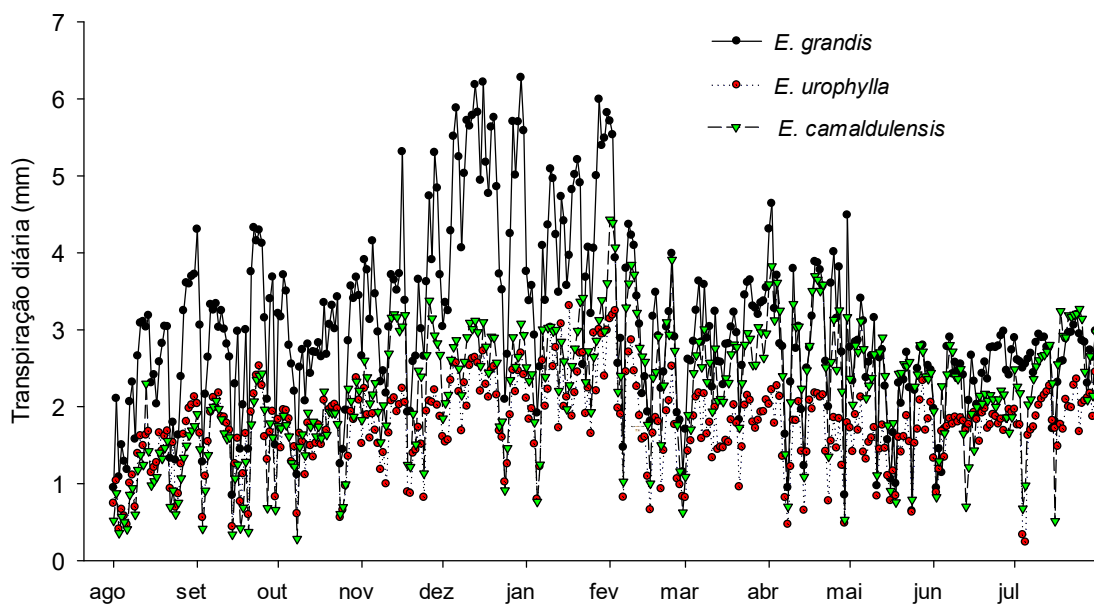


Figura 20. Transpiração diária do *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis* entre agosto de 2018 e julho de 2019.

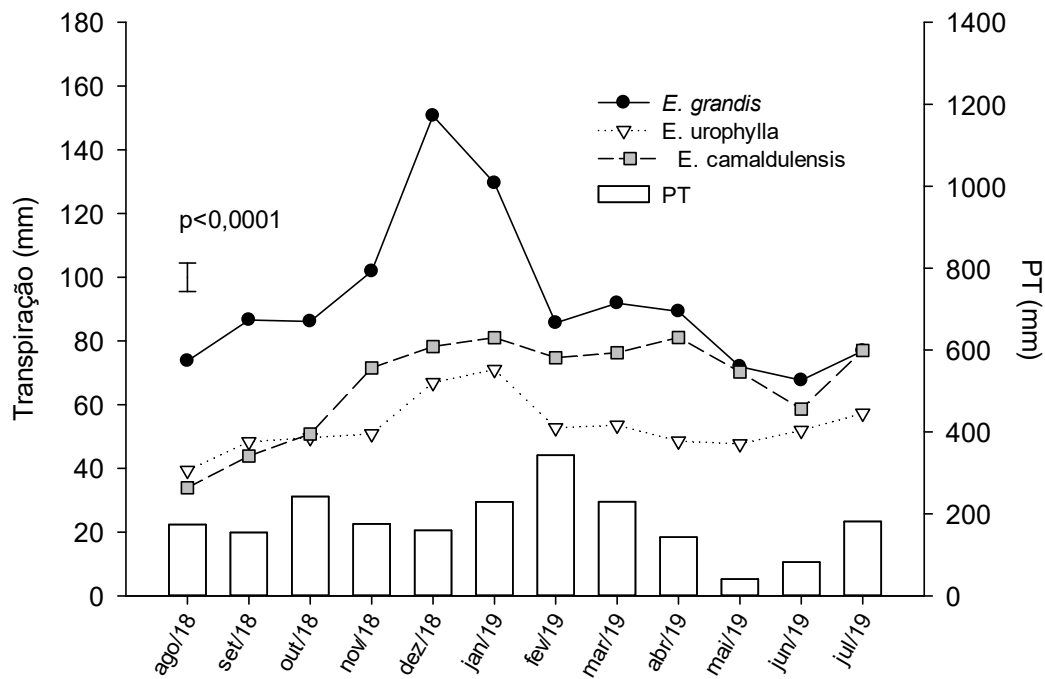


Figura 21. Transpiração mensal e precipitação pluvial total (PT) entre agosto de 2018 e julho de 2019. A barra indica a diferença mínima significativa pelo teste LSD ($p=0,1$).

O fluxo de seiva, geralmente, apresenta padrões sazonais. As taxas transpiratórias costumam ser maiores no verão, devido à maior duração do dia, alto DPV e altas temperaturas (DYE et al., 2001). Houve diferença entre o período menos chuvoso (outono e inverno) e o período mais chuvoso (primavera e verão) para o *E. grandis* e o *E. camaldulensis* (Figura 23). Ambas apresentaram maior transpiração no período mais chuvoso. O *E. grandis* apresentou uma média de transpiração no período mais chuvoso de 108 mm e no período menos chuvoso, 78 mm. Enquanto o *E. camaldulensis*, 72 mm e 60 mm nos respectivos períodos. O *E. urophylla*, por sua vez, não apresentou diferença significativa entre as duas estações, tendo transpirado em média na estação mais chuvosa 57 mm e, na menos chuvosa, 49 mm. O *E. grandis* diferiu significativamente das duas outras espécies nas duas estações, enquanto o *E. urophylla* e o *E. camaldulensis* diferiram entre si apenas no período mais chuvoso.

Herrera et al. (2012) também verificaram que o *E. urophylla* transpirou a mesma quantidade nas estações seca e chuvosa, e que transpirou menos do que as espécies dominantes da Savana (*Trachypogon vestitus* e *Curatella americana*). Em outro trabalho, Herrera et al. (2013) verificaram que esta espécie fixou quase a mesma quantidade de CO₂ fixada pelas espécies de Savana. Assim, o *E. urophylla* é uma espécie com alta capacidade de seqüestro de C e com baixo impacto no balanço hídrico do solo.

O *E. camaldulensis* é capaz de se adaptar em ambientes com diferentes disponibilidades hídricas. Quando há escassez de água, as árvores desta espécie diminuem a área de alburno a transpiração. E, quando há fartura de água disponível, responde rapidamente com aumento na transpiração e área de alburno (DOODY et al., 2015). Cramer et al. (1999) verificaram que, em solos salinos de Queensland, a transpiração foi baixa em árvores de *E. camaldulensis*, o que foi atribuído à baixa disponibilidade hídrica, ou à restrições fisiológicas, como a redução da condutância estomática. Quando espécies de *Eucalyptus* que não possuem regulação estomática são plantadas em áreas onde não há restrição hídrica, as taxas de transpiração são muito altas (CALDER, 1986). O *E. camaldulensis*, espécie com alta tolerância ao déficit hídrico, apresenta vários mecanismos fisiológicos para restringir a perda de água, e captar água em camadas profundas do solo (WHITE et al., 2000). Segundo esses autores, esta espécie evita a desidratação devido à alta sensibilidade estomatal em situações de estresse hídrico e ao sistema radicular profundo. Neste estudo, como não houve longos períodos de déficit hídrico, o *E. camaldulensis* usou poucos seus mecanismos fisiológicos para evitar a perda de água, apresentando taxas de transpiração superiores às observadas em áreas com alta deficiência hídrica (DOODY et al., 2015; ENGEL et al., 2005; MORRIS et al., 1998; SALAMA et al., 1994).

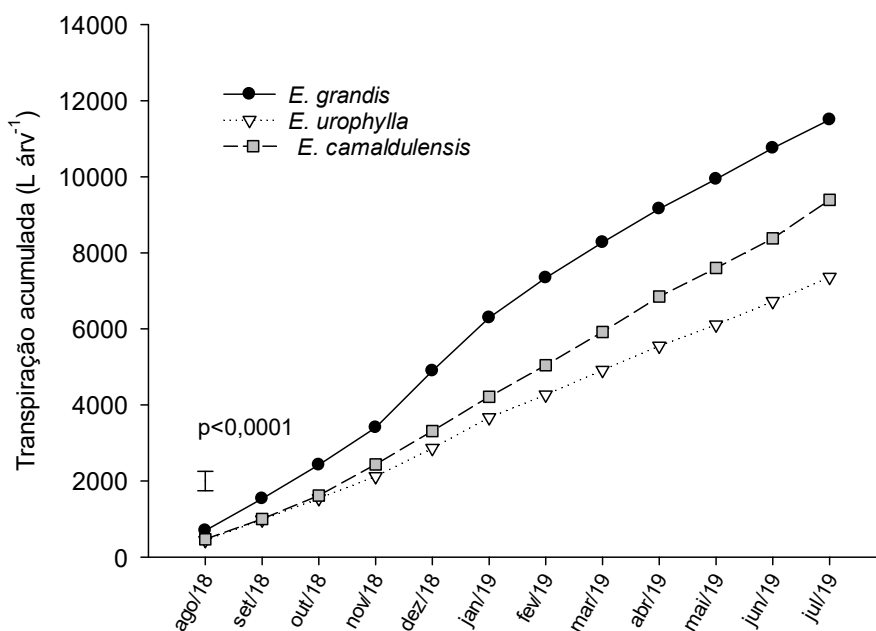


Figura 22. Transpiração média acumulada (L) por árvore entre agosto/2018 e julho/2019, considerando as seis árvores de cada espécie em que foram instalados os sensores de fluxo de seiva. A barra indica a diferença mínima significativa pelo teste LSD ($p=0,1$).

