



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ - UESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL - PPGPV

LETÍCIA DE ALMEIDA OLIVEIRA

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS E DESIDRATAÇÃO FOLIAR LETAL EM
PLANTAS JOVENS DE ESPÉCIES ARBÓREAS TROPICAIS**

Ilhéus - Bahia
2022

LETÍCIA DE ALMEIDA OLIVEIRA

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS E DESIDRATAÇÃO FOLIAR LETAL EM
PLANTAS JOVENS DE ESPÉCIES ARBÓREAS TROPICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual de Santa Cruz como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Linha de pesquisa:
Cultivo em Ambiente Tropical Úmido

Orientador:
Prof.º Dr. Marcelo Schramm Mielke

Co-orientadora:
Prof.ª Dra. Martielly Santan dos Santos

**Ilhéus - Bahia
2022**

O48 Oliveira, Letícia de Almeida.
Atributos funcionais e desidratação foliar letal em plantas jovens de espécies arbóreas tropicais / Letícia de Almeida Oliveira. – Ilhéus, BA: UESC, 2022. 52f. : il.

Orientador: Marcelo Shramm Mielke.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.
Inclui referências.

1. Florestas – Conservação – Mata Atlântica. 2. Plantas nativas. 3. Fotoquímica. 4. Plantas – Desidratação. I. Título.

CDD 634.92

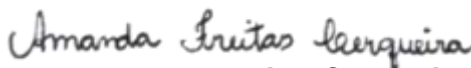
**ATRIBUTOS FUNCIONAIS E DESIDRATAÇÃO FOLIAR LETAL EM
PLANTAS JOVENS DE ESPÉCIES ARBÓREAS TROPICAIS**

LETÍCIA DE ALMEIDA OLIVEIRA

Ilhéus, 25 de maio de 2022.



Prof. Dr. **Marcelo Schramm Mielke**
Examinador/Orientador



Profa. Dra. **Amanda Freitas Cerqueira**
Examinadora



Prof. Dr. **Neander Marcel Heming**
Examinador



Prof. Dr. **Rogério Ferreira Ribas**
Examinador

ATRIBUTOS FUNCIONAIS E DESIDRATAÇÃO FOLIAR LETAL EM PLANTAS JOVENS DE ESPÉCIES ARBÓREAS TROPICAIS

RESUMO

Eventos climáticos extremos podem ser definidos como episódios em que um período climático estatisticamente raro ou incomum altera a estrutura e a função dos ecossistemas além dos limites do que é considerado variabilidade típica ou normal. Mudanças na intensidade e frequência de eventos extremos resultam em impactos significativos nas florestas, pois podem causar mortalidade em massa de árvores, afetando assim a distribuição das espécies nos ecossistemas. Dentre as espécies de árvores nativas, estarão em enfoque na pesquisa as seguintes: *Apeibatibourbou*, *Arapatielapsilophylla*, *Byrsominastipulacea*, *Carinianalegalis*, *Cedrelaodorata*, *Copaiferalucens*, *Gallesiaintegrifolia*, *Garciniagardneriana* e *Trema micrantha*. O objetivo do estudo é avaliar os efeitos da desidratação letal na eficiência fotoquímica de folhas e suas relações com atributos funcionais de plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais com características de crescimento e de habitat distintas. Nos ensaios de desidratação letal foi utilizado o fluorômetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments, UK), para a obtenção da eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (Fv/Fm, ou PI). Diversos atributos funcionais foram utilizados, entre eles estão o teor relativo de água, a espessura da folha, a massa foliar específica e o índice SPAD. Em relação às espécies que apresentaram maiores perdas na eficiência fotoquímica com a desidratação (*G. gardneriana*, *A. psilophylla* e *C. lucens*), todas são endêmicas da Mata Atlântica, ao passo que dentre as espécies que apresentaram menor perda, *C. odorata* e *T. micrantha* apresentam ampla distribuição geográfica. Quanto aos traços funcionais foliares, a massa foliar específica apresentou relação positiva com o teor relativo de água quando ocorre perda de 10 e 50% (RWCPPE_{de10} e de RWCPPE_{de50}, respectivamente), sendo que o normal é a ocorrência de relação negativa. A técnica de desidratação foliar letal demonstrou ser adequada para identificar o grau de tolerância das espécies à perda de PE com a desidratação foliar.

Palavras-chave: Mata Atlântica, árvores nativas, eficiência fotoquímica, distribuição geográfica.

FUNCTIONAL ATTRIBUTES AND LETHAL FOLIAR DEHYDRATION IN YOUNG PLANTS OF TROPICAL TROPICAL SPECIES

Abstract

Extreme weather events can be defined as episodes in which a statistically rare or unusual weather period alters the structure and function of ecosystems beyond the limits of what is considered typical or normal variability. Changes in the intensity and frequency of extreme events result in significant impacts on forests, as they can cause massive tree mortality, thus affecting the distribution of species in ecosystems. Among the species of native trees with commercial interest, the following stand out: *Apeiba tibourbou*, *Arapatielapsilophylla*, *Byrsominastipulacea*, *Carinianalegalis*, *Cedrela odorata*, *Copaiferalucens*, *Gallesia integrifolia*, *Garcinia gardneriana* and *Trema micrantha*. The aim of the study is to evaluate the effects of lethal dehydration on the photochemical efficiency of leaves and its relationship with functional attributes of young plants of nine tropical tree species with distinct growth and habitat characteristics. In the lethal dehydration assays, the Pocket PEA portable fluorometer (Hansatech Instruments, UK) was used to obtain the maximum photochemical efficiency of photosystem II (Fv/Fm, or PI). Several functional attributes were used, including relative water content, leaf thickness, specific leaf mass and SPAD index. Regarding the species that showed greater losses in photochemical efficiency with dehydration (*G. gardneriana*, *A. psilophylla* and *C. lucens*), all are endemic to the Atlantic Forest, while among the species that showed less loss, *C. odorata* and *T. micrantha* have a wide geographic distribution. As for the leaf functional traits, the specific leaf mass showed a positive relationship with the relative water content when there is a loss of 10 and 50% (RWCPLPEde10 and RWCPLPEde50, respectively), and the occurrence of a negative relationship is normal. The lethal foliar dehydration technique proved to be adequate to identify the degree of tolerance of species to the loss of PE with foliar dehydration.

Keywords: Atlantic Forest, native trees, photochemical efficiency, geographic distribution.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das espécies utilizadas no estudo.....	41
Tabela 2. Coeficientes de variação (CV), faixas de valores dos teores relativos de água (RWC) e tempo de desidratação (Time_RWC) para a porcentagem de perda da PE na desidratação (PLPEde) em 10% e 50% das nove espécies florestais estudadas.....	42
Tabela 3. Correlações entre os atributos foliares com os valores do teor relativo de água (RWC) que correspondem a perda da eficiência fotoquímica máxima do PSII em 10% (RWCPLPEde10) e 50% (RWCPLPEde50) para o conjunto de todas as espécies e plantas utilizadas nesse estudo.....	43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição das nove espécies florestais estudadas na América (A–I), de acordo com a coleção da base de dados do according to the database collection of Informações de Biodiversidades Globais Facility (GBIF: www.gbif.org; from 1778 to 2021).....44
- Figura 2.** Comparações entre os atributos foliares das nove espécies florestais estudadas. Letras iguais indicam que não há diferença estatística entre as espécies ($P > 0.05$, teste de Bonferroni para A–E e teste de Tukey HSD's para F). O gradiente de cor enfatiza as comparações entre as espécies para cada variável. KW= Kruskal-Wallis value; F: Fisher value; ***: $P < 0.001$; Barras são erros padrão.....45
- Figura 3.** Resposta da Porcentagem de perda da PE na desidratação (Fv/Fm; identificado no texto como PLPE) sobre o decréscimo do teor relativo de água (RWC) para as nove espécies estudadas (A–I). Do gradiente azul ao vermelho são mostrados os níveis de RWC e as folhas mensuradas. Linhas de regressão sólidas são os melhores modelos ajustados. As linhas tracejadas em cada gráfico indicam o RWC associado com 10% (azul) e 50% (vermelho) de perdas do Fv/Fm. R2: coeficiente de determinação, ***: $P < 0.001$46
- Figura 4.** Respostas do teor relativo de água médio (RWC) sobre o aumento da desidratação no curso do tempo (horas) para as nove espécies florestais estudadas (A – I). O gradiente de cor de azul a vermelho mostra o nível médio de RWC e as folhas medidas. Linhas de regressão sólidas são modelos de melhor ajuste. As linhas tracejadas em cada gráfico indicam o RWC e o tempo associado a 10% (azul) e 50% (vermelho) da Porcentagem de perda da PE na desidratação (Fv / Fm; anotado no texto como PLCF). R2: coeficiente de determinação, ***: $P < 0,001$. S.E .: erro padrão.....47
- Figura 5.** Comparações do teor relativo médio de água (A) e tempo de desidratação (B)

