



Silvicultura no Semiárido brasileiro: crescimento e produtividade de espécies florestais sob diferentes regimes de irrigação

Ana Karla Vieira da SILVA ¹, Márcia Ellen Chagas dos Santos COUTO ^{*1}, João Alencar de SOUSA ²,
Diva CORREIA ², Alisson Moura SANTOS ³, Allyson Rocha ALVES ¹,
Francisco RODOLFO JUNIOR ⁴, Fernando RUSCH ⁵, Mário Vanoli SCATOLINO ⁶,
Adriano Reis Prazeres MASCARENHAS ⁷, Alexandre Santos PIMENTA ⁸, Rafael Rodolfo de MELO ¹

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil.

² Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, Brasil.

³ Embrapa Florestas, Colombo, PR, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil.

⁵ Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, Brasil.

⁶ Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil.

⁷ Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil.

⁸ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, RN, Brasil.

*E-mail: ellencts51@gmail.com

Submetido em: 18/12/2025; Aceito em: 07/07/2026; Publicado em: 05/08/2026.

RESUMO: É possível desenvolver a silvicultura no semiárido brasileiro? Essa foi a questão que motivou esta pesquisa. A demanda global por madeira intensificou-se nas últimas décadas. Portanto, é necessário atender às demandas regionais e estimular o aumento da produtividade dos plantios florestais em regiões onde a silvicultura ainda não está consolidada. Este estudo avaliou a produtividade de espécies florestais nativas e exóticas, e de clones de *Eucalyptus*, sob diferentes regimes de irrigação no Semiárido brasileiro. O estudo foi conduzido em um plantio experimental na região semiárida do Estado do Ceará, entre 2011 e 2021. Em um plantio que inicialmente apresentava 38 espécies, entre nativas e exóticas, além de 7 clones de *Eucalyptus*, todos submetidos a dois regimes de irrigação distintos (irrigados por até 12 meses e por até 36 meses), foram selecionadas quatro espécies nativas, cinco espécies exóticas e cinco clones com potencial silvicultural para implantação na região. Os indivíduos deste grupo foram avaliados cerca de 11 anos após o plantio. Durante o período de análise, foram contabilizadas as mortalidades e obtidas as variáveis dendrométricas: altura total e altura comercial, diâmetro à altura do peito, áreas transversal e basal, volume do fuste, volume total, fator de forma e aumento médio anual no volume de madeira produzido. Concluiu-se que o cultivo comercial de espécies florestais na região semiárida brasileira é possível, desde que sejam selecionadas espécies adaptadas às condições edafoclimáticas locais. Estes resultados podem impulsionar o desenvolvimento da silvicultura na região semiárida do Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: plasticidade; manejo da irrigação; déficit hídrico; dendrometria.

Silviculture in the Brazilian Semiarid region: growth and productivity of forest species in different irrigation regimes

ABSTRACT: Is it possible to produce forestry in the Brazilian semi-arid region? That was the motivating question of this research. The global demand for wood has intensified in recent decades. Therefore, there is a need to meet regional demands and stimulate increased productivity of forest plantations in regions where forestry is not yet consolidated. This study evaluated the productivity of native and exotic forest species and *Eucalyptus* clones under different irrigation regimes in the Brazilian Semi-arid Region. The study was conducted in an experimental plantation between 2011 and 2021 on a plot in the Ceará State, in a semiarid region. A plantation that initially included 38 native and exotic species and seven *Eucalyptus* clones, all subjected to two different irrigation regimes (irrigated for up to 12 months and irrigated for up to 36 months), resulted in the selection of four native species, five exotic species, and five clones with silvicultural potential for implementation in the region. Individuals in this group were evaluated approximately 11 years after planting. During the analysis period, mortality was recorded, and the following dendrometric variables were obtained: total and commercial height, diameter at breast height, cross-sectional and basal areas, stem volume, total volume, shape factor, and average annual increase in timber production. Thus, it is concluded that commercial cultivation of forest species in the Brazilian semiarid region is possible, provided that species adapted to the respective edaphoclimatic conditions are selected.

Keywords: plasticity; irrigation management; water deficit; dendrometry.

1. INTRODUÇÃO

As plantações florestais comerciais têm sido tradicionalmente cultivadas em regiões com índices pluviométricos mais favoráveis, como o Sul e o Sudeste do Brasil. No entanto, na última década, o cultivo florestal tem migrado para novas fronteiras, especialmente no Centro-Oeste brasileiro (SOUSA et al., 2023). Além disso, há potencial de expansão destes plantios para o Nordeste, onde predomina o clima semiárido (FERNANDES et al., 2015). Esse cenário pode reduzir a escassez de matéria-prima para atender ao consumo de recursos florestais na região Nordeste. Além disso, a logística do fornecimento de matéria-prima de origem florestal no Nordeste brasileiro tem sido um gargalo para a produção industrial de diversos setores. Isso aumenta os custos de produção devido aos gastos com o transporte de matéria-prima proveniente de outras regiões, principalmente do Norte, Sudeste e Sul do país (CORREIA et al., 2017).

Na região semiárida nordestina, o polo moveleiro de Marco, no Estado do Ceará, tem importância significativa para a economia local. O estado do Ceará possui cerca de 750 indústrias moveleiras e destaca-se como o oitavo maior produtor de móveis do Brasil (CORREIA et al., 2017). A baixa precipitação e a irregularidade das chuvas na região semiárida são fatores climáticos que podem limitar a produtividade e a sobrevivência de espécies florestais a serem introduzidas, acarretando riscos ao sucesso econômico das atividades florestais. Em situações de baixa precipitação e irregularidade das chuvas, estratégias específicas podem ser desenvolvidas para enfrentar esses desafios, como técnicas avançadas de irrigação ou pesquisas com espécies resistentes à seca.

A identificação de regiões áridas e semiáridas com capacidade de sustentar plantios florestais é essencial para a condução de esforços e estudos voltados à restauração, ao aumento da produtividade e ao suprimento da demanda por matéria-prima, à maximização dos benefícios ambientais, sociais e econômicos oferecidos pelas florestais, além de minimizar o risco de escassez hídrica nessas áreas (GUIRADO et al., 2022).

O conhecimento das variáveis relacionadas ao crescimento e à produtividade de espécies florestais em plantios comerciais permite compreender as características produtivas desses plantios. Além disso, auxilia os produtores na tomada de decisões quanto à seleção de espécies (SOUSA et al., 2015). Esse tipo de informação também pode contribuir para a definição dos métodos de manejo a serem adotados, considerando a relação entre as espécies e as características edafoclimáticas da área de plantio (RIBEIRO et al., 2014).

No segmento de florestas plantadas, buscam-se espécies de alta produtividade e rápido crescimento para atender às demandas do mercado. Espécies nativas, já adaptadas às condições edafoclimáticas regionais, especialmente ao déficit hídrico (OSAKABE et al., 2014), também podem ser uma alternativa para o desenvolvimento da silvicultura no Semiárido brasileiro. Por outro lado, as plantações comerciais de *Eucalyptus* apresentam características desejáveis de produtividade, adaptabilidade e estabilidade. Isso só é possível devido ao longo período de pesquisa com essa espécie, que permitiu o desenvolvimento de programas de melhoramento genético para a obtenção de características tecnológicas e silviculturais, destinadas a diversos fins industriais em diferentes regiões do Brasil (CASTRO et al.,

2016; COSTA et al., 2020). Em outras palavras, o cultivo de *Eucalyptus* propiciou o surgimento de plantios eficientes e com redução de custos, promovendo a seleção de genótipos que apresentem melhores respostas às mudanças climáticas, considerando ganhos de produtividade e de eficiência no uso da água (FENG et al., 2018).

Em síntese, as plantações de espécies florestais em regiões com baixos índices pluviométricos tornam-se cada vez mais necessárias. Dessa forma, a sustentação e o aumento da produtividade em povoamentos florestais constituem um desafio iminente, fazendo-se necessário o desenvolvimento de estratégias que viabilizem a eficiência no uso dos recursos naturais, com ênfase no uso eficiente da água, aliado à seleção e combinação de genótipos e de ambientes com diferentes condições edafoclimáticas, bem como à adoção de práticas de manejo adequadas. Diante do exposto, pressupõe-se que algumas espécies florestais, quando implantadas na região semiárida, têm potencial para fornecer matéria-prima, reduzindo a dependência dessa região de outras regiões do País. Além disso, tais plantios podem reduzir a pressão antrópica sobre as áreas remanescentes de Caatinga.

Desta forma, o presente trabalho foi motivado pela seguinte hipótese: o semiárido brasileiro apresenta potencial para o desenvolvimento da silvicultura, desde que sejam selecionados materiais genéticos adaptados às suas condições edafoclimáticas e adotadas técnicas de manejo que favoreçam o desenvolvimento dessas espécies. Como objetivo, este estudo visou avaliar a produtividade de diferentes espécies florestais implantadas na região Semiárida, submetidas a diferentes regimes de irrigação, e identificar as que apresentam maior adaptabilidade e produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de plantio

O experimento foi conduzido em um plantio localizado entre os municípios de Acaraú e Marco, na região do baixo Acaraú, no Estado do Ceará (longitude: 03°06'02" S, latitude: 40°04'06" W e altitude de 56 m acima do nível do mar) (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo BSh (estepe de baixa latitude). A precipitação média anual histórica é de cerca de 800 mm, e a evapotranspiração, em torno de 1.600 mm, o que gera um déficit hídrico anual superior a 600 mm (Peel et al., 2007). A temperatura média anual histórica é de 28,1 °C, com mínima de 22,8 °C e máxima de 34,7 °C. A umidade relativa anual é aproximadamente de 70% (CARVALHO et al., 2020).

Durante o período em que o experimento foi realizado (de outubro de 2010 a novembro de 2021), registrou-se a ocorrência de seca prolongada nos anos subsequentes à sua implementação. Nesse período, a precipitação média anual ficou abaixo da média histórica calculada por Carvalho et al. (2020) para o período de 2012 a 2017 (Figuras 2a e 2b). A precipitação média em 2018 foi próxima, mas ainda assim, abaixo da média histórica. Silva et al. (2022), ao avaliar a variabilidade da precipitação na Bacia Hidrográfica do Acaraú ao longo de 15 anos (2005 a 2019), registraram precipitação média de 862 ± 412 mm. Isso indica que a área experimental foi submetida a um regime hídrico severo durante o desenvolvimento.

Apenas no período de 2011 e 2019 registrou-se precipitação acima da média histórica. Além da concentração de chuva em alguns meses do ano, de janeiro a maio, os períodos de precipitação identificados foram curtos. Por exemplo, em 2014 e 2016, foram registrados apenas 61 dias

de chuva (Figura 2b). A partir da análise da distribuição da precipitação durante o experimento, a alta variabilidade

hídrica interanual e mensal observada caracteriza a região Semiárida (SOUZA et al., 2014).

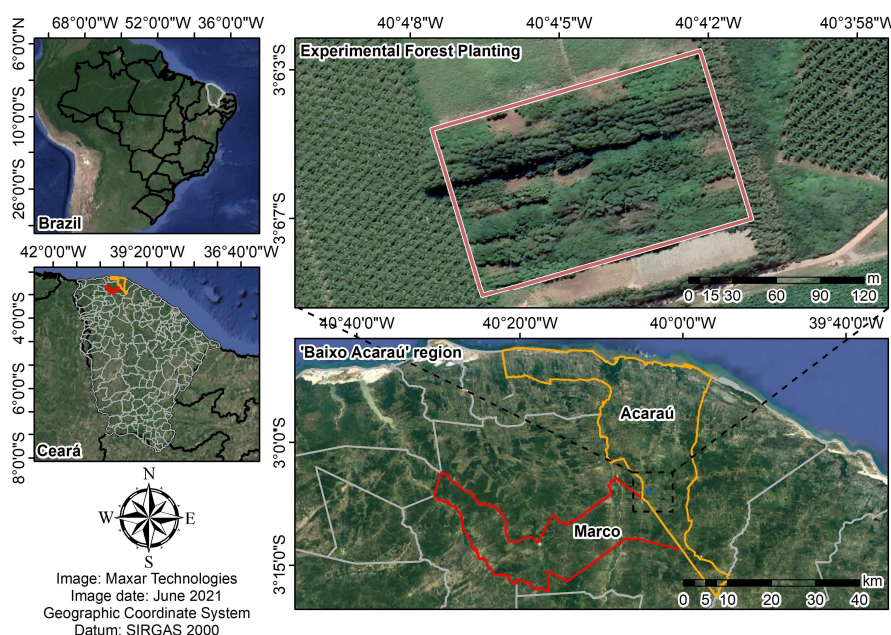


Figura 1. Localização do plantio experimental de espécies florestais entre os municípios de Acaraú e Marco, no Ceará, Brasil.