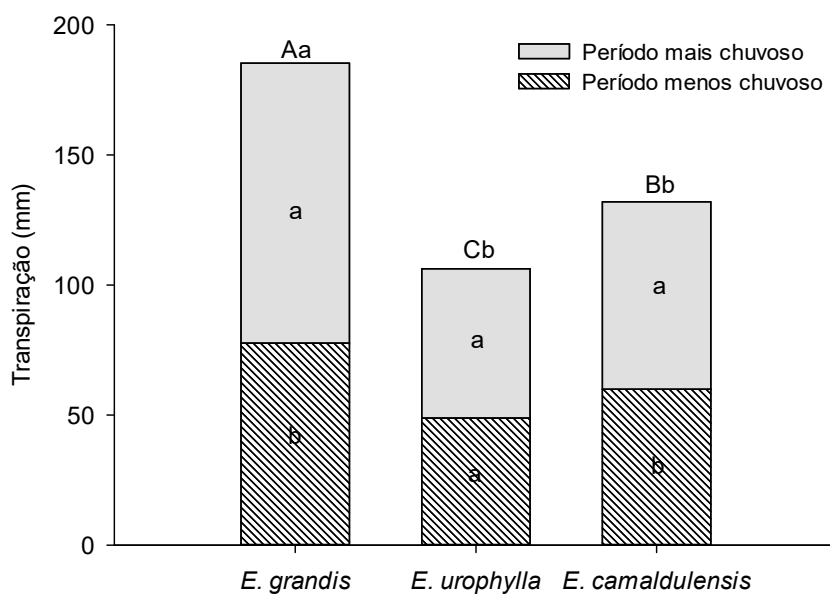


Figura 23. Transpiração média de três espécies no período menos chuvoso (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) e no período mais chuvoso (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março). As letras dentro das colunas comparam os dois períodos para cada espécie. As letras maiúsculas em cima das colunas representam o período mais chuvoso, e as minúsculas, o menos chuvoso, e comparam entre as espécies. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p=0,05$).

As taxas de transpiração corroboraram os resultados de potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}). O *E. urophylla* foi a espécie que apresentou o menor Ψ_{wf} em quase todas as medições, com exceção do mês de junho durante a madrugada, quando o *E. camaldulensis* apresentou o Ψ_{wf} mais negativo (Figuras 24). O *E. grandis* foi a espécie que apresentou o maior Ψ_{wf} na maior parte das medições. O Ψ_{wf} atingiu o seu máximo para o *E. grandis*, o *E. camaldulensis* e o *E. urophylla* em fevereiro de 2019 de madrugada, -0,064 MPa, -0,067 MPa e -0,072 MPa, respectivamente, o mês mais chuvoso em todo o período estudado (343 mm) (Figura 24). Altos valores de potencial hídrico foliar durante este período indicam que nenhuma das espécies está sofrendo estresse hídrico severo. Kallarackal et al. (2002) verificaram que os valores de Ψ_{wf} para seis espécies de *Eucalyptus*, incluindo o *E. urophylla*, o *E. camaldulensis* e o *E. brassiana*, não ultrapassaram -0,5 MPa. Neste estudo os valores não ultrapassaram a -0,3 MPa. A tolerância à seca aumenta com a diminuição do Ψ_{wf} de madrugada (SIVANANTHAWERL & MITLÖHNER, 2003).

Ao meio-dia, os menores valores de Ψ_{wf} foram encontrados em julho de 2018, o mês mais seco (14 mm de precipitação pluvial): -1,054 MPa para o *E. grandis*, -1,688 MPa para o *E. camaldulensis*, e -1,984 MPa para o *E. urophylla* (Figura 25). Os maiores valores foram encontrados em fevereiro de 2018.

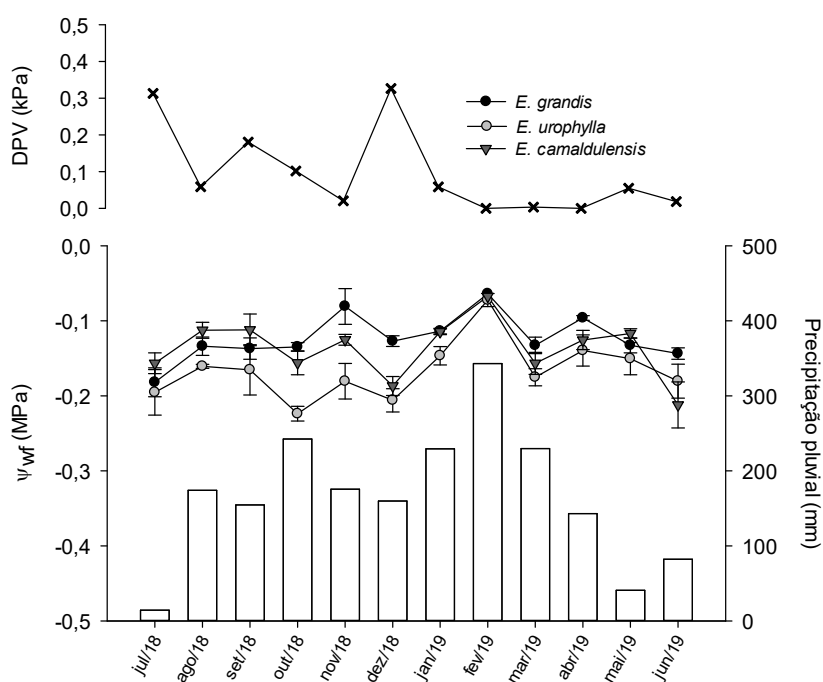


Figura 24. Valores médios de potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) para três espécies, valores médios de DPV e a precipitação pluvial mensal ao longo de 12 meses de avaliação, entre 3h30 e 5h30. As barras indicam os valores de erro padrão.

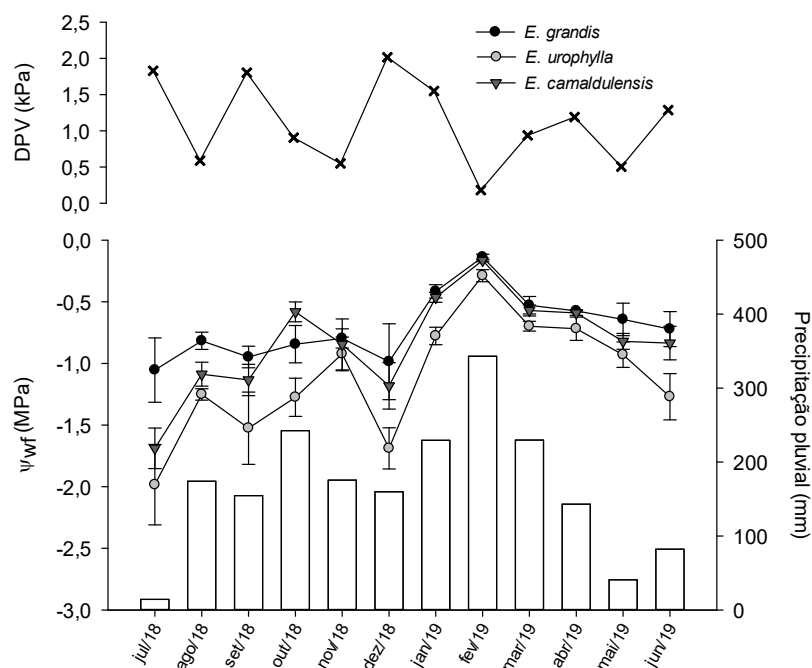


Figura 25. Valores médios de potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) par três espécies, valores médios de DPV e a precipitação pluvial mensal ao longo de 12 meses de avaliação, entre 12h e 14:30h. As barras indicam os valores de erro padrão.

Houve alta correlação negativa entre os valores de Ψ_{wf} e de déficit de pressão de vapor (DPV) para as três espécies de *Eucalyptus* (Figura 26). O *E. urophylla* foi mais sensível às mudanças de DPV do que as outras espécies, sendo quase o dobro do *E. grandis*, o que pode ser depreendido do coeficiente angular das linhas das análises de correlação. Foram encontradas também altas correlações entre os valores de Ψ_{wf} e a umidade relativa do ar (UR) (Figura 27). O Ψ_{wf} do *E. urophylla* foi o que mais variou com a UR. Esses resultados mostram a influência direta do DPV e da UR nos valores de Ψ_{wf} das três espécies. O Ψ_{wf} do *E. urophylla* demonstrou comportamento mais sensível com relação a mudanças nessas duas variáveis, o que indica sua maior capacidade de controle estomático diante de variações da umidade do ar e DPV nas condições deste estudo.

O crescimento das árvores em condições esporádicas de estresse hídrico está diretamente relacionado à capacidade que os estômatos têm de regular a perda de água, enquanto mantêm o crescimento (LIMA et al., 2003). O fechamento estomático é o primeiro mecanismo ao qual as plantas recorrem em situação de estresse hídrico, com o intuito de reduzir a perda de água e atrasar a queda no potencial hídrico xilemático e foliar (MARTORELL et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Mesmo que o Ψ_{wf} não possa ser considerado por si só como um sendo um transdutor da atividade estomática (GOLLAN et al., 1985), tanto esta variável, quanto a transpiração estão relacionados com o processo de abertura e fechamento dos estômatos. Quando os níveis de radiação atingem a superfície da folha, os estômatos se abrem e, o contrário, quando a luz diminui (TAIZ et al., 2017).

A condutância estomática (G_s) é regulada pelo DPV e pelo potencial hídrico foliar (KALLARACKAL & SOMEN, 1997). White et al. (2000) observaram que em todos os dias de medição, e para as quatro espécies do estudo, incluindo o *E. camaldulensis*, a condutância estomática diminuiu linearmente com a diminuição do Ψ_{wf} medido de madrugada. No entanto, Kallarackal et al. (2002) verificaram que o aumento do DPV, que chegou a 5,0 kPa, não teve efeito direto no fechamento estomático do *E. urophylla* e *E. camaldulensis*. Pode-se inferir que o Ψ_{wf} é a variável que mais influencia diretamente nesse processo para estas duas espécies, e que o DPV não apresenta influência direta na regulação estomática para estas espécies. No mesmo estudo, esse efeito do DPV sobre a G_s no *E. brassiana* foi mais pronunciado, o que indica que esta espécie, a mais tolerante ao déficit hídrico, possui maior sensibilidade às mudanças na G_s , fechando os seus estômatos mais rapidamente do que as outras.