entre nove espécies florestais estudadas para Porcentagem de perda da PE na desidratação a 10% e 50% (PLPEde). Letras iguais indicam que não há diferença estatisticamente significativa entre as espécies em cada PLPEde (10% ou 50%) ($P > 0.05$, Tukey HSD's).....48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- FV/FM: Rendimento quântico máximo do fotossistema II
- ILA: Área foliar individual
- LMA: Massa foliar específica (g m^{-2})
- LT: Espessura da folha (mm)
- PE: Eficiência fotoquímica
- PLPE: Perda da eficiência fotoquímica máxima
- PLPEde: Perda da eficiência fotoquímica máxima durante a desidratação
- PLPE_{de10} - Perda de 10% da eficiência fotoquímica na turgescência foliar máxima
- PLPE_{de50} - Perda de 50% da eficiência fotoquímica na turgescência foliar máxima
- RWC - Teor relativo de água
- RWC_{PLPEde10} - Teor relativo de água em que ocorre perda de 10% da eficiência fotoquímica na turgescência foliar máxima
- RWC_{PLPEde50} - Teor relativo de água em que ocorre perda de 10% da eficiência fotoquímica na turgescência foliar máxima
- SPAD - Índice de clorofila
- Tempo_RWC_{PLPEde10} - Tempo de desidratação (horas) para o teor relativo de água em que ocorre perda de 10% da eficiência fotoquímica na turgescência foliar máxima
- Tempo_RWC_{PLPEde50} - Tempo de desidratação (horas) para o teor relativo de água em que ocorre perda de 50% da eficiência fotoquímica na turgescência foliar máxima

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral.....	13
2.2. Objetivos específicos	13
REFERÊNCIAS.....	14
Atributos funcionais e desidratação foliar letal em plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais.....	16
Resumo	16
1. Introdução	18
2. Materiais e métodos	21
2.1. Material vegetal	21
2.2. Atributos foliares	22
2.3. Desidratação foliar letal	23
2.4. Análise de dados	23
3. Resultados	24
4. Discussão	27
5. Conclusões	32
Referências.....	32
CONSIDERAÇÕES FINAIS	49

1. INTRODUÇÃO GERAL

Eventos climáticos extremos podem ser definidos como episódios em que um período climático estatisticamente raro ou incomum altera a estrutura e a função dos ecossistemas além dos limites do que é considerado variabilidade típica ou normal (SMITH, 2011). O aumento da temperatura média na superfície da Terra já vem ocasionando o aumento de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas ocasionais severas ou enchentes (CECCHERINI et al., 2016). Mudanças na intensidade e frequência de eventos extremos resultam em impactos significativos nas florestas, pois podem causar mortalidade em massa de árvores, afetando assim a distribuição das espécies nos ecossistemas (PARMESAN et al., 2000). Tais eventos podem ser ocasionais ou ocorrerem em intervalos de tempo mais ou menos previsíveis, como é o caso do fenômeno conhecido como El Niño-Southern Oscillation (ENSO) (RIFAI et al. 2019).

O ENSO possui duas fases, sendo uma fase quente denominada de El Niño e outra fria, o La Niña. O El Niño é caracterizado pelo aquecimento fora do comum da camada superficial e sub-superficial do Oceano Pacífico Central e Leste, enquanto o La Niña representa o fenômeno contrário (BERLATO; FONTANA, 2003). Na América do Sul e no Brasil, os ENSOs, normalmente são acompanhados por secas na Amazônia e no Nordeste, como também inundações na costa tropical oeste e sudeste da América do Sul, com efeitos socioeconômicos marcantes (CAI et al., 2020). O fenômeno causa diversas consequências em florestas tropicais, como incêndios em grande escala que foram observados no Brasil e na Indonésia a partir do El Niño que ocorreu em 1982-1983 (MALINGREAU et al., 1985), e ocorreram em uma escala ainda maior nos mesmos países durante o El Niño de 1997-1998 (FULLER; MURPHY, 2006).

O déficit de água nos tecidos, causado por alta demanda evaporativa ou pelo suprimento limitado de água no solo, influencia em todos os fatores do crescimento e desenvolvimento dos vegetais (KRIEG, 1993). Alguns dos processos metabólicos afetados pelo estresse hídrico são a diminuição da condutância estomática, diminuição da fotossíntese e da transpiração (GOMES et al., 2004; PORTES et al., 2006). Durante a dessecação foliar, ocorrem mudanças na fotossíntese, principalmente por conta da

diminuição na assimilação líquida de CO₂ pela restrição na difusão estomática (FLEXAS et al., 2007; DINAKAR et al., 2012). Ocorre também a diminuição na taxa de transporte de elétrons no PSII (fotossistema II), tendo como consequência uma queda na síntese de ATP e queda na atividade ou na taxa de regeneração da enzima Rubisco, que é responsável pela captura do CO₂ (FLEXAS et al., 2004). A diminuição do processo fotossintético também pode ocorrer por conta da limitação na geração de poder redutor (LAWLOR; CORNIC, 2002). A limitação na fixação de carbonofotossintético durante a desidratação causa diminuição da utilização de NADPH, com um declínio no nível NADP. O esgotamento de NADP acelera o transporte de elétrons do fotossistema I para o oxigênio molecular, promovendo a geração de espécies reativas de oxigênio (LAWLOR; TEZARA, 2009).

Variações nos atributos funcionais foliares tem sido importantes para estudos em ecologia funcional por exprimirem importantes correlações ecológicas (PRADO JÚNIOR, 2012). Assim, quantificar variações nestes atributos tem grande relevância para compreensão dos padrões de distribuição das espécies e predição de respostas às alterações ambientais (WESTOBY et al. 2002). Diversos atributos funcionais relacionados com o estado de água na planta vem sendo estudados, entre eles está o teor relativo de água (RWC) (BOYER et al., 2008), tendo sido constatado que valores abaixo de 80% começam a afetar o metabolismo das plantas (LAWLOR; CORNIC, 2002). O rendimento quântico máximo (FV/FM) é um outro importante atributo utilizado (BAKER; ROSENQVIST, 2004) e em situações de estresse hídrico pode ser um indicativo de eficiência na absorção de radiação (TESTER; BACIC, 2005), uma vez que a falta de água pode inibir a atividade fotossintética nos tecidos por conta da disparidade entre a captura de luz e sua utilização (FOYER; NOCTOR, 2000). A razão FV/FM indica a dissipação de energia fotoquímica e expressa a eficiência de captura desta energia de excitação pelos centros de reação abertos do PSII (KRAUSE & WEIS, 1991), tem sido relatado que valores entre 0,75 e 0,85 inferem que a planta está com seu aparelho fotossintético intacto, enquanto que uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). Trata-se de uma técnica rápida, precisa e não destrutiva (TORRES NETTO et al., 2005).

A desidratação foliar letal, ou a capacidade de uma folha destacada em retornar aos valores do teor relativo de água (RWC) próximos aos iniciais após um ciclo

de desidratação, é uma técnica relativamente simples e utilizada há muitos anos como um índice para comparar diferentes espécies num mesmo ecossistema florestal (WEINBERGER et al. 1972), para comparar procedências de uma mesma espécie em estudos de biogeografia (BURGHARDT et al. 2008), e, mais recentemente, para a previsão das respostas fisiológicas de plantas ao déficit hídrico associado com mudanças climáticas globais (JOHN et al. 2018; TRUEBA et al. 2019).