Figure 1. Location of the experimental plantation of forest species between the municipalities of Acaraú and Marco, Ceará State, Brazil.

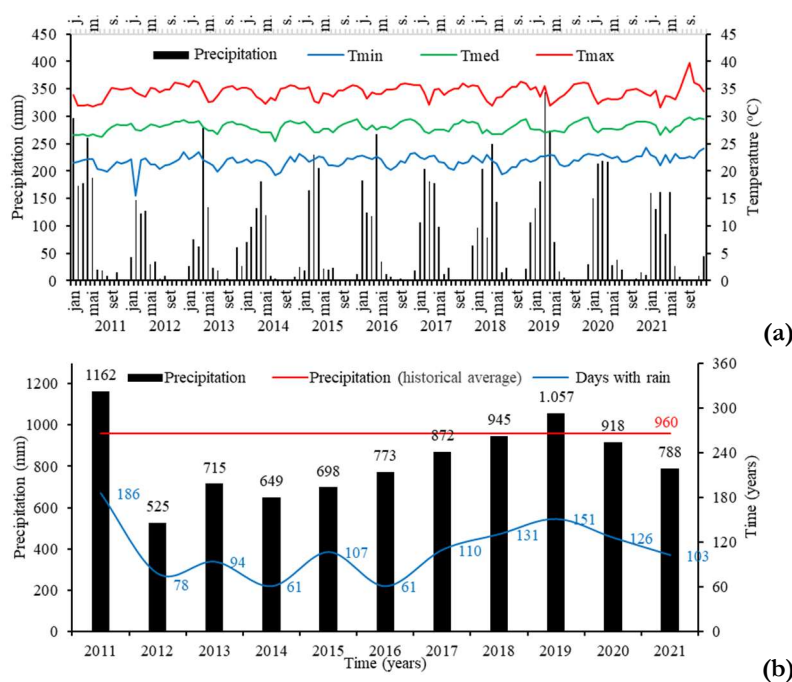


Figura 2. Dados climáticos da região entre 2011 e 2021, período de desenvolvimento das espécies florestais: (a) variação mensal da temperatura (média, máxima e mínima) e da precipitação; (b) variação anual da precipitação, média histórica de precipitação e dias com chuva em cada ano. Fonte: INMET (2023); Agritempo (2023); Carvalho et al. (2020).

Figure 2. Climatic data for the study region from 2011 to 2021, corresponding to the growth period of the forest species: (a) monthly variation in temperature (mean, maximum, and minimum) and precipitation; (b) annual variation in precipitation, historical average precipitation, and number of rainy days in each year. Source: INMET (2023); Agritempo (2023); Carvalho et al. (2020).

O relevo é razoavelmente plano, com solos geralmente profundos, bem drenados, de textura média ou média/leve e muito permeáveis (CARVALHO et al., 2020; ANDRADE et al., 2018). O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico (SANTOS et al., 2018). A área experimental foi implementada entre outubro de 2010 e maio de 2012. Inicialmente, foram implementadas 38 espécies nativas e exóticas, além de 7 clones de *Eucalyptus*. Cada espécie/clone

foi plantada em três linhas, cada uma composta por 15 plantas, e o espaçamento adotado foi de 3 x 2 m. As primeiras e as terceiras linhas foram utilizadas como bordaduras. Após o plantio, todas as árvores foram submetidas a um sistema de irrigação complementar por 12 meses. Posteriormente, parte do experimento foi realizada sem irrigação, e a outra parte permaneceu com irrigação complementar em dias alternados até 36 meses após a implementação (Figura 3).

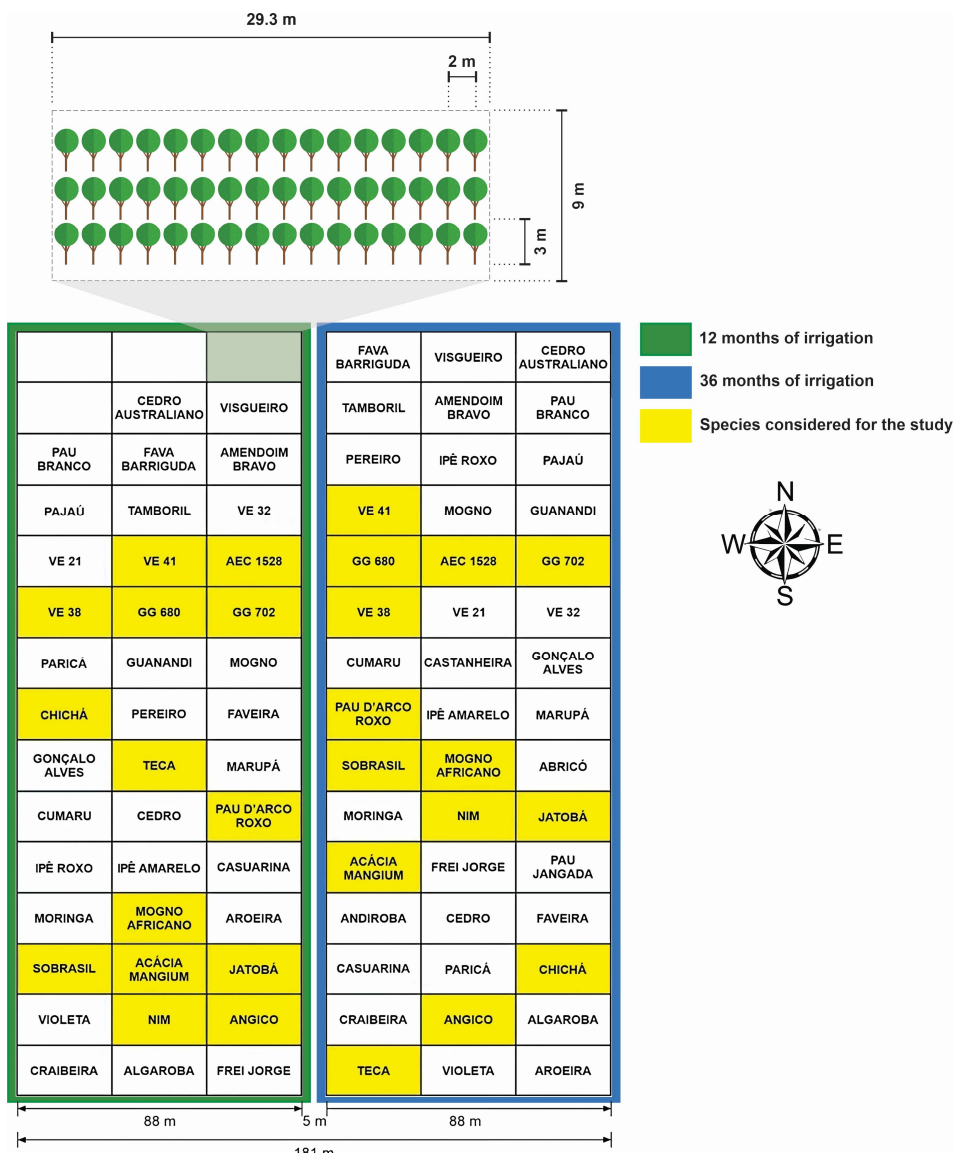


Figura 3. Área experimental de clones de *Eucalyptus*, espécies nativas e exóticas, com irrigação por até 12 meses e até 36 meses; *As espécies selecionadas para o estudo estão destacadas em amarelo. Fonte: Adaptado de Correia et al. (2017).
Figure 3. Experimental of *Eucalyptus* clones, native species, and exotic species subjected to irrigation for up to 12 months and up to 36 months. Source: Adapted from Correia et al. (2017). *The species selected for this study are highlighted in yellow.

As covas utilizadas no plantio tinham dimensões de 20 x 20 x 20 cm, com adubação de base composta por 120 g de NPK 10-28-20 e 30 g de FTE BR 12 para o plantio das mudas. À terra retirada na abertura das covas, foi adicionado fertilizante, formando uma mistura para o preenchimento e o fechamento das covas, nas quais as mudas foram posteriormente plantadas. As mudas foram replantadas em até 90 dias após a implantação das espécies.

A adubação foi aplicada em semicírculo, a uma profundidade de 5 a 10 cm em cada planta, incorporando 50 g de NPK 10-28-20 a cada 6 meses e até 36 meses após o plantio. O controle de plantas invasoras foi realizado por meio de capina manual nas linhas de plantio. O controle de formigas cortadeiras foi realizado, quando necessário, com a aplicação de formicidas granulados e em pó.

No quarto ano após a instalação do plantio experimental, foi realizado desbaste sistemático para clones de *Eucalyptus*, equivalente a 50% dos indivíduos; para espécies nativas e para

A. mangium, pertencente ao grupo das espécies exóticas, foi realizado desbaste seletivo, equivalente a 30% dos indivíduos. Este procedimento foi adotado para as espécies que apresentaram crescimento mais expressivo em altura e diâmetro ao longo do período, a fim de proporcionar-lhes maior espaçamento entre as árvores e maximizar a produção de madeira. As árvores das demais espécies plantadas não foram submetidas a desbaste.

2.2. Seleção de árvores

Foram selecionadas 14 espécies (quatro nativas, cinco exóticas e cinco clones de *Eucalyptus*) que apresentaram desempenho satisfatório em campo, considerando a dominância dos indivíduos quanto à altura, ao diâmetro, à fitossanidade e ao vigor. Seis árvores foram abatidas para cada espécie ou clone nas duas áreas submetidas a dois regimes de irrigação distintos (irrigação até 12 meses e até 36 meses após o plantio) (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies florestais selecionadas para avaliação do crescimento e da produtividade a partir do plantio experimental na região do Marco, no Ceará, Brasil.

Table 1. Forest species selected for growth and productivity assessment from the experimental plantation established in the Marco region, Ceará State, Brazil.

Nome vulgar	Nome científico	Categoria	Idade*
Angico	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Nativa	11a 1m
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Nativa	11a 1m
Pau d'arco roxo	<i>Handroanthus impertiginosus</i> (Mart. Ex DC) Mattos	Nativa	11a 1m
Sobrasil	<i>Colubrina glandulosa</i> var. <i>Reitzii</i>	Nativa	11a 1m
Acácia	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Exótica	10a 9m
Chichá-fedorento	<i>Sterculia foetida</i> L.	Exótica	10a 8m
Mogno-africano	<i>Khaya grandifoliola</i> (Welw) CDC	Exótica	10a 9m
Teca	<i>Tectona grandis</i> Linn. F	Exótica	10a 8m
Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	Exótica	10a 9m
AEC 1528	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>	<i>Eucalyptus</i>	10a 8m
GG 680	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>	<i>Eucalyptus</i>	10a 8m
GG 702	<i>E. urophylla</i>	<i>Eucalyptus</i>	10a 8m
VE 38	<i>E. urophylla</i> × <i>E. camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus</i>	10a 8m
VE 41	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>	<i>Eucalyptus</i>	10a 8m

*Idade em anos (a) e meses (m). A diferença de idade se deve à variação na data de implantação entre as diferentes parcelas da área experimental.