Zhang et al. (2016) verificaram que o *E. urophylla* foi capaz de manter entre 50 e 60% do máximo de sua G_s , em Ψ_{wf} igual a -1,6 MPa, o que contribuiu para a alta eficiência do uso da água desta espécie. O *E. grandis* é capaz de manter aproximadamente 40% da G_s máxima, em Ψ_{wf} menor que -2,45 MPa (MIELKE et al., 2000). O menor controle estomático do *E. grandis* é uma das causas de sua taxa de transpiração ser bem maior do que a do *E. urophylla*.

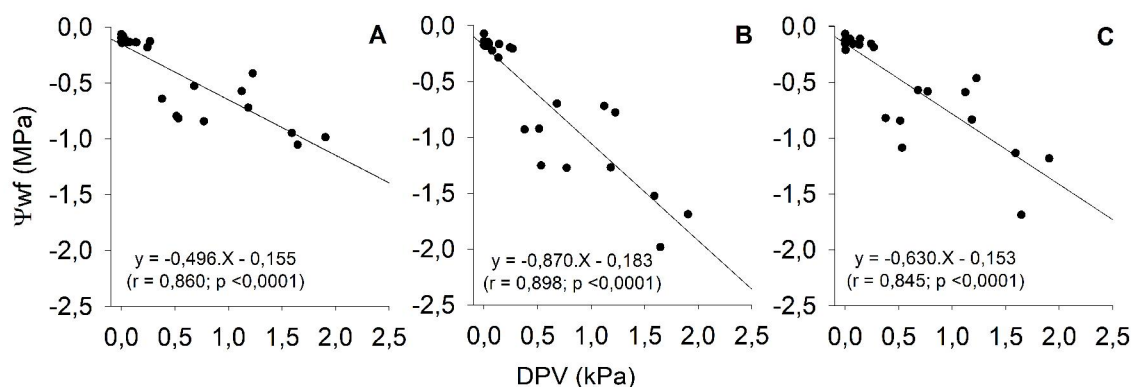


Figura 26. Correlação entre o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) e o déficit de pressão de vapor mínimo (DPV) obtidos de madrugada e ao meio-dia para o *E. grandis* (A), o *E. urophylla* (B) e o *E. camaldulensis* (C).

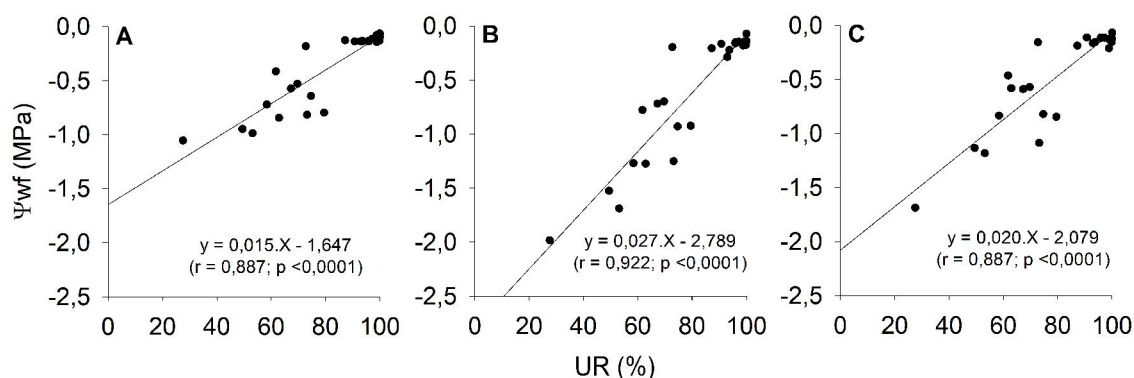


Figura 27. Correlação entre o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) e a umidade relativa (UR) obtidos de madrugada e ao meio-dia para o *E. grandis* (A), o *E. urophylla* (B) e o *E. camaldulensis* (C).

O Ψ_{wf} é um indicador do estado hídrico da planta, e a manutenção de altos valores de Ψ_{wf} está associada com mecanismos de fuga à desidratação (REDDY, 2019), e não como um mecanismo de tolerância propriamente dito. Isto porque espécies menos tolerantes ao estresse hídrico precisam de grandes quantidades de água para manter seus processos vitais em perfeito funcionamento. Espécies que conseguem sobreviver com potenciais hídricos menores são mais resilientes à diminuição da disponibilidade hídrica. Neste o *E. urophylla* apresentou um comportamento tipicamente associado às espécies mais tolerantes ao estresse hídrico.

4.5. Umidade do solo

A capacidade que as árvores tem de extrair água do solo de camadas muito profundas e continuar produzindo biomassa, mesmo em períodos menos favoráveis para o seu desenvolvimento (NARAIN et al., 1998), foi descrito por Christina et al. (2017) como um mecanismo de fuga à seca, que consiste no crescimento em profundidade de raízes no primeiro estágio de crescimento, antes do fechamento de copa, mesmo que haja água suficiente nas camadas superficiais para atender a demanda da planta. Elas fazem isso para se prepararem para uma eventual condição durante o ano com disponibilidade hídrica reduzida. No entanto, eles destacaram que no segundo estágio de desenvolvimento do povoamento, após o fechamento de copa, a quantidade de água transpirada pelas plantas depende majoritariamente da chuva. Amazonas et al. (2018) ressaltaram, portanto, a importância da água presente nas camadas superficiais do solo para as espécies de rápido crescimento, especialmente as do gênero *Eucalyptus*, principalmente a partir dos três anos de idade até o final da rotação de cultivo. Assim, com base na dedução desses pesquisadores, apesar de não ter sido monitorada a umidade do solo abaixo de 1,60 m de profundidade, os dados deste estudo possibilitaram uma boa interpretação do uso da água do solo pelas espécies estudadas.

A umidade do solo até 1,60 m de profundidade foi variável ao longo dos 14 meses de avaliação, com quedas mais acentuadas entre junho e julho de 2018 e no mês de janeiro de 2019 (Figuras 28 e 29). O *E. urophylla* apresentou maior umidade do solo na camada mais superficial em 17 das 24 avaliações, mesmo tendo interceptado mais precipitação pluvial do que as outras duas espécies (Figura 28). Isto se deve a menor taxa transpiratória verificada para esta espécie (Figura 21). Entre 9 de janeiro e 24 de janeiro de 2019 houve queda acentuada no teor de umidade no solo, com o *E. grandis* apresentando redução abrupta na camada de 30-160 cm, em comparação com *E. urophylla* e *E. camaldulensis*. Neste período a PT foi de 23 mm, e estas três espécies transpiraram mais do que a quantidade de chuva. Assim, utilizaram ainda mais recursos hídricos adicionais do solo. Como o *E. grandis* transpirou 69 mm, 44% a mais que o *E. urophylla* (39 mm) e 36% a mais que o *E. camaldulensis* (44 mm), este comportamento pode explicar a queda observada neste período.

O solo sob o plantio com o *E. brassiana* foi o que apresentou maior umidade do solo na camada superficial (0 - 30 cm) em todas as avaliações (Figura 29). Na camada de 30 - 160 cm, nos povoamentos com *E. brassiana* e *C. citriodora* a umidade foi maior em todas as datas de medição. O *C. citriodora* apresentou maior umidade em 14 das 24 avaliações e, o *E. cloeziana* apresentou a

menor umidade em todas as medições. A transpiração não foi medida para estas três espécies, mas é provável que o *E. cloeziana* transpire muito mais do que as outras duas, por isso apresenta menor teor de umidade no solo.

Esperava-se que as espécies mais tolerantes ao déficit hídrico (*E. brassiana*, *E. camaldulensis* e *C. citriodora*) apresentassem maior teor de umidade no solo. Isto foi verdadeiro para o *E. brassiana* e o *C. citriodora*. Estas duas espécies apresentaram maior umidade no solo do que todas as outras e em todas as datas de medição. Aliado às suas baixas taxas de interceptação de precipitação pluvial, é provável que estas espécies transpirem menos e, por isso, a maior umidade no solo. Isto não se aplicou ao *E. camaldulensis*. Esta espécie é capaz de buscar água em camadas profundas do solo em condições de déficit hídrico e, durante períodos de aumento de disponibilidade hídrica, aloca fotoassimilados para a síntese de raízes grossas e finas na camada superficial do solo, de modo a maximizar o consumo de água (DOODY et al. 2015). Como no local deste estudo há baixa deficiência hídrica, e com base nos dados de transpiração desta espécie, pode-se inferir que o *E. camaldulensis* não apresentou maior teor de umidade no solo por causa do seu consumo de água.