O estudo dos impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas florestais é de vital importância para o Brasil, tendo em vista que o país possui cerca de 30% das florestas tropicais do mundo (FAO, 2005). Entretanto, além das mudanças climáticas, outro fator de preocupação são as atividades antrópicas, sendo que a Mata Atlântica é um dos biomas brasileiros mais ameaçados, estima-se que ocorre somente 12,5% da cobertura florestal original e de forma fragmentada (RIBEIRO et al., 2009). Portanto, compreender como as espécies respondem às mudanças ambientais é essencial para que haja um manejo adequado das espécies, visando um maior aproveitamento de recursos em programas de restauração florestal. Com o objetivo de reunir esforços e recursos para a recuperação das áreas degradadas, foi criado em 2009 o Pacto Pela Restauração da Mata Atlântica, que busca a recuperação de 15 milhões de hectares até 2050 (PACTO MATA ATLÂNTICA, 2020). Cerca de 607.668 a 865.016ha de floresta foram restaurados entre 2011 e 2015, sendo que nos últimos anos ocorreu um aumento na quantidade de floresta restaurada (CROUZEILLES et al., 2019).

Dentre as espécies de árvores nativas da Mata Atlântica e com interesse comercial, estarão em enfoque na pesquisa as seguintes: *Apeiba tibourbou*, *Arapatiella psilophylla*, *Byrsomina stipulacea*, *Cariniana legalis*, *Cedrela odorata*, *Copaifera lucens*, *Gallesia integrifolia*, *Garcinia gardneriana* e *Trema micranta*.

Apeiba tibourbou Aubl. é conhecida popularmente por pau-de-jangada, é uma espécie arbórea que atinge cerca de 10-15 m de altura e pertence à família Tiliaceae. Classificada como pioneira e de crescimento rápido, pode ser empregada para reflorestamento de áreas degradadas. Além disso, devido à baixa densidade de sua madeira, é utilizada na fabricação de pequenas embarcações (LORENZI, 1992). De acordo com dados do Flora do Brasil 2020, o gênero *Apeiba* é representado no Brasil por sete espécies nativas e predominantemente arbóreas que ocorrem nos seguintes biomas brasileiros: Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Pode ser encontrada nas matas ripárias e de restingas do Cerrado, bem como nas matas de restingas no Maranhão e na Mata Atlântica (PAULA et al., 1996). *Arapatiellapsilophylla* (Harms) Cowan é

uma espécie arbórea endêmica da Mata Atlântica do Sul da Bahia e do Norte do Espírito Santo. Trata-se de uma espécie clímax, característica e exclusiva da Mata Pluvial Atlântica Sul Baiana, que apresenta frequência média com dispersão um tanto irregular e descontínua, ocorrendo predominantemente no interior da mata primária. É uma planta perenifólia, ciófito até heliófito, seletiva xerófito (LORENZI, 2002; LIMA, 2010). *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, popularmente conhecida como jequitibá-rosa, é uma espécie arbórea com distribuição geográfica restrita ao sul da região nordeste. É secundária tardia e muito utilizada para utilização em programas de reflorestamento em vários estados brasileiros, sendo considerada também uma das maiores árvores da flora brasileira (LORENZI, 2002). *Cedrela odorata* L., com o nome popular de cedro rosa, é uma espécie arbórea pertencente à família Meliaceae que ocorre em toda a região tropical brasileira, com exceção somente do bioma cerrado. Ela é considerada uma espécie adequada para ser utilizada em programas de reflorestamento de áreas degradadas (LORENZI, 1998). Trata-se de uma árvore de grande porte (30-35m de altura) que apresenta crescimento rápido (LOUREIRO et al., 1979). *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, conhecida popularmente como pau-d'alho, é uma espécie heliófila que ocorre de forma natural no Brasil nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro e São Paulo. O grupo sucessional da espécie ainda é uma questão muito discutida. Para alguns autores, ela é uma espécie pioneira, outros a consideram como secundária inicial ou mesmo secundária tardia (CARVALHO, 2003). *Garcinia gardneriana* (Planch & Triana) Zappi, pertence a família Clusiaceae, é uma espécie arbórea de grande importância para o reflorestamento em áreas de preservação, sendo uma planta arbórea com altura de 5 a 7 metros. Suas folhas são simples, coriáceas e glabras (LORENZI, 2001). A espécie é distribuída em todo o território brasileiro, ocorre na amazônia, caatinga, cerrado e na mata atlântica (BITTRICH ET AL., 2015). *Trema micrantha* (L.) Blume pertencente à família Ulmaceae, ocorre no Brasil desde o Amazonas até o Rio Grande do Sul, é considerada uma das espécies pioneiras arbóreas mais comuns e importantes no estado de São Paulo, onde é muito utilizada no reflorestamento de áreas degradadas (LUCCA, 1992; TOLEDO et al., 1992).

Tendo em vista o panorama de aumento na incidência de eventos climáticos extremos (LIN; QIAN, 2005), estudos que investiguem os efeitos do déficit hídrico na fotossíntese de espécies arbóreas são essenciais para obter informações sobre suas

respostas fisiológicas, possibilitando assim um manejo adequado em viveiros e em restaurações florestais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da desidratação letal na eficiência fotoquímica de folhas e suas relações com atributos funcionais de plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais com características de crescimento e de habitat distintas. Além disso, avaliar a relação entre a desidratação letal e os atributos funcionais.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar os efeitos da desidratação letal na eficiência fotoquímica em folhas jovens de nove espécies arbóreas tropicais.
- Comparar atributos foliares entre plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais.
- Analisar as relações entre a perda de eficiência fotoquímica decorrente da desidratação foliar e atributos funcionais de espécies arbóreas tropicais com características de crescimento e habitat distintos.

REFERÊNCIAS

BAKER, N.R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, v.81, n.4, p.563-70, 1991.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 403, p. 1607–1621, ago. 2004.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Editora da UFRGS, 110 p., 2003.

BOYER J.S.; JAMES, R.A, MUNNS R.; CONDON A.G., PASSIOURA JB. Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat and barley. **Functional Plant Biology**, v. 35, n. 11, p. 1172-1182, 2008.

BURGHARDT, M.; BURGHARDT, A.; GALL, J.; ROSENBERGER, C; RIEDERER, M. Ecophysiological adaptations of water relations of *Teucrium chamaedrys* L. to the hot and dry climate of xeric limestone sites in Franconia (Southern Germany). **Flora** 203:3-13, 2008.

BITTRICH, V.; TRAD, R.J.; CABRAL, F.N.; NASCIMENTO-JR, J.E.; SOUZA, V.C. **Clusiaceae na lista de espécies da flora brasileira**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB6853>>. Acesso em 06/02/2022.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R., LONG, S. P., BAKER, N. R., OQUIST, G., SCHREIBER, U. L. E. G., & LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, 497-514, 1989.

CAI, W.; MCPHADEN, M. J.; GRIMM, A. M.; RODRIGUES, R. R.; TASCHETTO, A. S.; GARREAUD, R. D.; VERA, C. Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. **Nature Reviews Earth & Environment**, 1(4), 215-231, 2020.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, vol. 1. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 423p, 2003.

CECCHERINI G, RUSSO S, AMEZTOY I, ROMERO CP, CARMONA-MORENO C. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South

America. **Natural Hazards and Earth System Sciences** 16(3):821-831, 2016.

CROUZEILLES, R.; SANTIAMI, E.; ROSA, M.; PUGLIESE, L.; BRANCALION, P.H.S.; RODRIGUES, R.R.; METZGER, J.P.; CALMON, M.; SCARAMUZZA, C.A. D. M.; MATSUMOTO, M.H.; PADOVEZI, A.; BENINI, R. DE M.; CHAVES, R.B.; METZKER, T.; FERNANDES, R.B.; SCARANO, F.R.; SCHMITT, J.; LUI, G.; CHRIST, P.; VIEIRA, R.M.; SENTA, M.M.D.; MALAGUTI, G.A.; STRASSBURG, B.B.N.; PINTO, S. There is hope for achieving ambitious Atlantic Forest restoration commitments. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 2, p. 80–83, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.04.003>>.

DINAKAR, C., DJILIANOV, D. & BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, 2012.

FAO-CIFOR FAO Framework Methodology for Climate Change: Vulnerability Assessments of Forests and Forest Dependent People, 2019.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; CIFRE, J.; MARIANO ESCALONA, J.; GALMÉS, J.; GULÍAS, J.; MEDRANO, H. Understanding down- regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of applied Biology**, 144(3), 273-283, 2004.