*Age in years (y) and months (m). The age difference is due to the variation in the establishment date among the different plots in the experimental area.

2.3. Avaliação do crescimento e da produção florestal

Após a seleção de árvores de diferentes espécies, foram estimadas as variáveis dendrométricas: altura total, altura comercial e diâmetro à altura do peito (DAP) de cada árvore, e a taxa de mortalidade (%), obtida pela diferença entre o número de árvores inicialmente implantadas por espécie e o número de indivíduos sobreviventes ao final do período avaliado. Inicialmente, o DAP foi medido com uma fita métrica. As alturas totais correspondem ao comprimento das árvores, da base até o topo da copa, medido com um hipsômetro. A altura comercial foi obtida da base da árvore até o início dos galhos com o mesmo equipamento. Seis árvores de cada espécie ou clone selecionado foram abatidas para a realização de cubagem rigorosa. O tronco de cada árvore foi dividido em seis seções, com diâmetros sucessivos medidos nas extremidades de cada uma.

O procedimento adotado foi o método de Smalian para estimar o volume médio produzido por árvore. O seccionamento do fuste foi realizado em seis partes, conforme as recomendações de Vital (1984). Os valores do diâmetro foram utilizados para determinar a área da seção transversal de cada tora e, juntamente com o comprimento de cada tora, permitiram calcular o volume. O volume exato do fuste foi obtido pela soma dos volumes das toras. O volume do cilindro de cada árvore foi determinado com base nos dados de DAP e de altura comercial. Estes foram utilizados para estimar o fator de forma. Foram estimados, ainda, a área basal e o incremento médio anual (IMA) para cada espécie/clone. As formas de determinação seguiram os procedimentos recomendados por Campos e Leite (2017).

2.4. Análise dos dados

A análise multivariada foi aplicada para avaliar a similaridade entre os diferentes tratamentos (espécie e época de irrigação). Os dados de entrada utilizados na análise foram: mortalidade, altura total, altura comercial, diâmetro à altura do peito, volume individual, área da seção transversal individual, volume, área basal e aumento médio anual da madeira produzida.

O procedimento adotado utilizou dendrogramas do método de Ward, com os quais foi possível identificar o nível de dissimilaridade entre os grupos por meio da avaliação da

distância euclidiana relativa. Adotou-se um nível de dissimilaridade de 20% para separar os grupos. Adicionalmente, foi aplicada a análise de componentes principais (ACP), que permite explicar a intercorrelação máxima entre as variáveis avaliadas e identificar qual delas contribui mais para a caracterização dendrométrica das espécies, visando à formação de grupos de indivíduos com características semelhantes e à classificação desses grupos com base nas similaridades entre seus atributos.

A ACP foi realizada com as variáveis dendrométricas: altura total (Ht), altura comercial (Hc), mortalidade (Mo), diâmetro à altura do peito (DAP), volume do tronco (Vf), volume por hectare (V), área da seção transversal (G), área basal por hectare (g), incremento médio anual (IMA) e fator de forma (ff), selecionadas para cada grupo avaliado (clones nativos, exóticos e de *Eucalyptus*). Esses componentes foram construídos a partir da correlação entre as variáveis, com base nos autovalores da matriz de covariância dos dados, utilizando o software estatístico Statistica. Foram considerados os componentes principais com autovalores superiores a 1 (KAISER, 1958).

As análises multivariadas foram utilizadas com finalidade exploratória e descritiva, visando à caracterização dos padrões de crescimento e produtividade observados entre os diferentes grupos avaliados.

3. RESULTADOS

Conforme destacado inicialmente na metodologia, o plantio experimental de espécies florestais foi iniciado com 38 espécies, entre nativas e exóticas, além de 7 clones de *Eucalyptus* (entre nativas, exóticas e clones). A partir da avaliação periódica deste plantio, passaram cerca de onze anos, apenas 14 mostraram-se viáveis, sendo quatro espécies nativas, cinco espécies exóticas e cinco clones de *Eucalyptus*. Assim, os resultados a seguir foram agrupados por categoria de cada grupo.

3.1. Espécies nativas

A partir da análise do crescimento médio de altura total (Ht), altura comercial (Hc) e diâmetro à altura do peito (DAP) das espécies nativas *A. colubrina*, *C. glandulosa*, *H. impertiginosus* e *H. courbaril*, observou-se baixa variabilidade no crescimento

de Ht entre as árvores em ambos os regimes de irrigação adotados. Os dados obtidos para as variáveis de crescimento

e de produtividade volumétrica das espécies nativas selecionadas são apresentados na Figura 4.

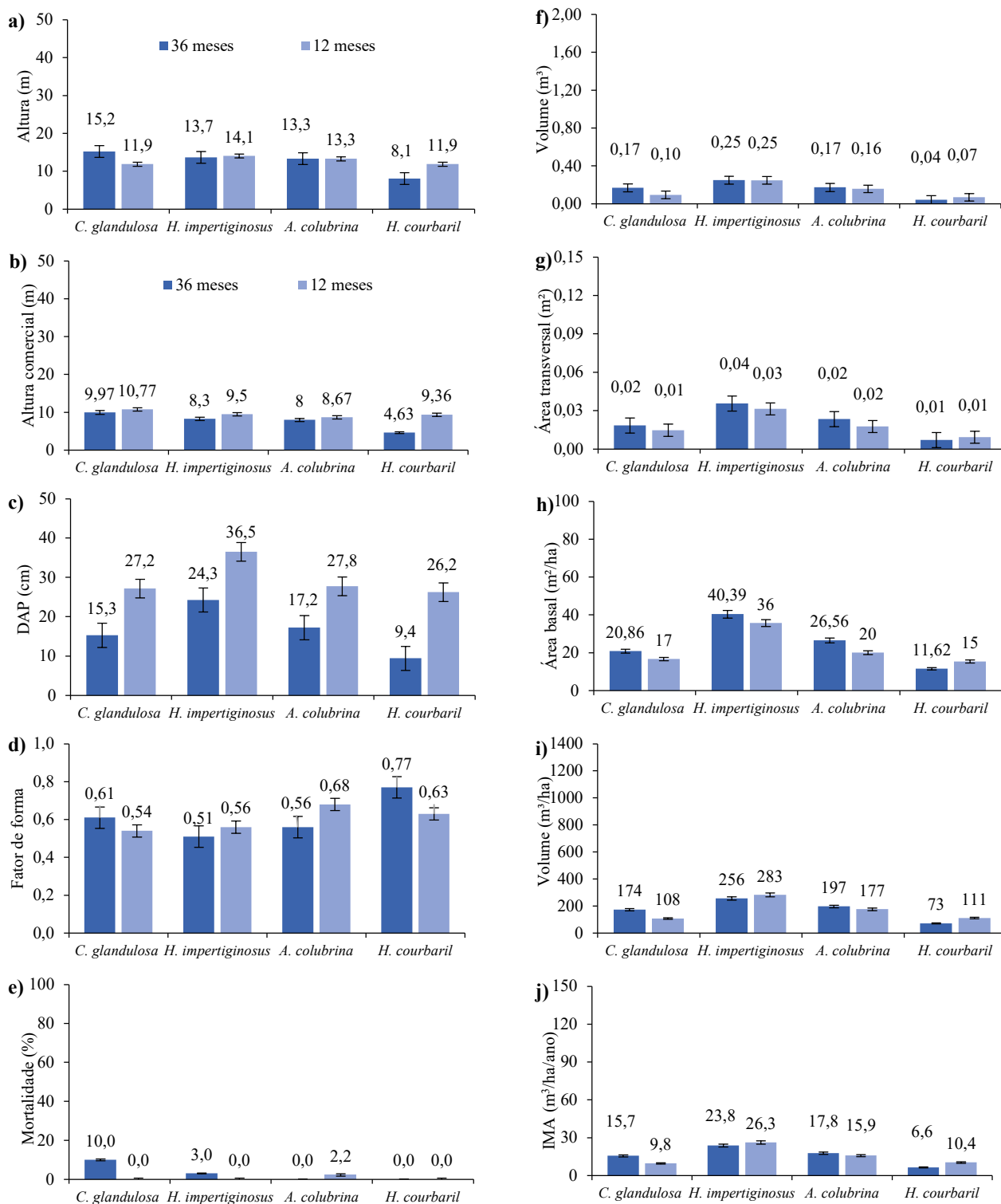


Figure 4. Variáveis dendrométricas de espécies nativas cultivadas sob dois regimes de irrigação diferentes (irrigada por 36 meses e irrigada por 12 meses após o plantio): a) altura total; b) altura comercial; c) diâmetro à altura do peito (DAP); d) fator de forma; e) mortalidade; f) volume individual; g) seção transversal; h) área basal; i) volume por hectare; j) incremento médio anual (IMA).

Figure 4. Dendrometric variables of native species cultivated under two irrigation regimes (irrigated for up to 36 months and irrigated for up to 12 months after planting): (a) total height; (b) merchantable height; (c) diameter at breast height (DBH); (d) form factor; (e) mortality; (f) individual volume; (g) cross-sectional area; (h) basal area; (i) volume per hectare; and (j) mean annual increment (MAI).

Para o Hc, destacam-se os maiores valores observados em *C. glandulosa*, *H. impertiginosus* e *H. courbaril* na área irrigada até 12 meses após o plantio, em relação às médias na área irrigada até 36 meses. As espécies *C. glandulosa* e *H. courbaril*

apresentaram maior proximidade entre os valores de Ht e Hc, sugerindo potencial para melhor aproveitamento do fuste, exceto em indivíduos de áreas irrigadas até 12 meses após o plantio. Em área irrigada por até 36 meses, as espécies

nativas, majoritariamente, apresentaram maior variação entre as médias de Ht e Hc.

Para *H. courbaril*, observaram-se valores menores de crescimento em altura, especialmente quando submetida ao regime de irrigação prolongado (36 meses após o plantio).

Os valores médios de DAP foram maiores em áreas irrigadas por até 12 meses, com valores semelhantes entre as espécies selecionadas. Essa diferença no crescimento em diâmetro, em relação à redução do período de irrigação, indica maior adaptabilidade das espécies a condições de oferta hídrica limitada, com destaque para a superioridade observada em *H. impertiginosus*.

O fator de forma (ff) apresentado pelas espécies nativas foi maior em *H. courbaril* quando submetida ao manejo de irrigação por até 36 meses, com valor médio de 0,77. Para as demais espécies, as médias de ff foram semelhantes, com o menor valor observado em *H. impertiginosus*.

As espécies nativas apresentaram baixa mortalidade em ambos os regimes de irrigação. A taxa de mortalidade de *C. glandulosa* foi de 10% em áreas irrigadas até 36 meses após o plantio, a maior média entre as espécies avaliadas. *H. impertiginosus* e *A. colubrina* apresentaram valores menores, de 3,0% e 2,2%, respectivamente, enquanto *H. courbaril* não apresentou mortalidade em nenhum dos períodos.

A espécie *H. courbaril* apresentou o menor valor de produtividade entre as espécies avaliadas, ao se considerar as variáveis Ht, Hc, g, e IMA, DAP e V, quando irrigada por mais tempo.

Em relação ao IMA em volume de madeira, o comportamento das espécies *A. colubrina*, *C. glandulosa*, *H. impertiginosus* e *H. courbaril* foi semelhante ao observado nas demais variáveis de quantificação da produtividade dos indivíduos analisados. Dentre as espécies selecionadas, *H. impertiginosus* e *A. colubrina* apresentaram valores superiores nas variáveis de crescimento estudadas, com destaque para as submetidas à irrigação por até 12 meses após o plantio. A influência do manejo da irrigação sobre o comportamento das espécies analisadas é mais claramente observada no dendrograma (Figura 5a). A espécie *C. glandulosa* apresentou maior dissimilaridade no comportamento quanto ao desenvolvimento e à produtividade em relação às demais espécies em ambos os períodos de irrigação.