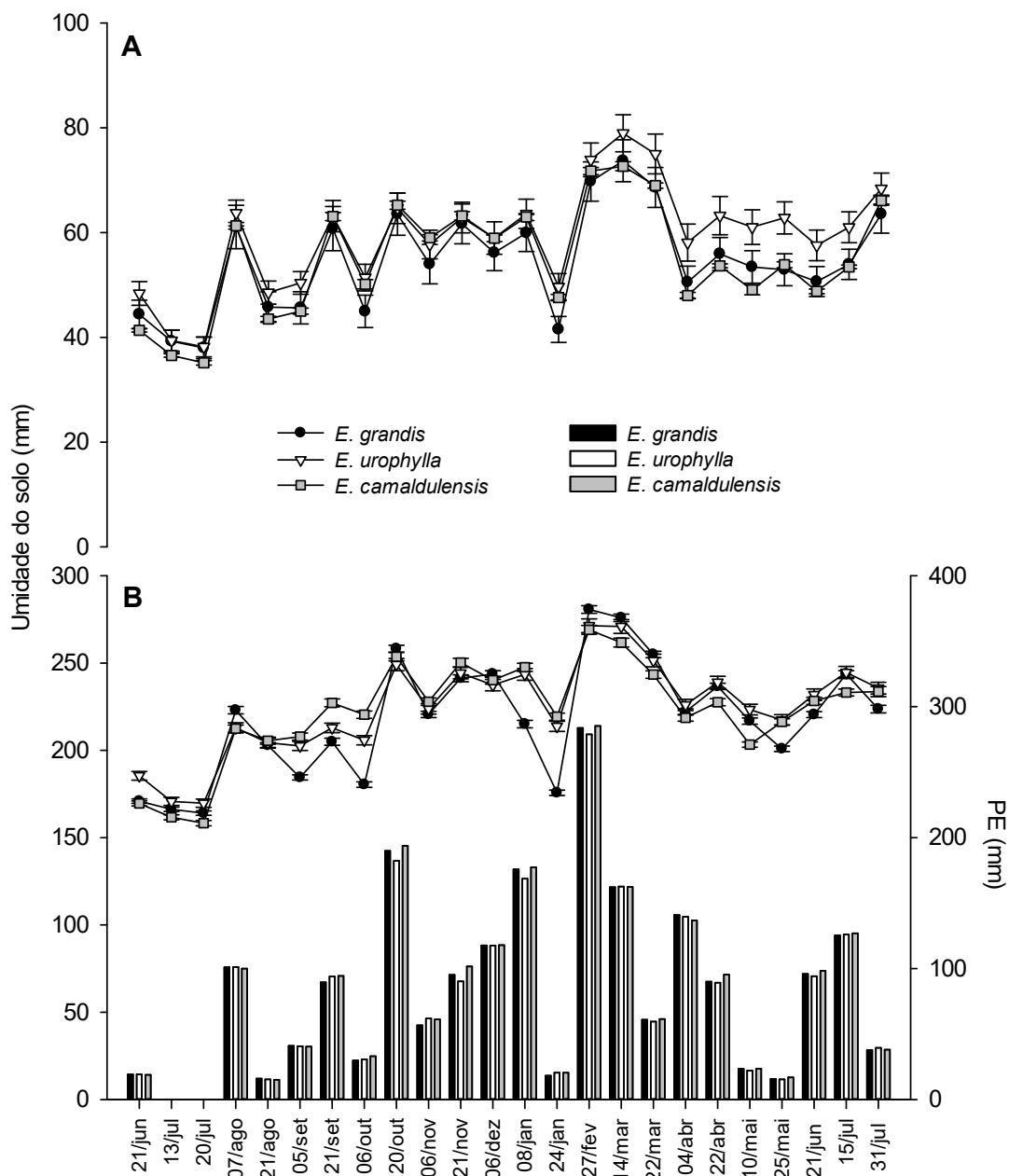


Figura 28. Umidade do solo nas camadas de 0 - 30 cm (A) e 30 - 160 cm (B) e precipitação pluvial efetiva (PE) para *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, entre 21/06/2018 e 31/07/2019. Barras na vertical junto aos pontos representam o erro padrão da média.

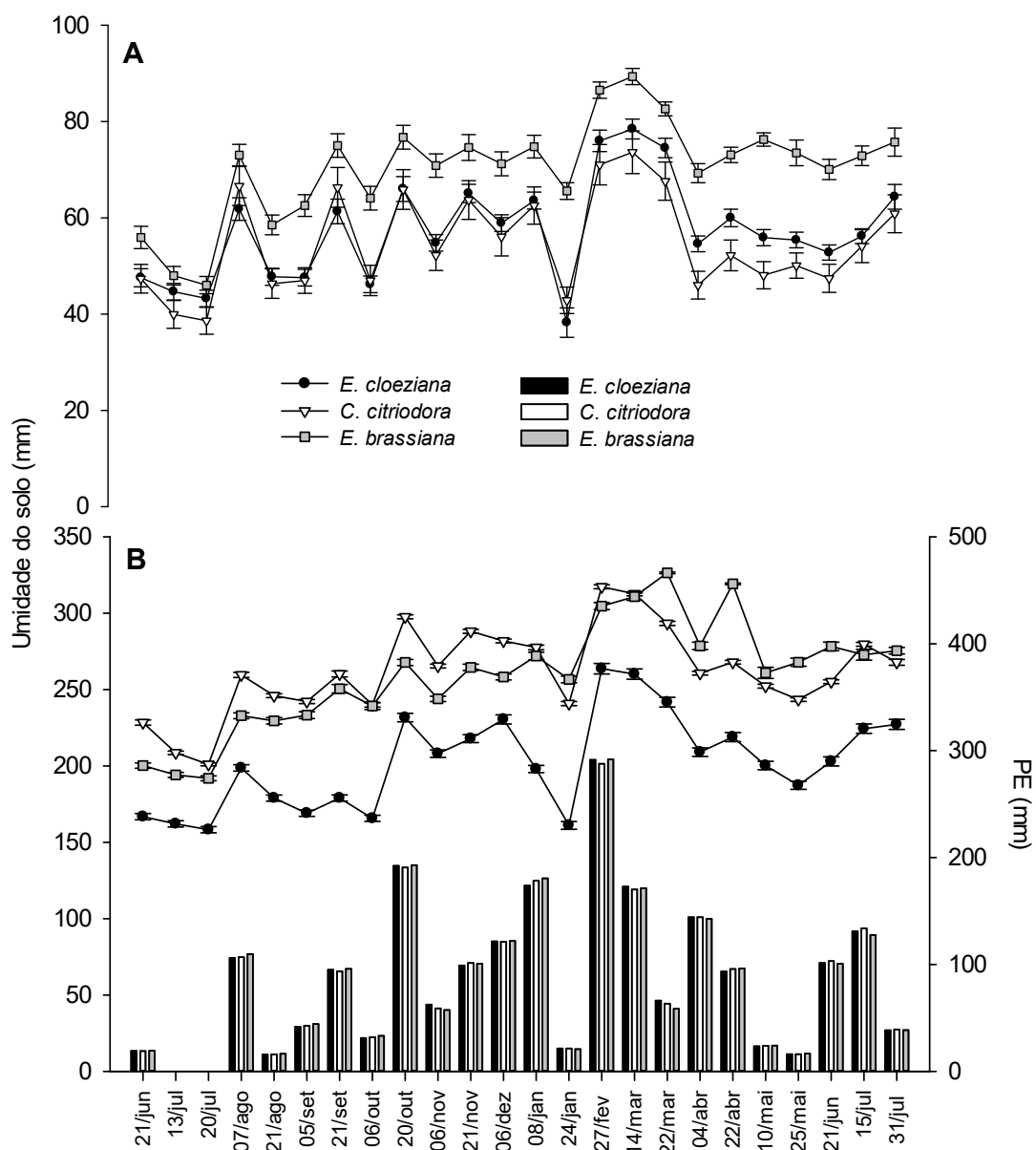


Figura 29. Umidade do solo nas camadas de 0 - 30 cm (A) e 30 - 160 cm (B) e precipitação pluvial efetiva (PE) para *E. cloeziana*, *C. citriodora* e *E. brassiana*, entre 21/06/2018 e 31/07/2019. Barras na vertical junto aos pontos representam o erro padrão da média.

4.6. Balanço hídrico do sistema solo-planta

No balanço hídrico no sistema solo-planta para o *E. grandis* verificou-se ETR próxima da ETo, estimada pelo método de Penman-Monteith (Tabela 8). A drenagem profunda foi de 596 mm. Em dois períodos de avaliação, houve déficit hídrico, em um total de 9 mm.

O povoamento de *E. urophylla* foi o que apresentou menor perda total de água por evapotranspiração (ETR) (831 mm) e o que teve a maior drenagem profunda (1134 mm). Apresentou déficit hídrico de apenas 2 mm (Tabela 9).

O *E. camaldulensis* apresentou ETR de 920 mm. A DP foi de 1089 mm, superior ao valor calculado para o *E. grandis* e inferior ao do *E. urophylla*. Esta espécie foi a que apresentou maior déficit hídrico (67 mm) (Tabela 10). Amazonas et al. (2018) afirmaram que quanto mais as árvores transpiram, mais elas fazem uso da água disponível no solo e, como consequência, a quantidade de água que infiltra e que chega ao lençol freático diminui. Este comportamento corroborou o resultado encontrado para o *E. grandis* e o *E. camaldulensis*. Estas espécies foram as que mais transpiraram e as que apresentaram menor DP.

A percolação no solo a partir de 1,60 m de profundidade do solo foi maior para todos os tratamentos nas estações mais chuvosas do ano (verão-primavera). Reichert et al. (2017) também encontraram em seu estudo que a recarga do lençol freático foi maior nos meses mais chuvosos em duas bacias hidrográficas. Eles verificaram que a DP consistiu em 40% da PT para a bacia hidrográfica coberta do povoamentos florestais, composta, principalmente, por *E. saligna*. Neste estudo, a DP foi 30% da PT para o *E. grandis*, 57%, para o *E. urophylla*, e 55%, para o *E. camaldulensis*. Assim, o *E. grandis*, espécie menos tolerante ao déficit hídrico, perdeu 64% do volume total de chuva por evapotranspiração, ocasionando a menor recarga hídrica de camadas profundas entre essas espécies.

Tabela 8. Balanço hídrico no sistema solo-planta para o *E. grandis* no período entre 08/08/2018 e 31/07/2019.