FLEXAS, J.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; KALDENHOFF, R.; MEDRANO, H. & RIBAS-CARBO, M. (2007). Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO₂ concentration around leaves. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 10, p. 1284-1298, 2007.

FULLER, D.O. & K. MURPHY. The ENSO-fire dynamic in insular Southeast Asia. **Climatic Change**, v. 74, n. 4, p. 435-455, 2006.

GOMES, M. M. A. et al. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004.

JOHN, G.P.; HENRY, C.; SACK, L.; Leaf rehydration capacity: Associations with other indices of drought tolerance and environment. **Plant, Cell and Environment** 41:2638-2653, 2018.

KRIEG, D. R. Stress tolerance mechanisms in above ground organs. **In: Proceedings of the workshop on adaptation of plants to soil stress. INTSORMIL, Nebraska**, p. 65-79, 1993.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of botany**, v. 103, n. 4, p. 561–579, 1 fev. 2009.

LIN, J.; QIAN, T. A new picture of the Global impacts of elnino-Southern oscillation. **Scientific reports** 9(1):1-7, 2019.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa (SP): Editora Plantarum, v. 1, 1a ed., 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa (SP): Instituto Plantarum, v. 1, 4a ed., 2002.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. da; ALENCAR, J. da C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus (Brasil), 1979.

LIMA, M. A. C. **Fichadendrológica do Arapati**. Ceplac/Cepec. Itabuna, 6 p. 2010.

LUCCA, C.A.T.D. Sucessão ecológica em áreas desmatadas: um estudo de caso. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 8, n. 25, p. 22-23, 1992.

MALINGREAU, J. P. Remote sensing of forest fires: Kalimantan and North Borneo in 1982-83. **Ambio**, v. 14, p. 314-321, 1985.

Pacto pela restauração da Mata Atlântica. **Pacto Mata Atlântica**, 2020. Disponível em: <<https://www.pactomataatlantica.org.br/>>. Acesso em: 20/07/2022.

PARMESAN, C.; ROOT, T. L.; WILLIG, M. R. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 3, p. 443-450, 2000.

PAULA, J.E.;
IMAÑAENCINAS, J.; PEREIRA, B.A.S. Parâmetros volumétricos de biomassa de mata ripária do Córrego dos Macacos. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 21-28, 1996.

PORTES, M.T.; ALVES, T.H.; SOUZA, G.M. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckialeiocarpa* Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 4, p. 491-502, 2006.

PRADO JÚNIOR, J. A. do. Traços funcionais como preditores da similaridade funcional entre sub-bosques de florestas estacionais semidecíduais: subsídios para a conservação destes ecossistemas. 2012. 84f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Uberlândia, 2012. Disponível em: . Acesso em: 21 jul. 2014.

RIBEIRO, M.C.; METZER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, 142(6):1141-1153. 2009.

RIFAI, SW; LI; S, MALHI; Y. Coupling of El Niño events and long-term warming leads to pervasive climate extremes in the terrestrial tropics. **Environmental Research**

Letters 14(10):105002, 2019.

TESTER, M.; BACIC, A. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. **Plant Physiology**, v.137, p.791- 793, 2005

TOLEDO, A.E.P.; CERVENKA, C.J.;GONÇALVES, J.C. Recuperação de áreas degradadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 8, n. 25, p. 30-40, 1992.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G. DE; BRESSANSMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v.104, p.199-209, 2005.

TRUEBA, S.; PAN, R; SCOFFONI, C.; JOHN, G.; DAVIS, S.D.; SACK, L. Thresholds for leaf damage due to dehydration: declines of hydraulic function, stomatal conductance and cellular integrity precede those for photochemistry. **New Phytologist** 223:134–149, 2019.

WEINBERGER,P.; ROMERO, M; OLIVA, M. Ein methodischer Beitrag zur Bestimmung des subletalen (kritischen) Wassersättigungsdefizits. **Flora** 161:555–561, 1972.

WESTOBY M.; FALSTER D.S.; MOLES A.T.; VESK P.A.; WRIGHT I.J. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. **Annual Review of Ecology and Systematics** 33: 125-159, 2002.

Artigo:

Atributos funcionais e desidratação foliar letal em plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais

Leticia de Almeida Oliveira¹, Martielly Santana dos Santos¹, Junior Pastor Pérez-Molina², Marcelo Schramm Mielke¹

1 Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado km 16, CEP: 45662-900, Ilhéus, BA, Brazil

2 Laboratorio de Ecología Funcional y Ecosistemas Tropicales (LEFET), Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Omar Dengo Campus, Heredia, Costa Rica

Resumo

Eventos climáticos extremos podem ser definidos como episódios em que um período climático estatisticamente raro ou incomum altera a estrutura e a função dos ecossistemas além dos limites do que é considerado variabilidade típica ou normal. Secas severas são exemplos de eventos climáticos extremos que podem ocasionar a morte de mudas de árvores em plantios florestais. Assim, conhecimentos acerca da vulnerabilidade de espécies arbóreas à seca são importantes a fim de selecionar espécies mais adequadas para plantios comerciais num contexto de mudanças climáticas globais. Foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos da desidratação na perda da eficiência fotoquímica máxima (PLPE) de folhas de plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais com diferentes usos, características de crescimento e distribuição

geográfica. Antes do início dos ensaios de desidratação foliar letal foram avaliados os seguintes atributos foliares: área foliar individual (ILA), espessura da folha (LT), índice SPAD (SPAD), suculência foliar (LS) e massa foliar específica (LMA). Foram encontradas diferenças significativas entre espécies para os valores médios do teor relativo de água (RWC) em que ocorre uma perda de 10% ($PLPE_{de10}$) e 50% ($PLPE_{de50}$) da eficiência fotoquímica turgescência foliar máxima; sendo possível separar as espécies em três grupos: (a) espécies que apresentaram as maiores perdas de eficiência fotoquímica com a desidratação foliar, (b) espécies intermediárias e (c) espécies que apresentaram valores médios de $PLPE_{de10}$ e $PLPE_{de50}$ somente em valores muito baixos de RWC. Os resultados obtidos nesse estudo fornecem evidências de que as diferenças entre espécies estão associadas com a sua distribuição geográfica e com a altura máxima. A metodologia utilizada nesse estudo pode ser empregada para a seleção de espécies para plantios em áreas propensas a ocorrência de secas ocasionais severas.

Palavras-chave Desidratação foliar severa, fluorescência da clorofila a, Mata Atlântica, teor relativo de água.

1. Introdução

As florestas tropicais estão entre os biomas mais ricos em biodiversidade do planeta Terra (Pan et al. 2013). Além de abrigarem uma grande quantidade de organismos vivos, as florestas tropicais são de grande importância para a preservação da cultura de comunidades tradicionais (FAO-CIFOR 2019), para a manutenção dos recursos hídricos (Netzer et al. 2019) e para a atenuação das mudanças climáticas globais (Philipson et al. 2020). Apesar da sua importância, as florestas tropicais têm sido diretamente impactadas pelas atividades humanas em todo o mundo (Wright 2010; Saatchi et al.

2021). Além do desmatamento e das mudanças do uso da terra, efeitos antrópicos indiretos, causados pelas mudanças climáticas globais, podem ocasionar alterações na composição de espécies e na manutenção dos processos ecológicos em florestas cada vez mais fragmentadas (Lewis 2009; Wright 2010; Browne et al. 2021).

As mudanças climáticas globais, causadas principalmente pelo incremento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, tem como principal resultado o aumento da temperatura média da superfície da Terra. Cenários atuais indicam que as atividades humanas já causaram um aumento de cerca de 1,0 °C de aquecimento global acima do período pré-industriais, sendo provável que o aquecimento global possa atingir 1,5 °C entre 2030 e 2052 (IPCC 2018; IPCC 2021). Estima-se que as mudanças climáticas globais deverão causar perturbações em inúmeros processos fisiológicos básicos das plantas, com grande impacto na sua performance ecológica (LLoret et al. 2012; Niu et al. 2014; Ferguson 2019). Tais perturbações estão diretamente relacionadas com o aumento da temperatura e mudanças na disponibilidade hídrica (Allen et al. 2010), geralmente associadas com o aumento da ocorrência de eventos climático extremos (França et al. 2020).