Para as demais espécies, *H. courbaril*, *H. impertiginosus* e *A. colubrina*, considerando o nível de similaridade entre indivíduos da mesma espécie sob diferentes períodos de irrigação, verificou-se similaridade no comportamento, independentemente da duração do período inicial de irrigação aplicado após o plantio.

Com base na análise do efeito da duração da irrigação após o plantio no desenvolvimento e na produtividade de *H. impertiginosus* e *H. courbaril*, observou-se incremento quando submetidos à irrigação por até 12 meses, com menor variação na produtividade observada para os indivíduos submetidos à irrigação por até 36 meses após o plantio. Para *A. colubrina* e *C. glandulosa*, o impacto positivo do aumento da produtividade foi observado em indivíduos submetidos à irrigação por até 36 meses.

Para a análise de componentes principais das espécies nativas (Figura 5b), apenas os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) foram considerados, pois abrangiam informações suficientes no conjunto de variáveis originais de cada grupo. Os dois primeiros componentes principais explicaram 87,22% da variabilidade das variáveis avaliadas. O componente 1 explica 72,01% da variabilidade total dos

dados e apresenta correlação positiva entre as variáveis DAP, V, Vf, IMA, g e G. As variáveis Ht e Hc também se correlacionaram entre si; ou seja, à medida que a altura total aumenta, a altura comercial também aumenta. O segundo componente principal explicou 15,21% da variabilidade dos dados e apresentou correlações significativas com a mortalidade de indivíduos na área experimental.

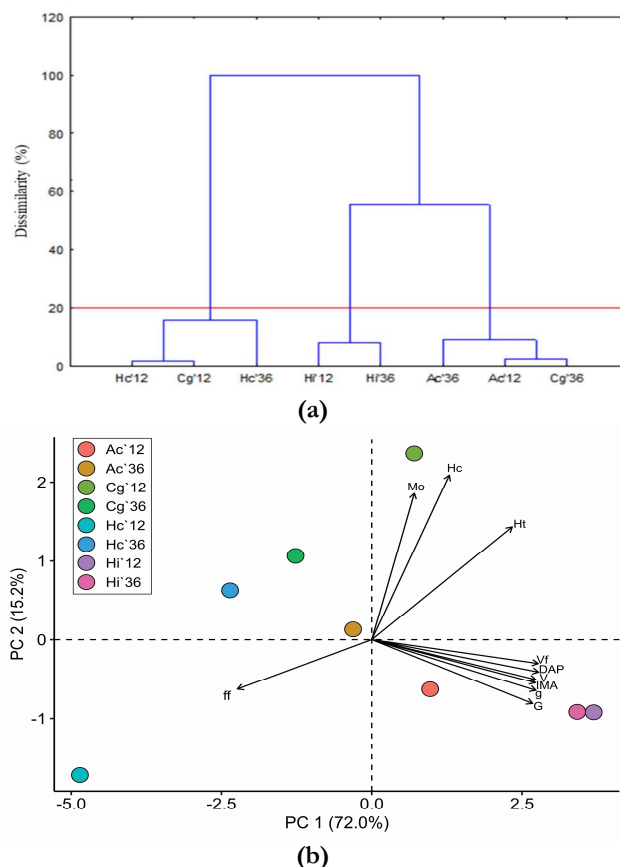


Figura 5. Dendrograma (a) e análise de componentes principais (b) da influência da irrigação no comportamento de quatro espécies nativas estabelecidas na região do Marco – CE, Brasil.

*Identificação das espécies avaliadas, representadas pelas letras Ac (*A. colubrina*), Cg (*C. glandulosa*), Hc (*H. courbaril*) e Hi (*H. impertiginosus*); **Os números 12 e 36 são equivalentes ao período em meses de irrigação após o plantio; ***Identificação das variáveis dendrométricas, representadas por letras Ht = altura total; Hc = altura comercial; DAP = diâmetro a altura do peito; ff = fator de forma; Mo = mortalidade; V = volume individual; G = seção transversal; g = área basal; Vf = volume por hectare; IMA = incremento médio anual.

Figure 5. Dendrogram (a) and principal component analysis (b) of the influence of irrigation on the performance of four native species established in the municipality of Marco, Ceará State, Brazil.

*Identification of the evaluated species, represented by the letters Ac (*A. colubrina*), Cg (*C. glandulosa*), Hc (*H. courbaril*), and Hi (*H. impertiginosus*); **The numbers 12 and 36 correspond to the irrigation period in months after planting; ***Identification of dendrometric variables, represented by letters: Ht = total height; Hc = commercial height; DBH = diameter at breast height; ff = form factor; Mo = mortality; V = individual volume; G = cross-sectional area; g = basal area; Vf = volume per hectare; MAI = mean annual increment.

Em relação à distribuição das espécies avaliadas no gráfico, a proximidade entre os indivíduos de *H. impertiginosus* nos dois períodos de irrigação inicial indica uma correlação entre os regimes de irrigação aplicados. A distância do eixo central apresentada por *H. impertiginosus* nos dois períodos de irrigação e por *C. glandulosa* e *H. courbaril* sob irrigação por até 36 meses revela a influência da espécie e da forma de manejo sobre o comportamento das variáveis em análise.

3.2. Espécies exóticas

Os valores obtidos para as variáveis de crescimento, altura total (Ht), altura comercial (Hc) e DAP foram superiores em *A. mangium* (Figura 6). As espécies *S. foetida*, *K.*

grandifoliola, *A. indica* e *T. grandis* apresentaram taxas médias de crescimento semelhantes em Ht e em DAP, embora inferiores às observadas em *A. mangium*.

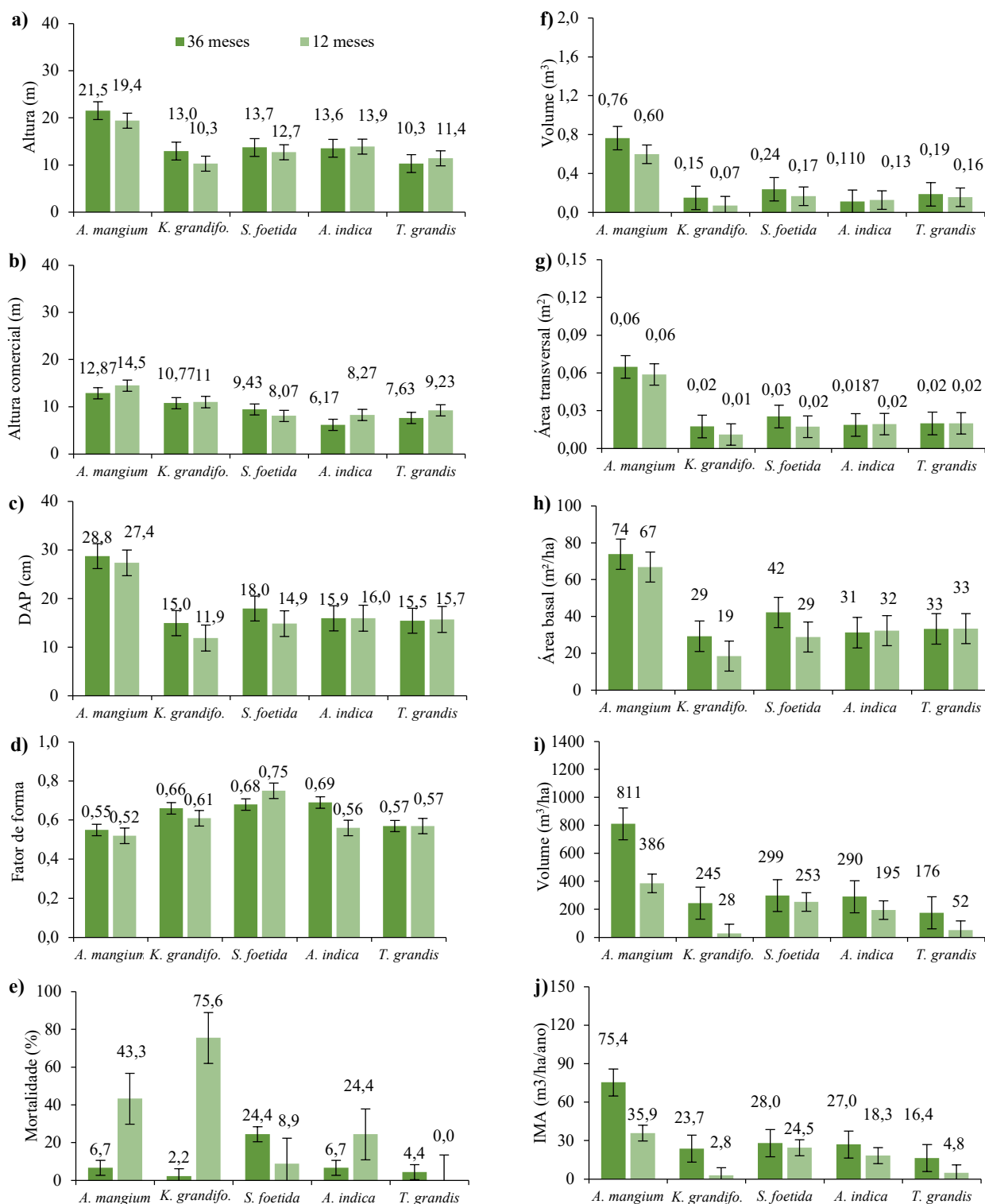


Figure 6. Variáveis dendrométricas de espécies exóticas cultivadas sob dois regimes de irrigação distintos (irrigadas por 36 meses e por 12 meses após o plantio): a) altura total; b) altura comercial; c) diâmetro à altura do peito (DAP); d) fator de forma; e) mortalidade; f) volume individual; g) seção transversal; h) área basal; i) volume por hectare; j) incremento médio anual (IMA).

Figure 6. Dendrometric variables of exotic species cultivated under two irrigation regimes (irrigated for up to 36 months and irrigated for up to 12 months after planting): (a) total height; (b) merchantable height; (c) diameter at breast height (DBH); (d) form factor; (e) mortality; (f) individual volume; (g) cross-sectional area; (h) basal area; (i) volume per hectare; and (j) mean annual increment (MAI).

A produtividade média, considerando Vf, Vt, g, G e IMA, foi superior em *A. mangium*, especialmente em áreas irrigadas até 36 meses após o plantio. As demais espécies apresentaram valores menores para essas variáveis, com destaque para os menores valores de IMA em *K. grandifoliola*, principalmente em áreas com irrigação iniciada até 12 meses após o plantio.

O fator de forma (ff) foi superior em *S. foetida*, seguido de *K. grandifoliola*, *T. grandis*, *A. indica* e *A. mangium*. Em relação à mortalidade, *K. grandifoliola* apresentou os maiores valores em áreas irrigadas até 12 meses após o plantio. *A. mangium* apresentou mortalidade mais acentuada sob irrigação inicial nos primeiros 12 meses, embora inferior à observada em *K. grandifoliola*. *S. foetida* e *A. indica* apresentaram menores taxas de mortalidade em comparação às demais espécies.

Compreende-se o efeito da irrigação no crescimento e na produtividade dos indivíduos por meio de análises de dendrograma e de componentes principais, apresentadas nas Figuras 7a e 7b.

A duração da irrigação afetou a espécie *A. mangium* de forma mais intensa, devido à maior dissimilaridade observada entre os períodos de irrigação. A influência do período de irrigação também foi observada em *K. grandifoliola* e *A. indica*, com níveis de dissimilaridade entre indivíduos da mesma espécie sob diferentes períodos de irrigação (Figura 7a).

A proximidade na distribuição dos pontos indica a correlação entre os comportamentos das espécies. A distância do eixo central apresentada por *A. mangium*, nos dois períodos de irrigação inicial aplicados, e por *K. grandifoliola*, com irrigação inicial até 12 meses, evidencia a influência mais significativa dessas espécies sobre o comportamento das variáveis destacadas.