Período	TM ¹	PT ²	Et ³	PI ⁴	PE ⁵	Δ ARM ⁶	Evaporação		T ⁷	ETR ⁸	ETo ⁹	DP ¹⁰	DEF ¹¹ (-)
							Copa	Solo					
	°C						mm						
8/08-21/08	15,9	17	1	15	16	35	1	0	37	38	43	14	0
22/05-5/09	17,5	44	2	39	41	18	3	1	40	44	44	18	0
6/09-21/09	17,7	96	4	86	90	-36	6	3	42	51	54	9	0
22/09-6/10	21,3	35	1	28	30	40	5	2	50	57	61	15	0
7/10-20/10	20,5	195	6	184	190	-96	5	2	36	43	48	55	0
21/10-6/11	19,7	66	3	54	57	47	9	4	52	65	66	48	0
7/11-20/11	20,9	102	4	91	95	-28	7	3	43	53	51	24	0
21/11-5/12	21,1	123	4	113	118	3	5	2	58	65	66	61	0
6/12-8/01	23,4	186	5	170	176	25	10	4	157	171	173	40	0
9/01-24/01	24,6	23	1	17	18	58	5	2	69	76	89	0	0
25/01-27/02	23,0	299	11	273	284	-133	15	6	119	140	151	49	0
28/02-14/03	22,2	173	5	157	162	37	11	4	41	56	56	153	0
15/03-22/03	21,8	67	2	59	61	-10	6	2	21	30	30	27	0
23/03-4/04	21,9	145	6	135	141	51	4	2	47	53	60	140	0
5/04-22/04	21,2	97	2	88	90	-20	7	3	49	58	58	19	0
23/04-10/05	21,5	24	1	23	23	22	1	0	53	54	55	0	8
11/05-25/05	18,4	19	0	15	16	16	4	1	28	33	34	0	1
26/05-21/06	18,5	104	3	93	96	-17	8	3	61	72	74	15	0
22/06-15/07	17,2	135	4	121	125	-27	10	4	55	69	70	39	0
16/07-31/07	17,2	40	1	37	38	11	2	1	44	46	46	4	0
Total		1991	68	1798	1866	-3	125	50	1102	1276	1328	596	9

¹TM = temperatura média; ²PT = precipitação pluvial total; ³Et = escoamento de água pelo tronco; ⁴PI = precipitação pluvial interna; ⁵PE = precipitação pluvial efetiva; ⁶ Δ ARM = variação do armazenamento de água no solo; ⁷T = transpiração; ⁸ETR = evapotranspiração real; ⁹ETo = evapotranspiração de referência; ¹⁰DP = drenagem profunda, considerando 1,60 m de profundidade; ¹¹DEF = déficit hídrico.

Tabela 9. Balanço hídrico no sistema solo-planta para o *E. urophylla* no período entre 08/08/2018 e 31/07/2019.

Período	TM ¹	PT ²	Et ³	PI ⁴	PE ⁵	ΔARM ⁶	Evaporação		T ⁷	ETR ⁸	ETo ⁹	DP ¹⁰	DEF ¹¹ (-)
							Copa	Solo					
							°C	mm					
8/08-21/08	15.9	17	1	15	15	24	2	1	20	22	43	19	0
22/05-5/09	17.5	44	1	40	41	0	4	1	22	27	44	18	0
6/09-21/09	17.7	96	3	91	94	-23	2	1	25	27	54	45	0
22/09-6/10	21.3	35	1	30	31	19	4	2	27	33	61	21	0
7/10-20/10	20.5	195	5	178	182	-57	13	5	22	40	48	99	0
21/10-6/11	19.7	66	1	61	62	32	4	2	29	34	66	64	0
7/11-20/11	20.9	102	3	87	90	-26	12	5	22	39	51	37	0
21/11-5/12	21.1	123	3	114	118	11	5	2	27	34	66	99	0
6/12-8/01	23.4	186	3	165	169	-11	17	7	71	96	173	80	0
9/01-24/01	24.6	23	0	20	21	44	3	1	39	43	89	24	0
25/01-27/02	23.0	299	7	272	279	-82	20	8	70	98	151	119	0
28/02-14/03	22.2	173	3	160	163	-5	10	4	24	39	56	130	0
15/03-22/03	21.8	67	1	58	60	23	7	3	13	23	30	67	0
23/03-4/04	21.9	145	3	137	140	42	6	2	26	34	60	154	0
5/04-22/04	21.2	97	2	87	89	-18	8	3	29	40	58	39	0
23/04-10/05	21.5	24	0	22	22	18	2	1	27	30	55	12	0
11/05-25/05	18.4	19	0	15	15	4	4	2	20	25	34	0	2
26/05-21/06	18.5	104	3	91	94	-9	10	4	47	61	74	34	0
22/06-15/07	17.2	135	4	122	126	-16	9	4	42	54	70	64	0
16/07-31/07	17.2	40	1	39	39	2	0	0	32	32	46	9	0
Total		1991	44	1805	1849	-27	142	57	633	831	1328	1134	2

¹TM = temperatura média; ²PT = precipitação pluvial total; ³Et = escoamento de água pelo tronco; ⁴PI = precipitação pluvial interna; ⁵PE = precipitação pluvial efetiva; ⁶ΔARM = variação do armazenamento de água no solo; ⁷T = transpiração; ⁸ETR = evapotranspiração real; ⁹ETo = evapotranspiração de referência; ¹⁰DP = drenagem profunda, considerando 1,60 m de profundidade; ¹¹DEF = déficit hídrico.

Tabela 10. Balanço hídrico no sistema solo-planta para o *E. camaldulensis* no período entre 08/08/2018 e 31/07/2019.

Período	TM ¹	PT ²	Et ³	PI ⁴	PE ⁵	Δ ARM ⁶	Evaporação		T ⁷	ETR ⁸	ETo ⁹	DP ¹⁰	DEF ¹¹ (-)
							Copa	Solo					
	°C						mm						
8/08-21/08	15.9	17	0	15	15	25	2	1	18	20	43	21	0
22/05-5/09	17.5	44	1	40	40	-4	4	2	18	23	44	17	0
6/09-21/09	17.7	96	2	92	94	-37	1	1	22	24	54	35	0
22/09-6/10	21.3	35	1	33	33	20	2	1	26	29	61	26	0
7/10-20/10	20.5	195	3	191	194	-48	2	1	22	24	48	123	0
21/10-6/11	19.7	66	1	60	61	32	5	2	32	39	66	59	0
7/11-20/11	20.9	102	2	99	102	-27	1	0	33	34	51	42	0
21/11-5/12	21.1	123	2	116	118	14	5	2	37	43	66	94	0
6/12-8/01	23.4	186	1	176	177	-11	9	4	83	96	173	79	0
9/01-24/01	24.6	23	0	20	20	44	3	1	44	48	89	19	0
25/01-27/02	23.0	299	3	283	285	-74	14	5	95	114	151	111	0
28/02-14/03	22.2	173	0	162	162	5	11	4	33	47	56	130	0
15/03-22/03	21.8	67	0	61	61	24	6	2	19	27	30	64	0
23/03-4/04	21.9	145	1	136	137	46	8	3	39	51	60	140	0
5/04-22/04	21.2	97	1	95	95	-13	1	1	48	50	58	34	0
23/04-10/05	21.5	24	0	23	24	4	1	0	44	45	55	0	17
11/05-25/05	18.4	19	0	17	17	5	2	1	30	33	34	0	9
26/05-21/06	18.5	104	1	97	98	-4	6	2	56	64	74	37	0
22/06-15/07	17.2	135	1	126	127	-13	8	3	51	63	70	59	0
16/07-31/07	17.2	40	0	38	38	-36	2	1	44	46	46	0	42
Total		1991	21	1879	1900	-49	91	36	793	920	1328	1089	68

¹TM = temperatura média; ²PT = precipitação pluvial total; ³Et = escoamento de água pelo tronco; ⁴PI = precipitação pluvial interna; ⁵PE = precipitação pluvial efetiva; ⁶ Δ ARM = variação do armazenamento de água no solo; ⁷T = transpiração; ⁸ETR = evapotranspiração real; ⁹ETo = evapotranspiração de referência; ¹⁰DP = drenagem profunda, considerando 1,60 m de profundidade; ¹¹DEF = déficit hídrico.

O método de Thornthwaite & Mather (1955) apresentou valores de componentes do balanço hídrico da mesma ordem de magnitude do balanço hídrico direto. As diferenças de valores são atribuídas à maior precisão de medição do método direto, porque os valores de evaporação e transpiração foram medidos diretamente nos povoamentos de eucalipto. Apenas, para o déficit hídrico, o método de Thornthwaite & Mather (1955) subestimou um pouco o valor. Por este método, houve déficit hídrico no local de estudo nos meses de fevereiro, abril, maio, junho e julho de 2018 e maio de 2019 (Figura 30). Apenas em julho de 2018 esse valor foi mais expressivo, chegando a 12 mm de déficit hídrico. Pelo método direto de medição do balanço hídrico (Tabelas 8, 9 e 10), para as três espécies, houve déficit hídrico em maio de 2019, mas também foi verificada deficiência hídrica em julho de 2019 para o *E. camaldulensis* (42 mm).

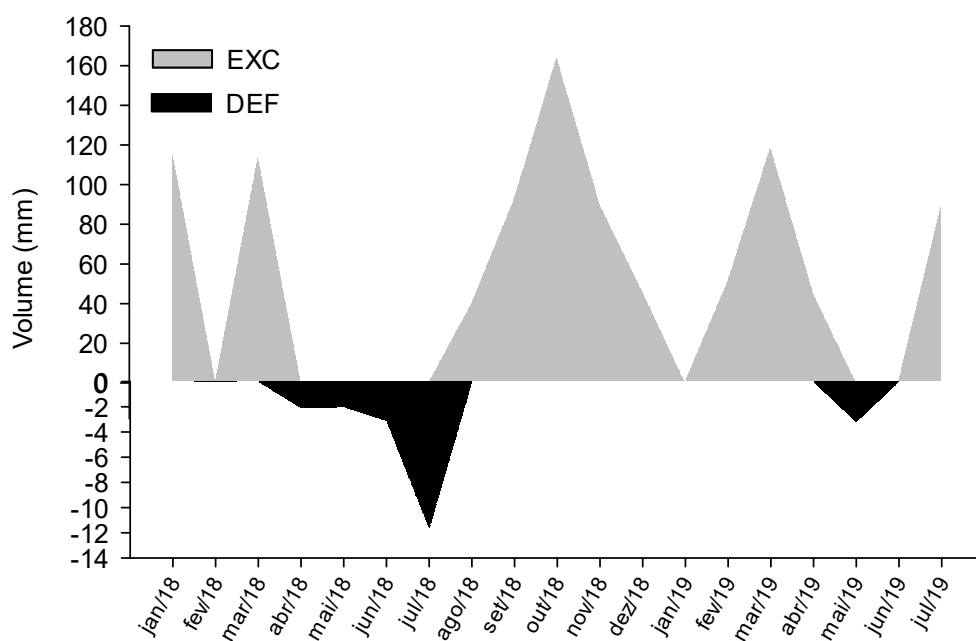


Figura 30. Balanço hídrico mensal calculado pelo método proposto por Thornthwaite & Mather (1955) durante 19 meses, sendo DEF – deficiência hídrica e EXC – excedente hídrico.