De acordo com Smith (2011) eventos climáticos extremos podem ser definidos como episódios em que um período climático estatisticamente raro ou incomum altera a estrutura e a função dos ecossistemas além dos limites do que é considerado variabilidade típica ou normal. O aumento da temperatura média na superfície da Terra já vem ocasionando o aumento de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, déficit hídrico ou enchentes (Ceccherini et al. 2016). Tais eventos podem ser ocasionais ou ocorrerem em intervalos de tempo mais ou menos previsíveis, como é o caso do fenômeno conhecido como El Niño-Southern Oscillation (ENSO) (Lin e Qian 2019; Rifai et al. 2019; Browne et al. 2021). Na América do Sul e no Brasil, os ENSOs,

normalmente são acompanhado por secas na Amazônia e no Nordeste, inundações na costa tropical oeste e sudeste da América do Sul, com efeitos socioeconômicos marcantes (Cai et al. 2020). O último ENSO registrado ocorreu entre outubro de 2014 e maio de 2016, com maior intensidade a partir do final de 2015, e teve grandes impactos na vegetação e na qualidade de vida das populações humanas da região sul da Bahia. Esse evento, conhecido como ENSO 2015-16, ocasionou seca severa, com falta de água para o abastecimento de várias cidades da região (Mattos et al. 2019), além de sérios danos à agricultura regional (Gateau-Rey et al. 2018).

O plantio de espécies de árvores nativas, tanto para a produção de produtos florestais madeireiros ou não-madeireiros, é considerada uma estratégia viável para a mitigação das mudanças climáticas globais e para a restauração de serviços ecossistêmicos, além de garantir, em médio e longo prazo, fonte de renda para o produtor rural (Lamb 2012; Vergara et al. 2016). No entanto, o manejo silvicultural de árvores nativas pode ser considerado como uma atividade de risco, uma vez que o tempo entre o plantio e a colheita pode ser bastante longo. Nesse sentido, o desenvolvimento de pesquisas que visem ampliar a compreensão dos aspectos fisiológicos envolvidos nas respostas dessas espécies aos eventos climáticos extremos poderão auxiliar nas tomadas de decisões sobre a composição de espécies para plantios comerciais ou para a restauração florestal.

A desidratação foliar letal, ou a capacidade de uma folha destacada em retornar aos valores do teor relativo de água (RWC) próximos aos iniciais após um ciclo de desidratação, é uma técnica relativamente simples e utilizada a muitos anos como um índice para comparar diferentes espécies num mesmo ecossistema florestal (Weinberger et al. 1972) ou procedências de uma mesma espécie em diferentes ecossistemas (Burghardt et al. 2008). A emissão de fluorescência da clorofila a, por outro lado, é uma

técnica não-destrutiva que permite analisar a eficiência fotoquímica em plantas expostas ao estresse ambiente (Baker 2008). O rendimento quântico máximo do fotossistema II, obtido por meio da razão entre a emissão de fluorescência máxima e a fluorescência variável (F_v/F_m), é considerado um excelente indicador da eficiência fotoquímica (PE) e muito utilizado em estudos relacionados ao estresse hídrico em plantas. Embora a PE, avaliada por meio da razão F_v/F_m , apresente decréscimos significativos apenas em valores de RWC abaixo dos limites em que as folhas perdem a sua capacidade de retornar aos valores de RWC iniciais após um ciclo de desidratação (Trueba et al. 2019), diferenças entre espécies para os valores de RWC em que ocorrem perdas da PE em 10% e 50% tem sido reportadas para espécies originadas de diferentes ecossistemas (John et al. 2018; Trueba et al. 2019).

Esse estudo foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da desidratação severa na perda da PE e suas relações com atributos foliares de plantas jovens de nove espécies arbóreas tropicais com diferentes características de crescimento e distribuição geográfica. A nossa hipótese é de que a porcentagem de perda da eficiência fotoquímica (PLPE) em função da diminuição do RWC pode ser utilizada com um critério para a seleção de espécies arbóreas mais aptas para o plantio em locais propensos ao déficit hídrico ocasionado por eventos climáticos extremos. É esperado que espécies com ampla distribuição geográfica apresentem menores porcentagens de perdas de eficiência fotoquímica com a redução do RWC e espécies com distribuição geográfica limitada apresentem maiores porcentagens de perda da eficiência fotoquímica com a redução do RWC.

2. Materiais e métodos

2.1. Material vegetal

Foram utilizadas mudas de nove espécies arbóreas tropicais com características de crescimento e usos (Tabela 1) distintos, e ampla variação na sua distribuição geográfica (Figura 1). Todas as espécies arbóreas utilizadas nesse estudo são recomendadas e utilizadas em programas de restauração florestal. As espécies *Copaifera lucens* e *Gallesia integrifolia*, são recomendadas para o cultivo em sistemas agroflorestais, visando o uso múltiplo, para a produção de produtos florestais madeireiros e não-madeireiros (Feijó et al. 2009; Vidal et al. 2019; Fagundes et al. 2021). *Cariniana legalis* encontra-se entre as 15 espécies prioritárias para o manejo silvicultural de árvores nativas na Mata Atlântica (Rolim et al. 2019). *Apeibatibourbou* é uma espécie de ampla distribuição geográfica e considerada uma espécie-chave para a construção de jangadas tradicionais no litoral da região Nordeste do Brasil (Andrade et al. 2018). *Arapatiellapsilophylla*, *Cariniana legalis* e *Copaifera lucens* apresentam distribuição geográfica muito restrita (Figura 1), sendo consideradas endêmicas da Mata Atlântica (Smith et al. 2016; Fontana et al. 2018; Ostroski et al. 2018), ao passo que *Apeibatibourbou*, *Cedrela odorata* e *Tremamicrantha* são as espécies que apresentam a maior distribuição geográfica, ocorrendo na Amazônia, Mata Atlântica e florestas tropicais da América Central (Figura 1).

Mudas em tubetes de 180 cm³, produzidas no viveiro do Programa Arboretum, localizado em Teixeira de Freitas, BA (39°72'44"O; 17°56'98"S), foram transferidas para o viveiro da Universidade Estadual de Santa Cruz, localizado em Ilhéus, BA (39°13'59"O; 14°45'15"S). Após um período de aclimação de 15 dias, as mudas foram transferidas para embalagens com 1,7L de capacidade contendo solo florestal

enriquecido com matéria orgânica e foram realizados os ensaios de desidratação foliar letal.

2.2. *Desidratação foliar letal*

Os ensaios de desidratação foliar letal foram realizados a partir de uma adaptação das metodologias descritas por Weinberger et al. (1972), Burghardt et al. (2008), John et al. (2018) e Trueba et al. (2019). Para tal, no final do dia anterior de cada ensaio, três plantas por espécie, bem irrigadas, foram levadas para o laboratório, totalizando 27 plantas de nove espécies. As plantas foram borrifadas com água destilada e cobertas com sacos pretos. No início da manhã do dia seguinte, foi selecionada uma folha por planta e foram colocados os cliques para medição da fluorescência da clorofila por meio de um fluorômetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments, UK), para a obtenção da eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (F_v/F_m , ou PI). Logo após a medição da fluorescência da clorofila, as folhas foram retiradas das plantas e foram obtidas as imagens digitais, medidas a LT, o índice SPAD e a folha foi pesada em balança analítica para a obtenção da LMs. Após esses procedimentos, as folhas foram colocadas sob a bancada do laboratório e pesadas em intervalos de 1, 2, 4, 10, 24, 32, 48, 52, 58, 72, 76 e 82 horas, para a obtenção da massa fresca atual durante a desidratação (LM_{de}) em cada horário. No momento de cada pesagem foi medida simultaneamente a emissão de fluorescência da clorofila. Ao término das 82 horas, as folhas foram colocadas em estufa de circulação de ar forçado a 60°C para a obtenção da LMd. O teor relativo de água (RWC) foi calculado a partir dos valores de LMs, LM_{de} e LMd para cada horário de medição, por meio da fórmula $RWC = (LM_{de} - LMD) / (LMs - LMD)$. As porcentagens de perda da PE na desidratação (PLPE_{de}) foram calculadas por meio da fórmula $PLPE_{de} = 100 \times (1 - PE_{de} / PE_s)$; onde PE_{de} é o valor da razão F_v/F_m em cada valor de LM_{de} e PE_s é o valor da razão F_v/F_m da folha em saturação hídrica, que

corresponde a massa fresca saturada da folha individual antes da desidratação (LMs).