Os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) foram considerados na ACP para as espécies exóticas, pois continham informações suficientes no conjunto de variáveis originais de cada grupo (Figura 7b).

No grupo de espécies exóticas, as variáveis de crescimento e produtividade avaliadas pertencem principalmente ao componente 1, exceto Mo e ff. Os dois componentes principais explicaram 88,00% da variabilidade das variáveis avaliadas. O componente 1 explica 72,03% da variabilidade total dos dados, enquanto o segundo componente principal explica 15,97%. Semelhantemente ao que ocorreu para as espécies do grupo nativo, pode-se inferir que os atributos DAP, Ht, Vf, V, IMA, g e G são os mais influentes, considerando o comprimento do vetor mais estendido e a correlação entre si, de acordo com a proximidade entre os vetores.

3.3. Clones de *Eucalyptus*

As médias encontradas para os clones de *Eucalyptus* analisados quanto a Ht, Hc e DAP apresentaram desempenho semelhante, com destaque para o clone VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*) (Figura 8).

Para ff, observou-se uma aproximação entre os valores médios. Vale destacar também a baixa variabilidade das médias comparadas entre os clones estudados, exceto o valor médio de ff observado para o clone GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) com irrigação inicial por até 12 meses, que foi relativamente superior às demais médias de ff.

A maior taxa de Mo foi observada para os clones GG 702 (*E. urophylla*), VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e AEC 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) quando submetidos ao regime de irrigação por até 12 meses após o plantio, enquanto o clone VE 38 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) apresentou maior taxa

de mortalidade em área irrigada por 36 meses após o plantio. O clone GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) não apresentou mortalidade sob nenhuma das condições de irrigação, demonstrando capacidade adaptativa à disponibilidade hídrica.

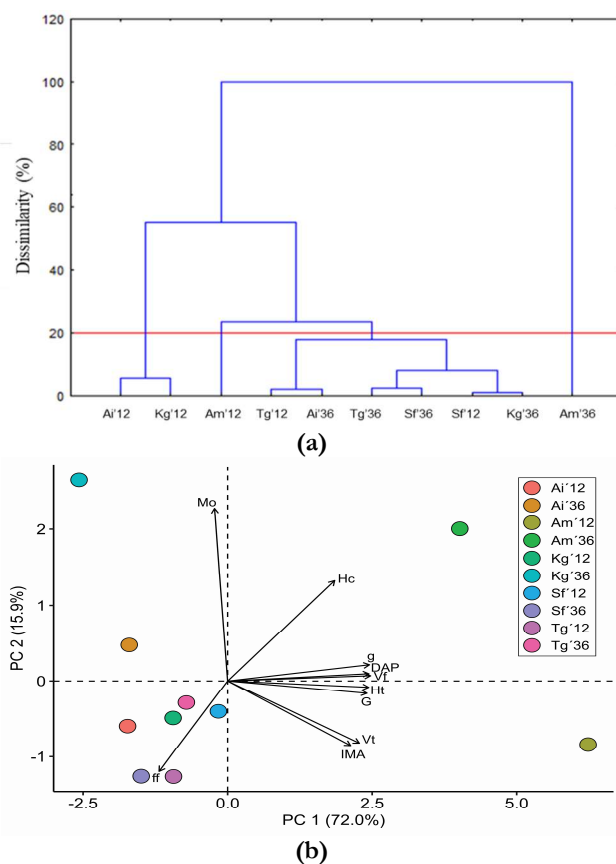


Figura 7. Dendrograma (a) e análise de componentes principais (b) da influência da irrigação no comportamento de cinco espécies exóticas estabelecidas na região do Marco – CE, Brasil.

*Identificação das espécies avaliadas, representadas pelas letras Ai (*A. indica*), Am (*A. mangium*), Kg (*K. grandifoliola*), Sf (*S. foetida*) e Tg (*T. grandis*); **Os números 12 e 36 são equivalentes ao período em meses de irrigação após o plantio; ***Identificação das variáveis dendrométricas, representadas por letras: Ht = altura total; Hc = altura comercial; DAP = diâmetro a altura do peito; ff = fator de forma; Mo = mortalidade; V = volume individual; G = seção transversal; g = área basal; Vf = volume por hectare; IMA = incremento médio anual.

Figure 7. Dendrogram (a) and principal component analysis (b) showing the influence of irrigation on the performance of five exotic species established in the municipality of Marco, Ceará State, Brazil.

*Identification of the evaluated species, represented by the letters Ai (*A. indica*), Am (*A. mangium*), Kg (*K. grandifoliola*), Sf (*S. foetida*) e Tg (*T. grandis*); **The numbers 12 and 36 correspond to the irrigation period in months after planting; ***Identification of dendrometric variables, represented by letters: Ht = total height; Hc = commercial height; DBH = diameter at breast height; ff = form factor; Mo = mortality; V = individual volume; G = cross-sectional area; g = basal area; Vf = volume per hectare; MAI = mean annual increment.

Em relação às variáveis g e G, destaca-se a produção volumétrica de madeira (V) dos cinco clones de *Eucalyptus* VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*), cujos valores foram superiores aos observados em ambos os regimes de irrigação. Os clones VE 38 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*), AEC 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG 702 (*E. urophylla*) apresentaram valores superiores à do clone GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*), o que demonstrou aumento de produtividade em indivíduos sob irrigação por até 12 meses.

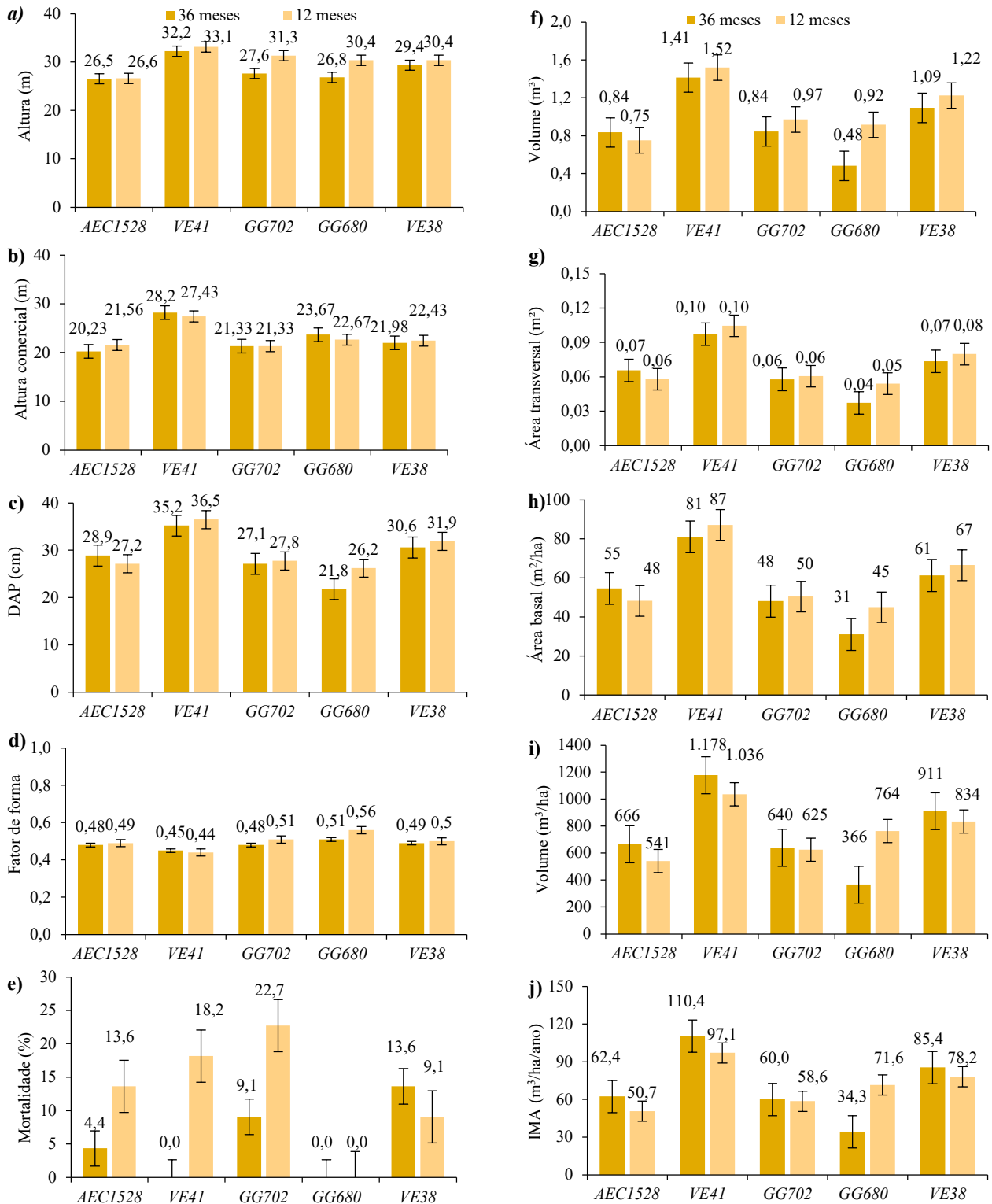


Figure 8. Variáveis dendrométricas de clones de *Eucalyptus* cultivados sob dois diferentes regimes de irrigação (irrigada por 36 meses e irrigada por 12 meses após o plantio): a) altura total; b) altura comercial; c) diâmetro a altura do peito (DAP); d) fator de forma; e) mortalidade; f) volume individual; g) seção transversal; h) área basal; i) volume por hectare; j) incremento médio anual (IMA).

Figure 8. Dendrometric variables of *Eucalyptus* clones cultivated under two irrigation regimes (irrigated for up to 36 months and irrigated for up to 12 months after planting): (a) total height; (b) merchantable height; (c) diameter at breast height (DBH); (d) form factor; (e) mortality; (f) individual volume; (g) cross-sectional area; (h) basal area; (i) volume per hectare; and (j) mean annual increment (MAI).

Os clones AEC 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*), GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG 702 (*E. urophylla*) apresentaram valores médios inferiores aos demais para as variáveis DAP, Vf, V, g e G. Entretanto, o clone GG 680 (*E. urophylla* x *E.*

grandis) atingiu médias consideráveis para as variáveis ff, Ht e Hc, sendo inferior apenas à média obtida pelo clone VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*) para as variáveis Ht e Hc.

Em relação ao IMA em volume de madeira atingido pelas

árvores ao final do período analisado, o VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*) apresenta o maior aumento médio. Os clones GG 702 (*E. urophylla*), AEC 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) apresentaram valores médios semelhantes de aumento do volume de madeira em relação ao IMA do clone GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*), independentemente do tempo de irrigação inicial.

A redução do tempo de irrigação após o plantio em esses genótipos, GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG 702 (*E. urophylla*), pode contribuir para reduzir os custos de manutenção de futuros plantios nos anos subsequentes à implantação. Para as variáveis dendrométricas analisadas, dadas as condições climáticas da região Semiárida, o primeiro ano de irrigação após o plantio mostrou-se suficiente para o estabelecimento dos clones selecionados.

Na Figura 9a, é possível identificar que a duração do período de irrigação não influenciou negativamente no desenvolvimento do clone VE 41, considerando o nível de similaridade entre os indivíduos em ambos os períodos de irrigação (até 12 meses e até 36 meses).

Para os clones de *Eucalyptus* avaliados, os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) foram considerados, pois contêm informações suficientes no conjunto de variáveis originais de cada grupo (Figura 9b).