4.7. Eficiência de uso da água (EUA)

O *E. urophylla* apresentou maior EUA em relação ao *E. grandis* e ao *E. camaldulensis* em quase todo o período de avaliação (Figura 31). A menor EUA foi encontrada para o *E. camaldulensis*, a espécie que apresentou o menor incremento médio de DAP na maioria das datas de medição (Figura 10). Esta espécie alcançou a EUA máxima no período entre 27/02/2019 e 30/03/2019 ($1,38 \text{ g L}^{-1}$). O *E. grandis* e o *E. urophylla* foram mais eficientes no período entre 27/09/2018 e 24/10/2018, quando alcançaram um valor médio de $5,9 \text{ g L}^{-1}$ e $5,5 \text{ g L}^{-1}$, respectivamente. O *E. camaldulensis* teve menor EUA média em todos os períodos de avaliação. No fim do período, a EUA foi de $2,7 \text{ g L}^{-1}$ para o *E. grandis*, $3,5 \text{ g L}^{-1}$ para o *E. urophylla* e $1,0 \text{ g L}^{-1}$ para o *E. camaldulensis*.

Houve alta correlação entre o incremento de biomassa de lenho e a EUA para as três espécies (Figura 32). A correlação foi maior para o *E. grandis*, seguido do *E. camaldulensis* e *E. urophylla*.

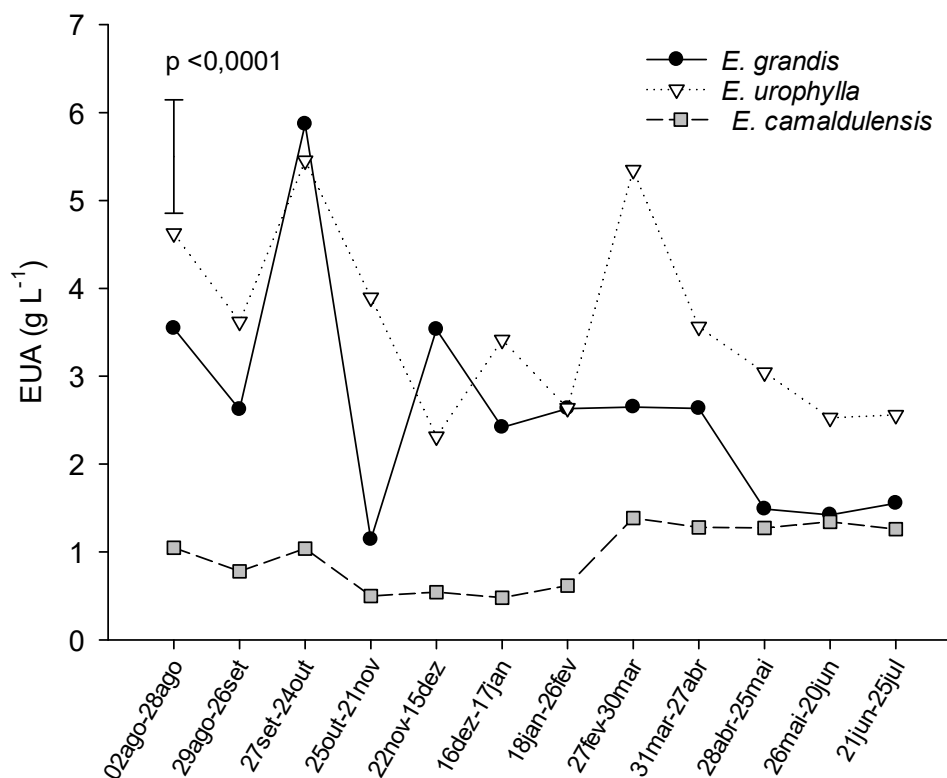


Figura 31. Eficiência de uso da água (EUA), representada pela razão entre o incremento de biomassa de lenho e a quantidade de água transpirada, entre agosto de 2018 e julho de 2019. A barra indica a diferença mínima significativa pelo teste LSD a 10% de probabilidade.

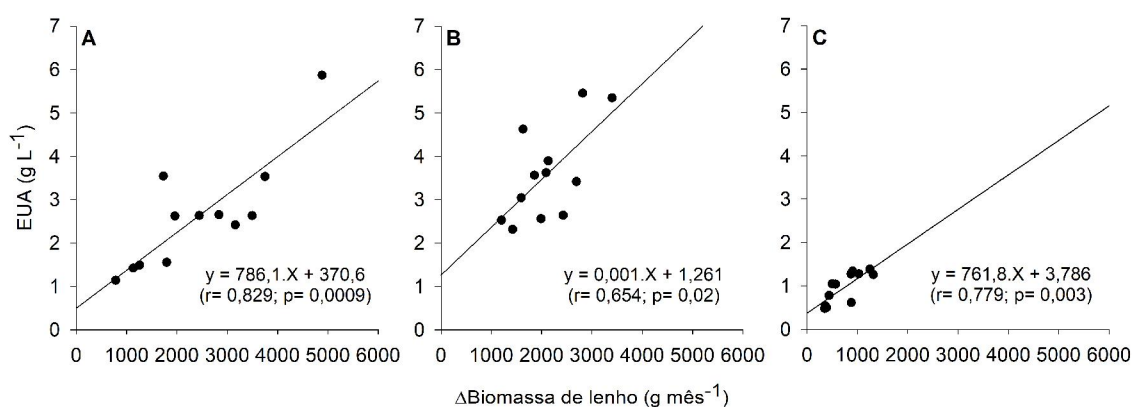


Figura 32. Coeficiente de correlação entre a eficiência de uso da água (EUA) e o incremento de biomassa de lenho para *E. grandis* (A), *E. urophylla* (B) e *E. camaldulensis*.

A EUA média foi maior para o *E. urophylla* e para o *E. grandis* no período mais chuvoso, 3,6 g L⁻¹ e 2,7 g L⁻¹, respectivamente (Figura 33). Houve aumento no período mais chuvoso de 23% na EUA para o *E. grandis* e 11% para o *E. urophylla*. O *E. camaldulensis* apresentou maior EUA no período menos chuvoso (1,1 g L⁻¹), porque esta espécie transpirou mais no período mais chuvoso (Figura 23), sem concomitante aumento da taxa de crescimento, ao contrário do que foi observado para o *E. grandis* e o *E. urophylla* (Figura 11). Stape et al. (2004) também verificaram aumento em 32% no crescimento de povoamentos clonais do *E. grandis* x *E. urophylla*, entre 3,4 e 5,4 anos de idade, em tratamentos que receberam suplementação de água via irrigação.

Hunter (2001) observou que a produtividade do *E. camaldulensis* e do *E. grandis* aos três anos de idade foi similar, quando os povoamentos foram fertilizados e irrigados. O rápido crescimento do *E. camaldulensis* é explicado pelo fato desta espécie apresentar parênquima paliçádico anfiestomático. No entanto, a maior limitação de fotossíntese nesta espécie está associada às mudanças na condutância do mesófilo (gm) (YANG et al., 2018). Assim, um baixo valor de gm pode ter limitado a produtividade fotossintética e a eficiência do uso da água, mesmo em condições favoráveis de crescimento, além de uma alta alocação de carbono no sistema radicular, como observado em outro estudo (em andamento) nos mesmos povoamentos de eucalipto.

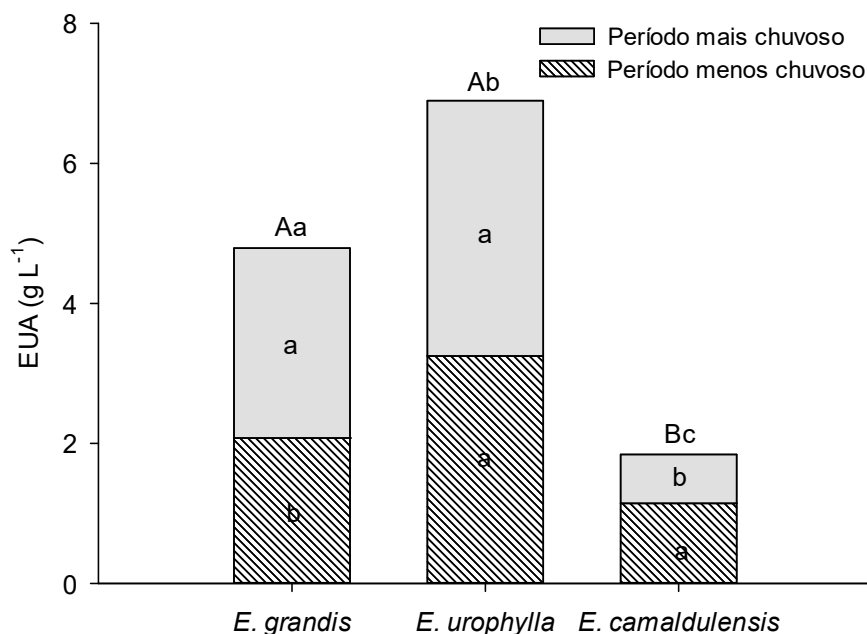


Figura 33. Eficiência de uso da água (biomassa de tronco / água transpirada) pelo *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis* no período menos chuvoso (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) e no período mais chuvoso (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março). As letras dentro das colunas comparam os dois períodos para cada espécie. As letras maiúsculas em cima das colunas representam o período mais chuvoso, e as minúsculas, o menos chuvoso, e comparam entre as espécies. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p=0,05$).