2.3. *Atributos foliares*

Antes do início dos ensaios de desidratação foliar letal foram avaliados os seguintes atributos foliares: área foliar individual (ILA), espessura da folha (LT), índice SPAD (SPAD) e massa foliar específica (LMA). A ILA foi calculada por meio de imagens digitais, utilizando o software ImageJ (Abràmoff et al. 2004, Brito-Rocha et al. 2017). Para tal, antes do início de cada ensaio de desidratação, foram obtidas imagens digitais das folhas por meio do escaneamento, utilizando-se uma impressora HP Deskjet Ink Advantage 2676 e uma escala para o cálculo da ILA. A LT foi medida por meio de um micrômetro analógico (Zaas Precision, Brasil), sendo que foram realizadas três medidas na região mediana da folha e a partir dos dados foi calculada a média. O índice SPAD por meio de um medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta, Japão). A massa foliar específica (LMA) por meio da fórmula $LMA = LMD/ILA$; onde LMD é a massa seca da folha individual. Detalhes das metodologias para a obtenção de LMD estão descritas nos ensaios de desidratação.

2.4. *Análise de dados*

Os valores de RWC para $PLPE_{de}$ em 10% e 50% ($RWC_{PLPE_{de}10}$ e $RWC_{PLPE_{de}50}$, respectivamente) foram determinadas pelo ajuste da relação do $PLPE_{de}$ ao longo da diminuição do RWC, usando o melhor ajuste de três funções de formatos diferentes: linear, exponencial e sigmóide. Os mesmos modelos foram usados para calcular o tempo de desidratação (horas) para RWC em $PLPE_{de}10$ e $PLPE_{de}50$ ($Tempo_{RWC_{PLPE_{de}10}}$ e $Tempo_{RWC_{PLPE_{de}50}}$, respectivamente), usando a função de melhor ajuste para a resposta do RWC médio sobre o aumento da desidratação no curso do tempo (horas) para cada espécie. Todas as funções foram comparadas usando

máxima verossimilhança e o melhor ajuste foi selecionado de acordo com o critério de informação de Akaike mais baixo corrigido para amostras pequenas (AICc, Berk, 2018). Ao total foram realizados 81 ajustes de curvas para as relações entre RWC e PLPE e 81 ajustes de curvas para as relações entre o tempo e RWC. Os valores médios de $RWC_{PLPEde10}$, $RWC_{PLPEde50}$, $Tempo_RWC_{PLPEde10}$, $Tempo_RWC_{PLPEde50}$ e os atributos foliares foram comparados entre as espécies usando uma ANOVA unilateral ou teste Kruskal-Wallis, com teste Tukey ou teste de Bonferroni (respectivamente). Os coeficientes de correlação de Spearman com correlações cruzadas bivariadas de variáveis de atributos foliares com $RWC_{PLPEde10}$ e $RWC_{PLPEde50}$ foram calculados. Foi calculada a variabilidade do RWC e do tempo de desidratação de $PLPE_{de}$ em 10% e 50%, comparado seus coeficientes de variação (CVs) e intervalo (mín.-máx.), usando o teste de razão de verossimilhança sinalizada (SLRT) para igualdade de CVs. O SLRT foi implementado usando o pacote R (Marwick e Krishnamoorthy, 2019). Todas as análises estatísticas foram realizadas com a linguagem de programação R, versão 4.1.0 (RCoreTeam, 2021) com um nível de significância $\alpha = 0.05$.

3. Resultados

Diferenças significativas entre espécies foram encontradas para os valores médios de LMA (Figura 2A), LT (Figura 2B) e SPAD (Figura 2C). Os maiores e menores valores médios de LMA (Figura 2A) e LT (Figura 2B) foram encontrados para *G. gardneriana* (149,6 g m⁻² e 0,31 mm) e *C. odorata* (32 g m⁻² e 0,15 mm), respectivamente. O maior e o menor valor médio de SPAD foram encontrados para *G. integrifolia* (46) e *B. stipulaceae* (30) (Figura 2C).

Para as relações entre RWC e PLPE (Figura 3), considerando todas as espécies

estudadas, foram encontrados valores bastante altos e significativos para os coeficientes de determinação (R^2); variando entre 0,84, para *G. gardneriana* (Figura 3H), e 0,96, para *A. tibourbou* (Figura 3A). De forma semelhante, para todas as espécies estudadas foram encontrados valores bastante altos e significativos para os R^2 das relações entre tempo de desidratação e RWC (Figura 4); variando entre 0,93, para *C. odorata* (Figura 4E) e *G. integrifolia* (Figura 4G), e 0,97, para *C. lucens* (Figura 3F).

Diferenças significativas entre espécies foram verificadas para os valores médios de $RWC_{PLPE_{de10}}$ e $RWC_{PLPE_{de50}}$ (Figura 5A) e para os valores médios de $Time_RWC_{PLPE_{de10}}$, $Time_RWC_{PLPE_{de50}}$ (Figura 5B). Observando a Figura 5A é possível distinguir claramente três grupos, ou seja, as espécies que apresentaram as maiores perdas na eficiência fotoquímica com a desidratação foliar (*G. gardneriana*, *A. psilophylla* e *C. lucens*), as espécies intermediárias (*A. tibourbou*, *G. integrifolia* e *B. stipulaceae*) e as espécies que apresentaram valores médios de $RWC_{PLPE_{de10}}$ e $RWC_{PLPE_{de50}}$ somente em valores muito baixos de RWC (*C. legalis*, *C. odorata* e *T. micrantha*). Para *G. gardneriana* os valores de $RWC_{PLPE_{de10}}$ e $RWC_{PLPE_{de50}}$ foram, respectivamente, 64,5% e 33,3%. Ao passo que os valores de $RWC_{PLPE_{de10}}$ e $RWC_{PLPE_{de50}}$ para *T. micrantha* foram, respectivamente, 28,7% e 7,5%.

O padrão encontrado para $RWC_{PLPE_{de10}}$ e $RWC_{PLPE_{de50}}$ não se repetiu para os valores médios de $Time_RWC_{PLPE_{de10}}$, $Time_RWC_{PLPE_{de50}}$ (Figura 5B), onde somente *C. odorata*, *A. tibourbou* e *G. integrifolia* necessitaram de um tempo maior do que 40 horas para atingirem uma perda de 50% na PLPE ($PLPE_{de50}$). No entanto, pode-se observar uma diferença muito marcante entre *G. integrifolia* e *A. psilophylla* para o tempo necessário para atingirem $PLPE_{de10}$ e $PLPE_{de50}$. Para *G. integrifolia* foram necessárias 34,9 horas e 86,6 horas, respectivamente, para atingir $PLPE_{de10}$ e $PLPE_{de50}$. Por outro lado, para *A. psilophylla*, foram necessárias apenas 5,6 horas e 16,2 horas,

respectivamente, para atingir $PLPE_{de10}$ e $PLPE_{de50}$.

O maior e o menor valor dos CVs para $RWC_{PLPE_{de10}}$ foram verificados para as espécies *T. micrantha* e *A. psilophylla*, respectivamente (Tabela 2). Ao passo que o maior e o menor CV para $RWC_{PLPE_{de50}}$ foram verificados para as espécies *C. odorata* e *G. integrifolia*, respectivamente. Comparando os valores de CV entre $RWC_{PLPE_{de10}}$ e $RWC_{PLPE_{de50}}$ é possível observar um certo padrão entre as espécies, com exceção de *C. lucens* e *G. integrifolia*. Nesses casos, os valores de CV para foram, respectivamente, 2,3 e 2,5 vezes maiores para $RWC_{PLPE_{de50}}$ em relação a $RWC_{PLPE_{de10}}$. Os maiores valores de CV para $Time_RWC_{PLPE_{de10}}$ e $Time_RWC_{PLPE_{de50}}$ foram verificados para *A. psilophylla*; ao passo que os menores valores de CV para essas variáveis foram verificados para *C. legalis*. Para nenhuma das espécies estudadas foram encontradas diferenças significativas entre os valores de CV para $Time_RWC_{PLPE_{de10}}$ e $Time_RWC_{PLPE_{de50}}$.