As variáveis de crescimento e produtividade avaliadas para o grupo de clones de *Eucalyptus* analisados pertencem principalmente ao componente 1, exceto a variável Mo, que pertence ao componente 2. Os dois componentes principais explicaram 85,94% da variabilidade das variáveis avaliadas. O primeiro componente explicou 74,07% da variabilidade total dos dados, enquanto o segundo explicou 11,87%. Os atributos DAP, Vf, V, IMA, g e G são os mais influentes e correlacionados entre si, considerando os vetores de comprimento e de proximidade. Já os vetores associados às variáveis Ht, Hc e ff apresentaram menor influência.

A distribuição das espécies avaliadas no gráfico biplot é esparsa. Vale ressaltar que os clones mais afastados do eixo têm maior peso no comportamento das variáveis selecionadas, como GG 680 e VE 41, nos períodos de irrigação de até 12 meses e de até 36 meses, e GG 702, sob irrigação inicial até 12 meses após o plantio.

Não foi observada influência da irrigação nos clones AEC 1528, GG 702, VE 41 e VE 38, pois as árvores avaliadas apresentaram desenvolvimento semelhante, independentemente do período de irrigação aplicado. O período de irrigação afetou o clone GG 680, considerando a dissimilaridade entre os clones expostos aos regimes de irrigação até 12 meses e até 36 meses após o plantio.

4. DISCUSSÃO

4.1. Espécies nativas

Queiroz et al. (2017a) destacam que o metabolismo primário e secundário das espécies florestais é influenciado por condições de baixa disponibilidade hídrica. O período de seca observado ao longo deste estudo foi mais intenso na fase inicial de desenvolvimento das mudas, etapa mais sensível ao atendimento da demanda hídrica, o que pode justificar a influência do manejo de irrigação nessa fase (12 ou 36 meses após o plantio) no desenvolvimento inicial das espécies, favorecendo a pouca variação no crescimento em Ht entre as espécies nativas em ambos os regimes de irrigação.

Silva et al. (2019) afirmam que o excesso de água por irrigação também pode afetar o crescimento das plantas, por lixiviação de nutrientes solúveis e redução do nível de

oxigênio no solo, resultando em menor desenvolvimento de raízes e brotos, o que pode explicar o menor desempenho observado em *H. courbaril* sob irrigação prolongada.

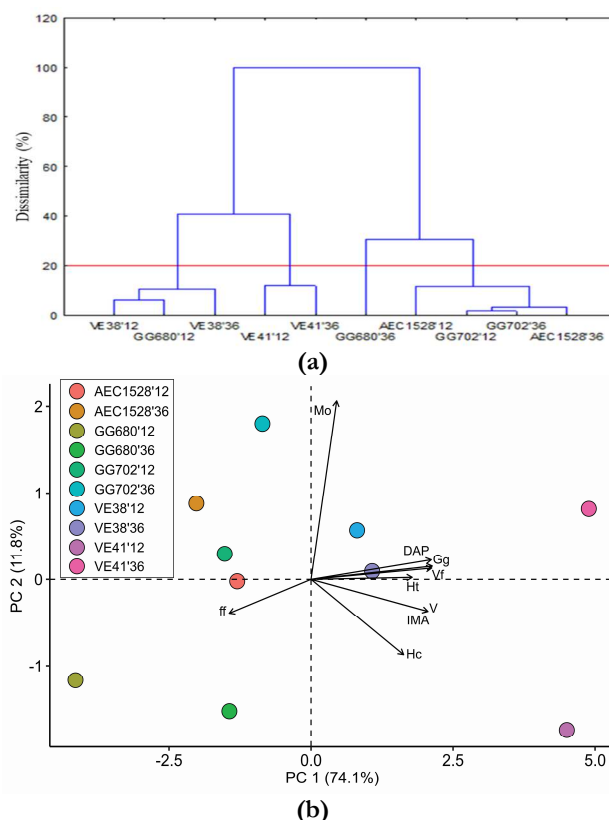


Figura 9. Dendrograma (a) e análise de componentes principais (b) da influência da irrigação no comportamento de cinco clones de *Eucalyptus* estabelecidos na região do Marco – CE, Brasil.

*Identificação dos clones de *Eucalyptus* avaliados – GG680, GG702, VE38, VE41 e AEC1528; **Os números 12 e 36 são equivalentes ao período em meses de irrigação após o plantio; ***Identificação das variáveis dendrométricas, representadas por letras: Ht = altura total; Hc = altura comercial; DAP = diâmetro a altura do peito; ff = fator de forma; Mo = mortalidade; V = volume individual; G = seção transversal; g = área basal; Vf = volume por hectare; IMA = incremento médio anual.

Figure 9. Dendrogram (a) and principal component analysis (b) showing the influence of irrigation on the performance of five *Eucalyptus* clones established in the municipality of Marco, Ceará State, Brazil.

*Identification of the evaluated *Eucalyptus* clones – GG680, GG702, VE38, VE41, and AEC1528; **The numbers 12 and 36 correspond to the irrigation period in months after planting; ***Identification of dendrometric variables, represented by letters: Ht = total height; Hc = commercial height; DAP = diameter at breast height; ff = form factor; Mo = mortality; V = individual volume; G = cross-sectional area; g = basal area; Vf = volume per hectare; IMA = mean annual increment.

O processo de rustificação das mudas antes da implantação em campo contribui para a adaptação à reduzida disponibilidade hídrica, promovendo o fechamento estomático, a redução do potencial hídrico e do teor de água (QUEIROZ et al., 2017a; 2017b). Esses mecanismos fisiológicos ajudam a explicar a baixa mortalidade observada nas espécies avaliadas.

Os valores reduzidos de mortalidade sugerem também maior resistência das espécies às condições locais, em consonância com Lima et al. (2015). Já a limitação do crescimento em DAP observada em *C. glandulosa* pode estar associada ao déficit hídrico prolongado, com alterações como menor produção de fotoassimilados, redução da expansão celular e da formação da parede celular, além de menor

disponibilidade de carboidratos e de reguladores do crescimento (BUTRINOWSKI et al., 2013).

O progresso no crescimento de *H. impertiginosus* e *A. colubrina* pode ser atribuído à elevada aptidão dessas espécies às condições semiáridas. Em função da seca ao longo do período avaliado, essas espécies demonstraram capacidade de adaptação a diferentes condições de solo e de disponibilidade hídrica, sendo o período de irrigação de até 12 meses mais eficiente para a estabilização do crescimento.

Já a limitação de crescimento em DAP observada em *C. glandulosa* pode ser atribuída ao déficit hídrico causado pela seca que perdurou durante todo o período avaliado neste estudo. Considerando as alterações adaptativas promovidas pelas árvores expostas à escassez hídrica, como menor produção de fotoassimilados, redução da expansão celular e da formação de parede celular, maior fechamento estomático, redução da disponibilidade de carboidratos e da produção de reguladores de crescimento (BUTRINOWSKI et al., 2013).

A disponibilidade hídrica é essencial para as funções fisiológicas das plantas, e o déficit hídrico afeta o crescimento por meio da redução da turgidez celular e de alterações metabólicas (QUEIROZ et al., 2017b). Nesse contexto, o manejo adequado da irrigação é determinante para o desempenho das espécies, especialmente em regiões semiáridas.

Entre as espécies avaliadas, DAP, Ht, Vf, V, IMA, g e G foram as variáveis mais influentes e correlacionadas, pois dependem diretamente do crescimento em diâmetro e em altura. Segundo Bocard et al. (2011), na ACP, a influência do vetor é proporcional ao seu comprimento, o que indica maior relevância das variáveis citadas na estrutura dos dados.

Em estudos de Nicodêmo et al. (2016) e Cortes et al. (2023), correlações positivas entre crescimento em altura, diâmetro e volume também foram observadas em espécies nativas, corroborando os padrões encontrados neste estudo para *C. glandulosa* e *H. courbaril* sob irrigação por até 12 meses.

4.2. Espécies exóticas

O resultado encontrado para a espécie *A. mangium*, em relação ao crescimento, corrobora os estudos de Krisnawati et al. (2011) e Tonini et al. (2018), que evidenciaram o potencial produtivo da *A. mangium*, por se tratar de uma espécie de rápido desenvolvimento em cultivos silviculturais, além de apresentar características adequadas para a produção de biomassa energética e para a extração de madeira.

A produtividade superior da *A. mangium*, considerando as variáveis Vf, Vt, g, G e IMA, no maior período de irrigação pode estar relacionado à submissão ao déficit hídrico, considerando a ocorrência de alterações ecofisiológicas, que as tornam mais resistentes a déficits hídricos subsequentes, permitindo a sobrevivência e a resistência por longos períodos de seca, como ocorreu no período em que este estudo foi realizado (NÓIA JÚNIOR et al., 2020).

A mortalidade acentuada de *K. grandifoliola* em áreas irrigadas até 12 meses após o plantio, demonstra a sensibilidade da espécie à restrição hídrica por um período prolongado, conforme relatado por Albuquerque et al. (2013). Apesar dos resultados inferiores obtidos no desempenho de *K. grandifoliola*, outros autores (RIBEIRO et al., 2017; LUCENA JÚNIOR et al., 2022) destacam a capacidade adaptativa da espécie, com bons resultados em todo o território brasileiro sob diferentes condições edafoclimáticas.

O crescimento e a produtividade de *T. grandis* e *S. foetida*

não foram afetados pela duração da irrigação inicial, considerando o nível de similaridade entre os indivíduos das espécies em ambos os períodos de irrigação. A disponibilidade hídrica por meio de precipitação é um fator relevante para auxiliar no controle da produtividade dos ecossistemas a longo prazo, e a seca constitui uma ameaça significativa às plantações florestais (LÉVESQUE et al., 2013). A severidade e a duração do déficit hídrico afetam a fisiologia e o crescimento das árvores (Fontes et al., 2018), o que resulta em uma série de estratégias fisiológicas e estruturais que apoiam a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas (GROSSIORD et al., 2018).

A produtividade observada para *T. grandis* neste estudo, nos dois períodos de irrigação inicial aplicados após o plantio, foi superior à média estimada na literatura de 25 m³/ha/ano (GIL et al., 2018; PAES et al., 2015). Os resultados indicam boa adaptabilidade da espécie em área de clima semiárido.

A ausência de efeito do período de irrigação inicial aplicado a *T. grandis* corrobora a caracterização da espécie realizada por Gil et al. (2018), indicando boa adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas em outras regiões do Brasil. Forster et al. (2016) destacam a capacidade adaptativa de *A. mangium* a ambientes com escassez hídrica, ao promover o investimento de g em biomassa sob estresse hídrico, em comparação com o cultivo em condições favoráveis. Em consonância com os achados deste estudo, quanto de uso eficiente da água, a espécie obteve a maior produtividade entre as espécies exóticas analisadas.

A. mangium é comparada por Staples et al. (2022) ao gênero *Eucalyptus*, pois ambos apresentam adaptações semelhantes quando expostos ao mesmo ambiente, em condições de crescimento similares e adotando as mesmas estratégias ecológicas. O autor também observou que a mesma espécie apresenta crescimento acelerado em regiões com períodos de seca sazonal, como a Austrália Meridional.

A forte influência de *A. mangium* sobre as variáveis de crescimento analisadas é apontada por Staples et al. (2022), ao se observar o crescimento acelerado dessa espécie em regiões com períodos de seca sazonal, como a Austrália Meridional.

A espécie *A. indica* (nim) é conhecida no Nordeste do Brasil por seu rápido crescimento, resistência ao déficit hídrico, copa frondosa e boa adaptabilidade. Estes aspectos permitem a formação de sombra de forma ágil e eficiente, o que ameniza os impactos das altas temperaturas e forte insolação, especialmente na região Semiárida. Tais características contribuem para a predominância desta espécie na arborização urbana de muitas cidades nordestinas (SILVA et al., 2026). Apesar disso, o nim não apresentou bom desempenho no ambiente de plantio. Adicionalmente, ressalta-se que o sub-bosque da área com plantio da *A. indica* e as áreas do entorno apresentavam forte predominância de plantas jovens desta espécie, o que confirma seu forte potencial invasivo, já relatado na literatura (MORO et al., 2013; SANTOS; FABRICANTE, 2020; BELLO et al., 2023).