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível observar que o *E. camaldulensis*, bastante tolerante ao estresse hídrico, mostrou-se como uma espécie dispendiosa, com relação ao consumo de água, pois consumiu muita água e investiu pouco na produção de biomassa de lenho, em comparação com o *E. urophylla* e *E. grandis*. O sítio deste estudo apresenta altas taxas pluviométricas e boa distribuição de chuva ao longo do ano e, com isso, acredita-se que o *E. camaldulensis* não tenha feito grande uso dos mecanismos de tolerância à seca, já que não houve grandes períodos sem chuva durante os meses avaliação.

O *E. urophylla* foi a espécie mais eficiente no uso da água na maior parte dos períodos de avaliação, mostrando a sua importância na alocação de carbono e baixo impacto no balanço hídrico, especialmente quando comparada com as outras duas espécies.

O *E. grandis*, pouco tolerante ao déficit hídrico, foi a espécie mais produtiva, dentre as seis estudadas, e, assim como o *E. urophylla*, também foi eficiente no uso da água. No entanto, foi a espécie que apresentou maior perda de água por evapotranspiração.

A realização desses estudos em áreas com diferentes disponibilidades hídricas é essencial para o melhor entendimento do comportamento e impacto destas espécies no balanço hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação Entre Uso de Água em Plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.159-170, 2003.
- AMAZONAS, N. T.; FORRESTER, D. I.; OLIVEIRA, R. S.; BRANCALION, P. H. S. Combining Eucalyptus wood production with the recovery of native tree diversity in mixed plantings: Implications for water use and availability. **Forest Ecology and Management**, v. 418, p. 34–40, 2018.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. de.; ROCHA, P. A. B. Precipitação Efetiva e Interceptação das Chuvas por Floresta de Mata Atlântica em uma Microbacia Experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.257-262, 2003.
- ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. In: MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MASSETTO, G. C. **Anais do III Encontro Brasileiro de Silvicultura**. Curitiba: Embrapa, 2014.
- ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: Borém A (Ed.), **Biotecnologia Florestal**, Viçosa: Editora UFV, p 93-121, 2007.
- BACON, P.E.; STONE, C.; BINNS, D. L.; LESLIE, D. J.; EDWARDS, D. W. Relationships between water availability and *Eucalyptus camaldulensis* growth in a riparian forest. **Journal of Hydrology**, v. 150, p. 541-561, 1993.
- BARBIER, S.; BALANDIER, P.; GOSSELIN, F. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review. **Annals of Forest Science**, v. 66, n. 6, p. 602-602, 2009.
- BATTAGLIA, M.; CHERRY, M. L.; BEADLE, C. L.; SANDS, P. J.; HINGSTON, A. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature. **Tree Physiology**, v 18, p. 521-528, 1998.
- BLAKE, S. T. Four new species of *Eucalyptus*. **Austrobaileya**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 1977.
- BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, p. 2403-2417, 2003.
- BRUNNER I.; HERZOG C.; DAWES M. A.; AREND M.; SPERISEN C. How tree roots respond to drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 547, p. 1-16, 2015.
- BUTCHER, P. A.; McDONALD, M. W.; BELL, J. C. Congruence between environmental parameters, morphology and genetic structure in Australia's most widely distributed eucalypt, *Eucalyptus camaldulensis*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 5, p.189-210, 2009.
- CALDER, I. R. Water Use of Eucalypts -- a Review with Special Reference to South India. **Agricultural Water Management**. v. 11, p. 333-342, 1986.
- CARPANEZZI, A. A.; FERREIRA, C. A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I. S.; STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; MONTAGNER, L. H.; RAUEN, M. de J.; CARVALHO, P. E. R. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT; Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1986. 89p.

- CERMAK, J.; NADEZHINA, N. Instrumental approaches for studying tree-water relations along gradients of tree size and forest age. In: Meinzer FC, Lachenbruch B, Dawson TE. **Size- and age-related changes in tree structure and function**. New York: Springer, p.385-426, 2011.
- CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C.P.P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T. PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v.89, p. 907–916, 2002.
- CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; LAMBAIS, G.R.; LE MAIRE, G. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, v. 31, p. 509–519, 2017.
- CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; ANDRALE, J. L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M. Potential errors in measurement of non-uniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, v. 19 p. 681–687, 1999.
- COPPEN, J. J. W. **Eucalyptus: the Genus Eucalyptus**. Natural Resources Institute, University of Greenwich, UK. Taylor and Francis, London, 2002. 450p.
- CRAMER, V. A.; THORBURN, P. J.; FRASER, G. W. Transpiration and groundwater uptake from farm forest plots of *Casuarina glauca* and *Eucalyptus camaldulensis* in saline areas of southeast Queensland, Australia. **Agricultural Water Management**, v. 39, p. 187-204, 1999.
- CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, v. 14, p.2903-2920, 2000.
- DELGADO-ROJAS, J. S. **Avaliação do Uso do Fluxo de Seiva e da Variação do Diâmetro do Caule e de Ramos na Determinação das Condições Hídricas de Citros, como Base para o Manejo de Irrigação**. 2003. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- DELGADO-ROJAS, J. S. **Influência da adubação em plantação de *Eucalyptus grandis* sobre o consumo de água estimado por fluxo de seiva**. Local: Departamento de Ciência Florestal-Esalq/USP, 2008. 39p. Relatório Científico.
- DIGGLE, P. J. **Statistical analysis of spatial point patterns**. London: Academic Press, 2003. 272p.
- DOODY, T. M.; COLLOFF, M. J.; DAVIES, M.; KOUL, V.; BEYNON, R. G.; NAGLER, P. L. Quantifying water requirements of riparian river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) in the Murray–Darling Basin, Australia – implications for the management of environmental flows. **Ecohydrology**. v.8, p.1471–1487, 2015.
- DORONILA, A. I.; FORSTER, M. A. Performance measurement via sap flow monitoring of three *Eucalyptus* species for mine site and dryland salinity phytoremediation. **International Journal of Phytoremediation**, v.17, p.101-108, 2015.
- DUURSMA, R. A. et al. Contributions of climate, leaf area index and leaf physiology to variation in gross primary production of six coniferous forests across Europe: a model-based analysis. **Tree Physiology**, v. 29, p.621–639, 2009.

- DYE, P.; VILAKAZI, P.; GUSH, M.; NDLELA, R.; ROYAPPEN, M. Investigation of the feasibility of using trunk growth increments to estimate water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* plantations. WRC Report 809/1/01, **Water Research Commission**, Pretoria, South Africa, 2001.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2012. 412p.
- ENGEL, V.; JOBBÁGY, E. G.; STIEGLITZ, M.; WILLIAMS, M.; JACKSON, R. B. Hydrological consequences of *Eucalyptus* afforestation in the Argentine Pampas. **Water Resources Research**, v. 41, p. 1-15, 2005.
- FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; PAULA, T. R.; COUTINHO, R. P.; SILVA, R. L. Crescimento e Produção de Eucalipto na Região do Médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e Ambiente**, p.1-9, 2017.
- FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. – Piracicaba: IPEF, 2016. 448p.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATAPLAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2010. 200p.
- GENTIL, M. S. **Transpiração e Eficiência do Uso da Água em Árvores Clonais de Eucalyptus aos 4 Anos em Áreas com e sem Irrigação em Eunápolis, Bahia**. 2010. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- GIUNTI NETO, C. J.; HAKAMADA, R. E.; OTTO, M. S. G.; SILVA, S. R.; STAPE, J. L. Calibração de dois métodos indiretos para estimativa do índice de área foliar em plantações de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 919-930, dez. 2015.
- GOLLAN, T.; TURNER, N.C.; SCHULZE, E.D. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. **Oecologia**, v.65, p.356-362, 1985.
- GOLFARI, L. Comparação de locais entre Austrália e Brasil visando ao plantio de *Eucalyptus grandis*. Silvicultura. **Edição dos anais do Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento**, São Paulo, v.8, n.31, p.406-409, 1983.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. de B.; LIMA, W. P. de; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest ecology and Management**, v.301, p.6-27, 2013.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests**, v.1, p.1-15, 2017.
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba IPEF. 2000. 427p.