Para o conjunto de todas as espécies e plantas utilizadas nesse estudo foram verificadas correlações altamente significativas entre LMA e $PLPE_{de10}$ ou $PLPE_{de50}$ (Tabela 3). Foram verificadas correlações significativa e altamente significativa entre LT e $PLPE_{de10}$, e entre LT e $PLPE_{de50}$, respectivamente. Não foram verificadas correlações significativas entre SPAD e $PLPE_{de10}$ ou $PLPE_{de50}$.

4. Discussão

As avaliações da desidratação foliar letal (Weinberger et al. 1972; Burghardt et al. 2008) ou do percentual de perda da capacidade de reidratação foliar (John et al. 2018; Trueba et al. 2019) são técnicas relativamente simples e que demandam o uso de poucos equipamentos de laboratório. Por outro lado, para a obtenção dos valores de

RWC críticos são necessários vários ciclos de desidratação/reidratação, sendo utilizadas muitas folhas de uma mesma planta. No presente estudo foram utilizadas mudas de árvores tropicais, provenientes de um viveiro comercial, as quais estavam crescendo em tubetes com aproximadamente 180 cm³ e tinham em torno de 20 cm de altura e poucas folhas. Assim, no presente estudo optamos por utilizar a perda da eficiência fotoquímica (PLPE), avaliada por meio da razão F_v/F_m ao longo do ciclo de desidratação. Embora seja reconhecido que os valores de $RWC_{PLPEde10}$ e $RWC_{PLPEde50}$ são obtidos em valores de RWC bem abaixo do limite de reidratação foliar (John et al. 2018; Trueba et al. 2019), o procedimento utilizado no presente estudo demonstrou ser efetivo para a separação das espécies analisadas em função da sua ocorrência geográfica e atributos funcionais.

Entre as três espécies que apresentaram valores de $RWC_{PLPEde10}$ acima de 50% (*G. gardneriana*, *A. psilophylla* e *C. lucens*) *A. psilophylla* é aquela que apresenta a menor distribuição geográfica, sendo considerada endêmica da Mata Atlântica do sul da Bahia (Ostroski et al. 2018); uma região reconhecida pela sua alta diversidade de espécies arbóreas (Martini et al. 2007) e alto nível de endemismo (Thomas et al. 1998; Saiter et al. 2016). Da mesma forma que *A. psilophylla*, *C. lucens* também é uma espécie endêmica da Mata Atlântica, mas com ocorrência menos restrita, sendo encontrada naturalmente desde o norte da Bahia até o sul do Espírito Santo (Costa 2020). Modelos paleoclimáticos tem demonstrado que a Mata Atlântica do norte do estado do Espírito Santo até o sul da Bahia tem permanecido com uma ampla cobertura florestal e um clima úmido desde o início do Holoceno, cerca de 12 mil anos atrás (Carnaval e Moritz 2008; Saiter et al. 2016). Assim, é possível que a estabilidade climática associada à distribuição regular das chuvas ao longo do ano tenham criado condições para o surgimento de um elevado nível de endemismo local, com espécies

pouco adaptadas à ocorrência de ciclos de estresse hídrico sazonais ou intermitentes.

A disponibilidade hídrica é um importante fator do ambiente físico que delimita a ocorrência de espécies de plantas em biomas e ecossistemas florestais. Em florestas tropicais decíduas ou savanas, a variação sazonal no regime de chuvas é um fator inerente e condicionante da ocorrência de espécies, as quais devem ser adaptadas a sobreviver por períodos prolongados de falta de água (Lüttge 2007). Por outro lado, mesmo em florestas tropicais úmidas, períodos curtos e intermitentes de déficit hídrico podem afetar a sobrevivência das espécies e a composição dos ecossistemas (Engelbrecht et al. 2005; Browne et al. 2021). De fato, a capacidade das diferentes espécies manter os tecidos vivos em baixos valores de RWC e sobreviver em condições de déficit hídrico é o principal fator que afeta a mortalidade e a distribuição geográfica de espécies de árvores tropicais (Engelbrecht et al. 2005; Baltzer et al. 2008; Browne et al. 2021). Assim, a diminuição no regime de chuvas ocasionada pelas mudanças climáticas globais (PBMC 2013), bem como o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, muitas vezes associados a eventos periódicos como os ENSOs, pode afetar drasticamente a sobrevivência e a ocorrência de espécies que evoluíram em ecossistemas florestais mais estáveis (Carnaval e Moritz 2008), como é o caso de *A. psilophylla* e *C. lucens*. Esses resultados trazem grande preocupação em termos da conservação de árvores nativas e endêmicas dessa região, pois, segundo projeções regionalizadas do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC 2013), existe a previsão da diminuição da precipitação pluvial entre 20-25% para a Mata Atlântica do Nordeste do Brasil entre 2041 e 2070.

Entre as três espécies que apresentaram os menores valores de $RWC_{PLPEde10}$, duas delas (*C. odorata* e *T. micranta*) também apresentam as maiores distribuições geográficas, ocorrendo em vários biomas da América do Sul e América Central.

Interessantemente, essas também foram as únicas espécies em que os valores de $RWC_{PLPEde10}$ e de $RWC_{PLPEde50}$ ocorreram abaixo de 30% e 10%, respectivamente; ao passo que *G. gardneriana* foi a única espécie que apresentou um valor de $RWC_{PLPEde50}$ acima de 30%. Nota-se ainda que o valor de $RWC_{PLPEde10}$ para *G. gardneriana* foi superior aos valores de $RWC_{PLPEde50}$ para *C. odorata* e *T. micrantha*, e muito próximo ao valor de $RWC_{PLPEde50}$ obtido para *C. legalis*, a qual também apresenta o maior Hmax entre todas as espécies utilizadas nesse estudo. De fato, a maior árvore entre todas as nove espécies analisadas é *C. legalis*, a qual pode chegar a 60 metros de altura. Essa espécie é considerada endêmica do bioma Mata Atlântica, mas com uma distribuição geográfica mais ampla do que *A. psilophylla* e *C. lucens* (Smith et al. 2016). Além disso, indivíduos de *C. legalis* podem ser encontrados tanto em florestas semidecíduas (Sanchez et al. 2010) ou em florestas úmidas próximas ao litoral (Smith et al. 2016).

As folhas são órgãos de crescimento determinado e representam um dos principais componentes da plasticidade fenotípica de plantas em relação aos fatores do ambiente, como água, luz e nutrientes (Vitória et al. 2019). Em condições de seca moderada, inicialmente ocorre o fechamento dos estômatos, limitando a perda de água pela transpiração foliar. Em condições de seca severa, no entanto, a senescência e a queda das folhas é um mecanismo que pode auxiliar a aclimação das plantas ao déficit hídrico, diminuindo a superfície de transpiração e aumentando a remobilização de nutrientes (Munné-Bosch e Alegre 2004). Nessas condições, geralmente as folhas mais velhas entram em senescência e a planta, em muitas situações, produz folhas novas, que apresentam menor área foliar e maior LMA (Poorter et al. 2009). Esse fato é particularmente crítico no caso de indivíduos jovens, os quais geralmente apresentam um pequeno número de folhas e a perda de área foliar pode ocasionar uma diminuição

severa da assimilação de carbono, podendo ocasionar a morte dos indivíduos. Além disso, diversos estudos têm demonstrado que a fase mais crítica na ontogenia de espécies arbóreas é a fase juvenil, onde as plantas apresentam poucos recursos armazenados, poucas folhas, baixa estatura e baixo volume e tamanho das raízes. Nessa fase de crescimento normalmente as plantas são mais suscetíveis à ocorrência de eventos climáticos extremos, como a falta de chuvas e a deficiência hídrica (Browne et al. 2021).