Importante destacar que algumas espécies exóticas podem comportar-se como potencialmente invasoras em determinados contextos ambientais (MORO et al., 2013; MOYANO et al., 2023). Assim, o presente trabalho não tem por objetivo recomendar sua utilização em larga escala nem subsidiar programas de introdução de espécies. O foco da pesquisa foi avaliar o desenvolvimento silvicultural e a produtividade de diferentes materiais genéticos sob as condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro.

Dessa forma, os resultados obtidos devem ser interpretados como informações técnicas sobre o crescimento, a sobrevivência e a adaptação das espécies avaliadas. Possíveis recomendações para uso silvicultural devem ser precedidas por análises específicas de risco ambiental, pela observância da legislação vigente e pela avaliação dos potenciais impactos ecológicos associados à introdução e ao manejo dessas espécies em cada região (MOYANO et al., 2023).

4.3. Clones de *Eucalyptus*

O clone VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*) demonstrou maior adaptabilidade às condições edáficas da área experimental neste estudo, característica que pode ser atribuída à eficiência do genótipo no uso da água (ARAÚJO et al. 2019), considerando as maiores médias obtidas por este genótipo nas variáveis de crescimento Ht e DAP, importantes para estimar ganhos de produtividade no volume de madeira produzido.

A proximidade dos valores encontrados em relação aos demais clones estudados pode indicar a capacidade de adaptação a diferentes condições de disponibilidade hídrica, considerando os dois regimes de irrigação inicialmente aplicados e as variações nos eventos de chuva e de seca ocorridos na região ao longo do período avaliado neste estudo (FERREIRA et al., 2022; FENG et al., 2018). Pesquisas sobre a plasticidade fisiológica de *Eucalyptus* destacam sua relevância para o crescimento em ambientes com diferentes condições de disponibilidade hídrica (HILL; HOLLENDER, 2019; MUELLER et al., 2020).

Em relação às mudanças na forma dos fustes das árvores, Binkley et al. (2017) e Scolforo et al. (2019) demonstraram, em seus estudos, que diferentes regimes iniciais de irrigação aplicados influenciam as variáveis de crescimento, mas não geram alterações significativas na conicidade das árvores. No presente trabalho, os resultados foram semelhantes, visto que o regime de irrigação não afetou o fator de forma entre os genótipos selecionados.

A ausência de mortalidade (Mo) observada no genótipo clone GG 680 ao longo deste estudo pode ser atribuída à capacidade de ajustar características fenotípicas relevantes que garantem a sobrevivência em novas condições climáticas, à manutenção de um sistema de transporte de água foliar ileso sob condições de seca crescente, ou mesmo ao fornecimento de variabilidade genética adaptativa em características ligadas ao clima (BLACKMAN et al., 2017; LAMY et al., 2014).

A superioridade apresentada pelos clones do genótipo VE 41 em relação aos demais analisados e com base no nível de similaridade entre os indivíduos em ambos os períodos de irrigação, decorre principalmente da maior eficiência desse genótipo no uso da água disponível, ou seja, da produtividade por unidade de água transpirada (BLACKMAN et al., 2017).

Com a análise conjunta das médias apresentadas pelos clones em períodos de irrigação de até 12 meses e de até 36 meses, e do efeito da irrigação sobre o comportamento dos clones, é possível inferir que, para os clones selecionados, a irrigação não afetou o desenvolvimento. O estresse hídrico, causado pela suspensão da irrigação após 12 meses, permitiu que as mudas se aclimatizassem ao déficit hídrico durante seu desenvolvimento inicial. Ou seja, houve uma estabilização progressiva do crescimento das árvores analisadas ao longo do tempo em relação aos valores alcançados pelos clones submetidos à irrigação contínua por 36 meses.

A estabilização a longo prazo do crescimento dos clones

de *Eucalyptus* também é relatada por Nóia Júnior et al. (2020) e por Souden et al. (2020). Deste modo, períodos de até 12 meses mostraram-se suficientes para obter ganhos de produtividade em futuros plantios florestais com os clones analisados. Os resultados deste estudo corroboram os achados de Dolácio et al. (2020), segundo os quais o IMA é identificado como variável de forte influência na determinação da capacidade produtiva de plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus* no Estado do Pará, por meio da definição de fatores climáticos, fisiográficos e edáficos.

A relevância do fornecimento de água por irrigação no desenvolvimento inicial das mudas é destacada por Alves Junior et al. (2016), visando a ganhos de crescimento e ao aumento da produtividade das plantas. Em condições experimentais como as deste estudo, Yang et al. (2023) constataram redução do efeito da irrigação na estação seca e do crescimento do *Eucalyptus* no sul da China com o aumento da idade do povoamento, sugerindo aclimação ao estresse hídrico ao qual os indivíduos são submetidos. Os autores também apontaram que, devido ao rápido crescimento das raízes do *Eucalyptus*, há aumento da demanda por níveis de água mais profundos no solo, reduzindo gradativamente a sensibilidade à irrigação em períodos de seca e eliminando a irrigação por períodos prolongados para ganhos de produtividade.

Ressalta-se que a adaptabilidade de determinadas espécies e clones à escassez hídrica e às condições climáticas alinha-se aos objetivos do estudo e amplia sua relevância para os desafios práticos da silvicultura. Além disso, é necessária a análise do espaçamento ideal para cada espécie nessas condições e com as doses de irrigação especificadas. Do ponto de vista econômico, alguns autores demonstraram que, quando se consideram objetivos alternativos, o espaçamento nas plantações difere significativamente do adotado para maximizar a produção de madeira (DELGADO-RODRIGUEZ et al., 2025). Neste caso específico, devido à preocupação com a escassez de água para irrigação, seria aconselhável cultivar menos árvores por hectare, especialmente quando o crescimento das espécies florestais não é particularmente robusto.

5. CONCLUSÕES

Dentre as espécies nativas selecionadas, *H. impertiginosus* e *A. colubrina* destacam-se por apresentarem elevada produtividade e padrões de comportamento semelhantes. Quanto ao manejo da irrigação a ser adotado, sugere-se irrigação inicial por até 12 meses para ambas as espécies, considerando a redução dos gastos com irrigação em plantios futuros.

Em relação à alta produtividade observada e à similaridade das variáveis analisadas, as espécies *A. mangium* e *S. foetida* se sobressaem entre as espécies exóticas ao utilizar irrigação por até 36 meses após o plantio.

Os clones VE 41 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e VE 38 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*), considerando a proximidade dos valores das médias para as variáveis analisadas, e o GG 680 (*E. urophylla* x *E. grandis*), considerando a capacidade adaptativa e a resistência, todos sob manejo inicial de irrigação por até 12 meses, se destacaram para obtenção de plantios homogêneos e uniformes, além de aumento da produtividade e redução de custos com irrigação prolongada.

O cultivo comercial de espécies florestais na região semiárida brasileira é possível, desde que sejam selecionadas espécies adaptadas às suas condições edafoclimáticas.

6. REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO_Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>. Acesso em: 10 out. 2024.
- ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecophysiology of young African mahogany plants subjected to water deficit and rewetting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100002>
- ALVES JUNIOR, J.; BARBOSA, L. H. A.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; COSTA, F. R. Growth of mahogany African young trees submitted to different microsprinkler irrigation levels. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 466-480, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p466-480>
- ANDRADE, G. R. P.; CUADROS, J.; PARTITI, C. S. M.; GOREN, R.; TORRADO, P. V. Sequential mineral transformation from kaolinite to Fe-illite in two Brazilian mangrove soils. **Geoderma**, v. 309, p. 84-99, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.042>
- ARAÚJO, M. J.; DE PAULA, R. C.; CAMPOE, O. C.; CARNEIRO, R. L. Adaptability and stability of eucalypt clones at different ages across environmental gradients in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 454, p. 117631, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117631>
- BELLO, M. B.; TUKUR, K.; ABUBAKAR, I.; MUHAMMAD, M. S.; ABUBAKAR, M. L. The effects of neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss) invasion on the growth of indigenous flora in Katsina State, Northwest Nigeria. **UMYU Scientifica**, v. 2, n. 3, p. 142-152, 2023. <https://doi.org/10.56919/usc.2323.020>
- BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing, and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271-283, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050>
- BLACKMAN, C. J.; ASPINWALL, M. J.; TISSUE, D. T.; RYMER, P. D. Genetic adaptation and phenotypic plasticity contribute to greater leaf hydraulic tolerance in response to drought in warmer climates. **Tree Physiology**, v. 37, p. 1-10, 2017. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx005>
- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York: Springer, 2011. 306p.
- BUTRINOWSKI, R. T.; BUTRINOWSKI, I. T.; SANTOS, E. L.; PICOLOTTO, P. R.; PICOLOTTO, R. A.; SANTOS, R. F. Water availability in initial development of seedlings in protected-environment *Eucalyptus grandis*. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 3, p. 84-93, 2013. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v2i3.8629>
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5 ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636 p.
- CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; CARVALHO, C. M.; SILVA, S. L. Characterization of underground water in the irrigated perimeter of the lower Acaraú-CE, Brazil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 601-620, 2020. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n2p601-620>
- CASTRO, C. A. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585-1593, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150645>
- CORREIA, D.; SOUSA, J. A.; VIANA, F. M. P.; MESQUITA, A. L. M.; MIRANDA, F. R.; NEVES, E. J. M.; WENDLING, I.; SANTOS, A. M.; CAPANEZZI, A. A.; CARVALHO, P. E. R.; ARAÚJO, J. D. M.; NASCIMENTO, E. H. S. **Testes e seleção de espécies arbóreas para a indústria do polo moveleiro de Marco, CE (Fase I)**. Fortaleza: Embrapa, 2017. 43p.
- CORTES, A. F.; LIMAA SAMPAIO, A. P.; ROJAS PLAZAS, G. M.; COSTA, C. M. S.; MONTANARI, R.; OLIVEIRA, J. T. Spatial variability of dendrometric parameters in a native tree *Mabea fistulifera* Mart. and its relationship with soil physical properties. **Agronomía Colombiana**, v. 41, n. 1, p. 103-113, 2023. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n1.103161>
- COSTA, S. E. L.; SANTOS, R. C.; VIDAURRE, G. B.; CASTRO, R. V. O.; ROCHA, S. M. G.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O. C.; SANTOS, C. P. S.; GOMES, I. R. F.; CARVALHO, N. F. O.; TRUGHILHO. The effects of contrasting environments on the basic density and mean annual increment of wood from Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, v. 458, e117807, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117807>
- DELGADO-RODRIGUEZ, M.; DIAZ-BALTEIRO, L.; RIBEIRO NOBRE, S.; ESTRIVIZ RODRIGUEZ, L. C. Optimal rotation and ecosystem services: a generalization in forest plantations. **Forests**, v. 16, n. 4, e618, 2025. <https://doi.org/10.3390/f16040618>
- DOLÁCIO, C. J. F.; OLIVEIRA, R. S.; NAKAJIMA, N. Y.; TAVARES JÚNIOR, I. S.; ROCHA, J. E. C.; EBLING, Â. A.; GAMA, M. A. P. Integration of principal component analysis and artificial neural network to modeling productive capacity of eucalypt stands from biophysical attributes. **Forest Ecology and Management**, v. 460, e117862, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117862>
- FENG, X.; URIARTE, M.; GONZALEZ, G.; REED, S.; THOMPSON, J.; ZIMMERMAN, J. K.; MURPHY, L. Improving predictions of tropical forest response to climate change through integration of field studies and ecosystem modeling. **Global Change Biology**, v. 24, n. 1, p. 213-232, 2018. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13863>
- FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Physiological responses of *Eucalyptus* clones grown in a greenhouse under water deficit. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120152>
- FERREIRA, V. M.; ANDRADE, J. R.; SANTOS, C. M.; MAIA JUNIOR, S. O.; ARAÚJO NETO, J. C.; SANTOS, A. F. S.; SILVA, V. M.; BEZERRA, L. T.; ENDRES, L. Physiological plasticity in *Eucalyptus* clones in the vegetative stage contributes to drought tolerance. **Journal of Forestry Research**, v. 34, p. 1549-1561, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01571-5>
- FONTES, C. G.; DAWSON, T. E.; JARDINE, K.; MCDOWELL, N.; GIMENEZ, B. O.; ANDEREEG,