- GONSAMO, A.; WALTER, J.-M.; CHEN, J. M.; PELLIKKA, P.; SCHLEPPI, P. A robust leaf area index algorithm accounting for the expected errors in gap fraction observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, p. 197-204, 2018.
- GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v.42, n.2, p.193-200, 1985.
- GRANIER, A.; HUC, R.; BARIGAH, S. T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.78, p. 19-29, 1996.
- HALL, R. L. Interception loss as a function of rainfall and forest types: stochastic modelling for tropical canopies revisited. **Journal of Hydrology**, v. 280, p.1-12, 2003.
- HATTON, T. J.; S. J. MOORE.; REECE, P. H. Estimating stand transpiration in a *Eucalyptus populnea* woodland with the heat pulse method: measurement errors and sampling strategies. **Tree Physiology**, v.15, p. 219-227, 1995.
- HERRERA, A.; BALLESTRINI, C.; URICH, R.; RENGIFO, E.; GONZÁLEZ, A.; Seasonal changes in photosynthesis and water-use efficiency of savanna species and eucalypts in Venezuela. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, n. 2, p. 149-158, 2013.
- HERRERA, A.; URICH, R.; RENGIFO, E.; BALLESTRINI, C.; GONZÁLEZ, A.; LEÓN, W. Transpiration in a eucalypt plantation and a savanna in Venezuela. **Trees**, v.26, n. 6, p. 1759-1769, 2012.
- HINGSTON, F. J., GALBRAITH, J. H.; DIMMOCK, G. M. Evaluating the effect of soils and climate on productivity of Eucalyptus globulus plantations on contrasting sites in south west of Western Australia. **Rural Industries Research and Development Corporation Final Report**, 1994. 52p.
- HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, v.144, p.189-199, 2001.
- IBGE. Área total existente em 31/12 dos efetivos da silvicultura, por espécie florestal. 2017. Disponível em <https://ibge.gov.br>, acesso em: 09/10/2018.
- JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J. Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow. **Ecoscience**, v.13, n.3, p.324-333, 2006.
- KLASSEN, W; LANKREIJER, H. J. M; VEEN, A. W. L. **Rainfall Interception Near a Forest Edge**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.185, n.1. p.349-361, 1996.
- KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. K.; RAJESH, N. Studies on water use of six tropical eucalypt species in Kerala. In book: **Recent Eucalypt Research in India**, Publisher: IFGTB, Editors: SK Bagchi, M Vargese, Siddappa, p. 94-115, 2002.
- KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. K. Water use by *Eucalyptus tereticornis* stands of differing density in southern India. **Tree Physiology**, v. 17, p. 195-203, 1997.
- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Acclimation and responses of woody plants to environmental stresses. **Botanical Review**, v. 68, n. 2, p. 270-334, 2002.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 550p.

- LEMCOFF, J. H.; GUARNASCHELLI, A. B.; GARAU, A. M.; PRYSTUPA, P. Elastic and osmotic adjustments in rooted cuttings of several clones of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. from southeastern Australia after a drought. **Flora**, v. 197, p. 134–142, 2002.
- LEVIA, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 274, p.1-29, 2003.
- LEVITT, L. **Responses of Plants to Environmental Stresses**. Academic Press, New York, 1972. 698p.
- LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, SP. 1986. 242p.
- LIMA, W. P. Interceptação da Chuva em Povoamentos de Eucalipto e Pinheiro. **IPEF**, n.13, p.75-90, 1976.
- LIMA, W. P.; FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, C. B.; VOIGTLAENDER, M. Assessing the hydrological effects of forest plantations in Brazil. In: BOON, P. J.; RAVEN, P. J. (Eds.), **River Conservation and Management**. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 57–66, 2012.
- LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.231-238, 2003.
- LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **IPEF**, n.24, p.43-46, 1983.
- LU, P.; URBAN, L; PING, Z. Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) Method for Measuring Sap Flow in Trees: Theory and Practice. **Acta Botanica Sinica**. v. 46, n. 6, p. 631-646, 2004.
- MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: A questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. Dissertação (Mestrado em História Social) – Programa de Pós-Graduação em História Social, Universidade de São Paulo, 2004, 332p.
- MARTORELL, S.; DIAZ-ESPEJO, A.; MEDRANO, H.; BALL, M. C.; B. CHOAT. Rapid hydraulic recovery in *Eucalyptus pauciflora* after drought: linkages between stem hydraulics and leaf gas exchange. **Plant, Cell and Environment**, v. 37, p. 617–626, 2014.
- MEDEIROS, A. T. **Estimativa de evapotranspiração de referência a partir de PenmanMonteith, de medidas lisimétricas e equações empíricas em Paraipaba, CE**. 2002. 120f. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- MIDGLEY, S. J.; ELDRIDGE, K. G.; DORAN, J. C. Genetic resources of *Eucalyptus camaldulensis*. **The Commonwealth Forestry Review**, v. 68, n. 4, p. 295-308, 1989.
- MIELKE, M. S.; OLIVA, M. A.; BARROS, N. F. de.; PENCHEL, R. M.; MARTINEZ, C. A.; FONSECA, S. da.; ALMEIDA, A.C. de.; Leaf gas exchange in a clonal eucalypt plantation as related to soil moisture, leaf water potential and microclimate variables. **Trees**, v. 14, p. 263–270, 2000.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

- MORRIS, J.; MANN, L.; COLLOPY, J. Transpiration and canopy conductance in a eucalypt plantation using shallow saline groundwater. **Tree Physiology**, v. 18, p. 547-555, 1998.
- NARAIN, P.; SINGH, R. K.; SINDHWAL, N. S.; JOSHI, P. Water balance and water use efficiency of different land uses in western Himalayan valley region. **Agricultural Water Management**, v. 37, p. 225-240, 1998.
- NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; DART, P.; RYAN, P. Leaf water relations of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* in response to water deficit. **Tree Physiology**, v. 23, p. 335–343, 2003.
- OLIVAS, P. C.; OBERBAUER, S. F.; CLARK, D. B.; CLARK, D. A.; RYAN, M. G.; O'BRIEN, J. J.; ORDOÑEZ, H. Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 177, p.110–116, 2013.
- PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; MARINO, C. L. Melhoramento de espécies perenes para condições de estresses abióticos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Eds.), **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde de Rio Branco: Suprema, p 227-250, 2011.
- REDDY, P. S. Breeding for Abiotic Stress Resistance in Sorghum. In Breeding Sorghum for Diverse End Uses. **Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition**. p 325-340, 2019.
- REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F.; PELÁEZ, J. J. Z.; LANZA, R.; MINELLA, J. P. G.; ARNOLD, J. G.; CAVALCANTE, R. B. L. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, p. 282–295, 2017.
- RODY, Y. P.; RIBEIRO, A.; PEZZOPANE, J. E. M.; GLERIANI, J. M.; ALMEIDA, A. Q.; LEITA, F. P. Estimates of the leaf area index (LAI) using LAI-2000 and hemispherical photos in *Eucalyptus* plantations. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 925-934, out-dez., 2014.
- ROSADO, B. H. P.; OLIVEIRA, R. S.; JOLY, C. A.; AIDAR, M. P. M.; BURGESS, S. S. O. Diversity in nighttime transpiration behavior of woody species of the Atlantic Rain Forest, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 158–159, p.13–20, 2012.
- SALAMA, R. B.; BARTLE, G. A.; FARRINGTON, P. Water use of plantation *Eucalyptus camaldulensis* estimated by groundwater hydrograph separation techniques and heat pulse method. **Journal of Hydrology**, v. 156, p. 163-180, 1994.
- SAS INSTITUTE. **SAS software 9.3**. Statistical Analysis System Institute, 2012.
- SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada a engenharia florestal**. Santa Maria: CEPEF, 1997. 217p.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.
- SIVANANTHAWERL, T.; MITLÖHNER, R. Plant Water Relations as Indicators for *Eucalyptus* spp. Selection for New Planting Sites in Nuwara Eliya Division of Sri Lanka. **Ceylon Journal of Science (Biological Sciences)**, v. 31, p.1-11, 2003.
- SHINZATO, E. T.; KELLY CRISTINA TONELLO, K. C; ESTHEVAN AUGUSTO GOES GASPAROTO, E. A. G; VALENTE, R. O. A. Escoamento pelo Tronco em Diferentes Povoamentos Florestais na

- Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, dez. 2011.
- SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 253, p.130-147, 2001.
- SOUSA, J. S. I. **Enciclopédia Agrícola Brasileira**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. Vol. 3 E-H. 510p.
- SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E. Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus spp*) no Estado do Tocantins. In: **9º Seminário de Iniciação Científica da UFT**, p. 1-5, 2013.
- SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; LIMA, R. M. B. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, n. 65, p.95-101, 2004.
- SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.4, p.751-758, 2009.
- STAPE, J. L; BINKLEY, D; RYAN, M. G; GOMES, A do. N. Water use, water limitation, and water use efficiency in a Eucalyptus plantation. **BOSQUE**, v. 25, n. 2, p 35-41, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.
- TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. **Balanco Hídrico**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2005. 12p.
- TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. **Frontiers in Physiology**, v. 3, n. 347, p. 1-26, 2012.
- TURNBULL, J. W. **Geographic variations in *Eucalyptus cloeziana***. Thesis, Australia National University, 1979. 502p.
- VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v.45, p. 523–539, 2006.
- WHITE, D. A.; TURNER, N. C.; GALBRAITH, J. H. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. **Tree Physiology**, v. 20, p.1157-1165, 2000.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L.; Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**. v.193, p. 113–40, 2004.
- YANG, B.; LEE, D. K.; HEO, H. K.; BIGING, G. The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. **Landscape and Ecological Engineering**. v.15, p. 289–296, 2019.
- YANG, Y-J.; TONG, Y-G.; YU, G-Y.; ZHANG, S-B.; HUANG, W. Photosynthetic characteristics explain the high growth rate for *Eucalyptus camaldulensis*: Implications for breeding strategy. **Industrial Crops & Products**. v. 124, p. 186–191, 2018.

- ZANTEN, M van.; PONS, T. L. , JANSSEN, J. A. M.; VOESENEK, L. A. C. J.; PEETERS, A. J. M. On the Relevance and Control of Leaf Angle. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 29, n. 5, p.300-316, 2010.
- ZHANG, J.; HAN, D.; SONG, Y.; DAI, Q. Study on the effect of rainfall spatial variability on runoff modeling. **Journal of Hydroinformatics**, v. 20, n. 3, p. 577–587, 2018.
- ZHANG, Y.; WANG, X.; HU, R.; PAN, Y. Stemflow Volume per Unit Rainfall as a Good Variable to Determine the Relationship Between Stemflow and Morphological Metrics of Shrubs. **Journal of Arid Environments**, v. 141, p.1-6, 2017.
- ZHANG, Z.; ZHAO, P.; MCCARTHY, H. R.; OUYANG, L.; NIU, J.; ZHU, L.; NI, G.; HUANG, Y. Hydraulic Balance of a *Eucalyptus urophylla* Plantation in Response to Periodic Drought in Low Subtropical China. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 1346, p. 1-12, 2016.
- ZOHAR, Y.; SCHILLER, G. Growth and water use by selected seed sources of *Eucalyptus* under high water table and saline conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 69, p. 265-277, 1998.