- L.; NEGRON-JUAREZ, R.; HIGUCHI, N.; MULTA, P. V. A.; ARAÚJO, A. C.; CÂMARA, J. Q. Dry and hot: the hydraulic consequences of a climate change-type drought for Amazonian trees. **Forest Ecology and Management**, v. 373, e20180209, 2018. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2018.0209>
- FORSTER, M. A.; DALRYMPLE, R. L.; BONSER, S. P. A low watering treatment alters biomass allocation and growth rate but not heteroblastic development in an *Acacia* species. **Trees**, v. 30, n. 6, p. 2051-2059, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1432-3>
- GIL, J. L. R. A.; BARBOSA, F. S.; CONEGLIAN, A.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; SETTE JR., C. B. Anatomical and physical properties of 7-year-old *Tectona grandis* L.f. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 529-538, 2018. <http://doi.org/10.19084/RCA17149>
- GROSSIORD, C.; SEVANTO, S.; LIMOUSIN, J. M.; MEIR, P.; MANCUCCINI, M.; PANGLE, R. E.; POCKMAN, W. T.; SALMON, Y.; ZWEIFEL, R.; MCDOWELL, N. G. Manipulative experiments demonstrate how long-term soil moisture changes alter controls of plant water use. **Environmental and Experimental Botany**, v. 152, p. 19-27, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.12.010>
- GUIRADO, E.; PÉREZ-NAVARRO, M. Á.; ESPINOSA, C. I.; PÉREZ-GARCÍA, J. M.; ALONSO-FORN, D.; KATTGE, J.; CHACÓN-LABELLE, A.; PASTOR, E.; CUEVAS-FUENTES, V.; MARTÍNEZ-GARCÍA, F.; QUINTANA-SEGARRA, I.; CASTILLO-DÍAZ, P.; VALLADARES, F.; MAESTRO-MARTÍN, C.; ESCUDERO, A.; MAESTRE, F. T. Climate legacies drive the distribution and future restoration potential of dryland forests. **Nature Plants**, v. 8, n. 8, p. 879-886, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01198-8>
- HILL, J. L.; HOLLENDER, C. A. Branching out: new insights into the genetic regulation of shoot architecture in trees. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 47, p. 73-80, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.09.010>
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2024.
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.
- KRISNAWATI, H.; KALLIO, M. H.; KANNINEN, M. **Acacia mangium Willd.: ecology, silviculture and productivity**. Bogor: CIFOR, 2011. 82p.
- LAMY, J. B.; DELZON, S.; BOUCHE, P. S.; ALIA, R.; VENDRAMIN, G. G.; COCHARD, H. E.; PLOMION, C. Limited genetic variability and phenotypic plasticity detected for cavitation resistance in a Mediterranean pine. **New Phytologist**, v. 201, p. 874-886, 2014. <https://doi.org/10.1111/nph.12556>
- LÉVESQUE, M.; SAURER, M.; SIEGWOLF, R.; EILMANN, B.; BRANG, P.; BUGMANN, H.; RIGLING, A. Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway Spruce and European Larch. **Global Change Biology**, v. 19, n. 10, p. 3184-3199, 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12268>
- LUCENA JUNIOR, A.; SILVA, A.; DIONISIO, L. F. S.; SILVA, G. R.; SOUSA, G. O.; MORAES, C. B. Quality of African mahogany seedlings in substrates with soils from the Cerrado biome. **Agricultural Sciences**, v. 46, e000221, 2022. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246000221>
- MORO, M. F.; WESTERKAMP, C.; MARTINS, F. R. Naturalization and potential impact of the exotic tree *Azadirachta indica* A.Juss. in Northeastern Brazil. **Check List**, v. 9, n. 1, p. 153-156, 2013. <https://doi.org/10.15560/9.1.153>
- MOYANO, J.; ZAMORA-NASCA, L. B.; CAPLAT, P.; GARCÍA-DÍAZ, P.; LANGDON, B.; LAMBIN, X.; MONTTI, L.; PAUCHARD, A.; NUÑEZ, M. A. Predicting the impact of invasive trees from different measures of abundance. **Journal of Environmental Management**, v. 325, pt. B, e116480, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116480>
- MUELLER, C.; HODECKER, B. E. R.; BARROS, N. F.; MERCHANT, A. A physiological approach for pre-selection of *Eucalyptus* clones resistant to drought. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 13, n. 1, p. 16-23, 2020. <https://doi.org/10.3832/ifer3185-012>
- NICODÉMO, M. L. F.; MULLER, M. D.; SILVA, V. P. da; CARPANEZZI, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BARIONI JUNIOR, W. Growth of native trees in two agroforestry systems. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 639-648, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000400007>
- NÓIA JÚNIOR, R. S.; AMARAL, G. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; FONSECA, M. D. S.; SILVA, A. P. C.; XAVIER, T. M. T. Ecophysiological acclimatization to cyclic water stress in *Eucalyptus*. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 3, p. 797-806, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00926-9>
- OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. S. P. Response to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, e86, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- PAES, J. B.; SANTOS, L. L.; SILVA, L. F.; MOTTA, J. P.; BRAZ, R. L.; LOMBARDI, L. R. Technological characterization of juvenile wood teak (*Tectona grandis*) to production of furnitures. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 437-442, 2015. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a3906>
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.
- QUEIROZ, T. B.; PEREIRA, N. N. J.; SILVA, J. C. R. L.; FONSECA, F. S. A.; MARTINS, E. R. Influence of water regime on initial growth and essential oil of *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, p. 1-8, 2017b. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150530>
- QUEIROZ, T. B.; ROCHA, S. M. G.; FONSECA, F. S. A.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R. Effects of water stress on production of eucalypt seedlings. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 659-674, 2017a. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n4p659-674>
- RIBEIRO, A. F.; SCOLFORO, A. C.; SOARES, J. R. O. African mahogany (*Khaya spp.*) cultivation and the increase of the activity in Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00076814, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.076814>
- RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Sectional analysis for volume determination and selection of volume equations for the Tapajós National Forest.

- Cerne, v. 20, n. 4, p. 305-612, 2014. <https://doi.org/10.1590/01047760201420041400>
- SANTOS, G.; FABRICANTE, J. R. Potencial de invasão biológica do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) no Nordeste brasileiro. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 14, n. 3, p. 51-61, 2020. <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v14i.5093>.
- SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equação de volume e relação hipsométrica em plantio de *Ocotea porosa*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 32, n. 69, p. 13-21, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.13>
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SCOLFORO, H. F.; MCTAGUE, J. P.; BURKHART, H.; ROISE, J.; CARNEIRO, R. L.; STAPE, J. L. Generalized stem taper and tree volume equations applied to *Eucalyptus* of varying genetics in Brazil. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 49, n. 5, p. 447-462, 2019. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0276>.
- SILVA, A. C.; TAVARES, I. F.; MEDEIROS, D. H. M. Identification of the standard years for the classification of the pluviometric of the hydrographic basin Acaraú - CE. *Revista GeoInterações*, v. 6, n. 1, p. 16-31, 2022.
- SILVA, J. G.; TAGLIAFERRE, C.; PAULA, A.; LEMOS, O. L.; ROCHA, F. A. Influence of water depths and water consumption of five forestry essences. *Irriga*, v. 24, n. 2, p. 303-319, 2019. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n2p303-319>
- SOUDEN, S.; ENNAEH, M.; OULEDALI, S.; MASSOUDI, N.; COCHARD, H.; KHEMIRA, H. Water relations, photosynthesis, xylem embolism and accumulation of carbohydrates and cyclitols in two *Eucalyptus* species (*E. camaldulensis* and *E. torquata*) subjected to dehydration-rehydration cycle. *Trees - Structure and Function*, v. 34, n. 6, p. 1439-1452, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02016-4>
- SOUSA, J. A.; SANTOS, A. M.; CORREIA, D.; GADELHA, J. W. R.; ARAÚJO, J. D. M. Desempenho inicial de clones de *Eucalyptus* no litoral do estado do Ceará. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2023. 33p.
- SOUZA, D. V.; CARVALHO, J. O. P.; MENDES, F. S.; MELO, L. O.; SILVA, J. N. M.; JARDIM, F. C. S. Growth rate of tree species in a terra firme natural forest after logging and silvicultural treatments, in the municipality of Paragominas, Pará, Brazil. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, p. 873-883, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509820585>
- SOUZA, M. T. C.; SILVA, M. E. F.; PAULO, P. F. M.; RIBEIRO, A. B.; ANDRADE, A. P.; CASSUCE, M. R. Climate characteristics and stress of water effects in native plants of caatinga. *Pubvet*, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2014. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v8n1.1655>
- STAPLES, T. L.; MAYFIELD, M. M.; ENGLAND, J. R.; DWYER, J. M. Drivers of *Acacia* and *Eucalyptus* growth rate differ in strength and direction in restoration plantings across Australia. *Ecological Applications*, v. 32, n. 6, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1002/eap.2636>
- TATAGIBA, S. D.; XAVIER, T. M. T.; TORRES, H.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECILIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Determination of maximum capacity of water retention in substrate for production plants in *Eucalyptus* nursery. *Floresta*, v. 45, n. 4, p. 745-754, 2015. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i4.38334>
- TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; MAGALHÃES, C. A. S.; OLIVEIRA, J. M. F. Growth, biomass, and energy quality of *Acacia mangium* timber grown at different spacings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 7, p. 791-799, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000700002>
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da Madeira**. SIF: Viçosa, Brasil, 1984; 21h, (Boletim Técnico, 1).
- YANG, L.; LIN, Y.; KONG, J.; YU, Y.; ELE, Q.; SU, Y.; LI, J.; QIU, Q. Effects of fertilization and dry-season irrigation on the timber production and carbon storage in subtropical *Eucalyptus* plantations. *Industrial Crops and Products*, v. 192, e116143, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116143>

Agradecimentos: À Secretaria Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), ao Sindicato das Indústrias de Móveis do Ceará (Sindmóveis), ao Sindicato das Indústrias de Serrarias, Carpintaria e Tanoaria de Fortaleza (Sindserrarias), ao Instituto de Desenvolvimento Industrial do Ceará (INDI) e à Associação de Fabricantes de Marco (FAMA).

Contribuições dos autores: Concepção, R.R.M., D.C., J.A.S. e A.M.S.; metodologia, M.E.C.S.C., A.K.V.S., A.R.A.; software, A.R.P.M., F.R.J.; análise formal, A.K.V.S., M.E.C.S.C., A.R.P.M. e R.R.M.; investigação, A.K.V.S. e M.E.C.S.C.; recursos, R.R.M., D.C., J.A.S. e A.M.S.; redação – preparação do manuscrito original, A.K.V.S. e R.R.M., F.R.J.; redação – revisão e edição, M.E.C.S.C., M.V.S., A.R.A., F.R.J., A.S.P. e F.R.; supervisão, R.R.M., A.R.A., F.R. e M.V.S.; administração do projeto, D.C., J.A.S., A.M.S.; obtenção de financiamento, R.R.M., D.C., J.A.S. e A.M.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: O estudo foi financiado pela Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE), pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Além disso, houve apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio da concessão de bolsas de estudos.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos por e-mail, mediante solicitação ao autor correspondente.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflitos de interesses.



Copyright: © 2026 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).