Atributos funcionais como a massa das sementes, a LMA, a densidade da madeira e a Hmax tem sido utilizados como indicadores de diferenças ecológicas entre espécies de árvores tropicais (Wright et al. 2010). A LMA é um importante atributo foliar relacionado com a distribuição regional de espécies de plantas, sendo as que espécies que ocorrem em locais com menor disponibilidade hídrica geralmente apresentam os maiores valores de LMA (de la Riva et al. 2016). A relação positiva encontrada nesse estudo entre os valores de LMA com $RWC_{PLPEde10}$ e de $RWC_{PLPEde50}$ não corrobora com a expectativa de que espécies com maior tolerância à dessecação foliar também apresentariam os maiores valores de LMA. Nesse sentido, deve-se salientar que a maioria das espécies analisadas nesse estudo não ocorrem em locais onde a disponibilidade hídrica é um fator limitante, como savanas e florestas decíduas; com exceção de *G. gardneriana*, que tem ocorrências registradas nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Muniz 2020). Apesar de ter apresentado o maior valor de LMA, *G. gardneriana* também apresentou valores de $RWC_{PLPEde10}$ e de $RWC_{PLPEde50}$ acima de 60% e 30%, respectivamente. No entanto, mesmo em biomas onde a limitação hídrica é um fator característico do ambiente físico, essa espécie ocorre sempre em manchas de florestas maduras localizadas em ambientes mais úmidos, próximas de nascentes ou em matas ciliares (Asinelli et al. 2011). Além disso, *G.*

gardneriana apresenta dispersão zoocórica e é uma das raras espécies de árvores conhecidas que apresenta sementes recalcitrantes e com dormência física (Viana et al. 2020). Ou seja, no caso de *G. gardneriana*, a dispersão por zoocoria, associada com as características das sementes, pode ser uma eficiente estratégia que permite o estabelecimento das plantas jovens somente em ambientes com maior disponibilidade hídrica, ao mesmo tempo garantindo a sua ampla distribuição geográfica.

Considerando a atual necessidade de implementação de plantios com árvores nativas e a crescente ocorrência de secas ocasionais severas, a metodologia utilizada nesse estudo demonstrou ser eficaz para a separação de espécies florestais que apresentam maior ou menor capacidade em lidar com a desidratação foliar severa. Assim, no caso de regiões mais propensas à ocorrência de secas severas, ou mesmo em locais que apresentam solos com menor capacidade de retenção de água, o uso de espécies que apresentam mais capacidade para tolerar a desidratação foliar pode ser uma alternativa para diminuir a mortalidade e a perda de mudas nos primeiros meses após o plantio no campo. Além disso, mesmo em regiões com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, mas em situações nas quais os plantios podem estar localizados em áreas de difícil acesso em relação ao suprimento de água para irrigação, a seleção de espécies mais tolerantes à desidratação pode também ser uma alternativa para diminuir a mortalidade e perda de mudas, trazendo menos prejuízos econômicos e o mais rápido estabelecimento no campo.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, com nove espécies de árvores tropicais, sugerimos a realização de novos estudos com um maior número de espécies, de forma a ampliar os conhecimentos e a classificação e seleção de espécies de árvores tolerantes à seca que possam ser utilizadas nos estágios iniciais nos plantios com objetivos silviculturais ou de restauração florestal. É possível inferir que espécies

com maior distribuição demográfica, aquelas que apresentaram menores perdas de RWC com a desidratação foliar, podem ser utilizadas inicialmente e espécies com menor distribuição geográfica, que obtiveram maiores perdas de RWC com a desidratação devem ser utilizadas posteriormente, afim de evitar elevadas taxas de mortalidade.

5. Conclusões

Foram encontradas diferenças significativas entre espécies para os valores médios do teor relativo de água (RWC) em que ocorre uma perda de 10% ($PLPE_{de10}$) e 50% ($PLPE_{de50}$) da razão PE na turgescência foliar máxima; sendo possível separar as espécies em três grupos: (a) espécies que apresentaram as maiores perdas de PE com a desidratação foliar (*G. gardneriana*, *A. psilophylla* e *C. lucens*), (b) espécies intermediárias (*A. tibourbou*, *G. integrifolia* e *B. stipulaceae*) e (c) espécies que apresentaram valores médios de $PLPE_{de10}$ e $PLPE_{de50}$ somente em valores muito baixos de RWC (*C. legalis*, *C. odorata* e *T. micrantha*). Os resultados obtidos nesse estudo fornecem evidências de que as diferenças entre espécies estão associadas com a sua distribuição geográfica e com a altura máxima. A metodologia utilizada nesse estudo pode ser empregada para a seleção de espécies para plantios em áreas propensas a ocorrência de secas ocasionais severas.

Referências

- Abràmoff MD, Magalhães PJ, Ram SJ (2004) Image processing with ImageJ. *Biophotonics international* 11(7):36-42
- Allen et al. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests *Forest Ecology and Management* 259(4):660–684
- Andrade ILMM, Mielke MS, Peroni N, Schiavetti A (2018) Fishermen do more than fish: local ecological knowledge of raftsmen about the arboreal species used to construct rafts (Bahia, Brazil). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 14(1):1-15
- Asinelli MEC, Souza MCD, Mourão KSM (2011) Fruit ontogeny of *Garcinia gardneriana* (Planch. & Triana) Zappi (Clusiaceae). *Acta Botanica Brasilica* 25:43-52
- Baker NR (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology* 59:89-113
- Baltzer JL, Davies SJ, Bunyavejchewin S, Noor NSM (2008) The role of desiccation tolerance in determining tree species distributions along the Malay–Thai Peninsula. *Functional Ecology* 22(2):221-231
- Berk M (2018) sme: Smoothing-Splines Mixed-Effects Models (R package version 1.0.2). <https://cran.r-project.org/package=sme>
- Brito-Rocha E, Schilling AC, Dos Anjos L, Piotto D, Dalmolin AC, Mielke MS (2016) Regression models for estimating leaf area of seedlings and adult individuals of neotropical rainforest tree species. *Brazilian Journal of Biology* 76(4):983-989
- Browne L, Markesteijn L, Engelbrecht BM, Jones FA, Lewis OT, Manzané- Pinzón E, Comita LS (2021) Increased mortality of tropical tree seedlings during the extreme 2015–16 El Niño. *Global Change Biology* 27(20):5043-5053
- Burghardt M, Burghardt A, Gall J, Rosenberger C, Riederer M (2008) Ecophysiological

- adaptations of water relations of *Teucrium chamaedrys* L. to the hot and dry climate of xeric limestone sites in Franconia (Southern Germany). *Flora* 203:3-13
- Cai W et al. (2020) Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment* 1(4):215-231
- Carnaval AC, Moritz C (2008) Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. *Journal of Biogeography* 35(7):1187-1201
- Carvalho, PER (2003) *Espécies Arbóreas Brasileiras*. Coleção *Espécies Arbóreas Brasileiras*, vol. 1. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 423p.
- Carvalho, PER (2014) *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo/PR: Embrapa Florestas, v. 5, 123p.
- Ceccherini G, Russo S, Amezttoy I, Romero CP, Carmona-Moreno C (2016) Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16(3):821-831
- Costa JAS (2020) *Copaifera* in *Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB78656>>. Acesso em: 23 jan. 2022
- de la Riva EG, Olmo M, Poorter H, Uberschär JL, Villar R (2016) Leaf mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 Mediterranean woody species along a water availability gradient. *PloS one* 11(2):e0148788
- Engelbrecht BM, Kursar TA, Tyree MT (2005) Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest. *Trees* 19(3):312-321
- Fagundes MC, Dalmolin ÂC, Lobo LS, Schilling AC, Santos MS Mielke, MS (2021) Growth and phenotypic plasticity of two tropical tree species under low light

- availability. *Journal of Plant Ecology* 14:270-279
- FAO-CIFOR (2019) FAO Framework Methodology for Climate Change Vulnerability Assessments of Forests and Forest Dependent People.
- Feijó NSA, Mielke MS, Gomes FP, França S, Lavinsky AO (2009) Growth and photosynthetic responses of *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms and *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings in dense shade. *Agroforest Systems* 77:49-58
- Ferguson, JN (2019) Climate change and abiotic stress mechanisms in plants. *Emerging Topics in Life Sciences* 3(2):165-181
- Fontana C, Pérez-de-Lis G, Nabais C, Lousada JLPC, Olmedo GM, Botosso PC, Oliveira JM (2018) Climatic signal in growth-rings of *Copaifera lucens*: An endemic species of a Brazilian Atlantic forest hotspot, southeastern Brazil. *Dendrochronologia* 50:23-32
- França FM, Benkwitt CE, Peralta G, Robinson JP, Graham NA, Tylianakis JM, Berenguer E, Lees AC, Ferreira J, Louzada J, Barlow J (2020) Climatic and local stressor interactions threaten tropical forests and coral reefs. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 375(1794):20190116
- Gateau-Rey L, Tanner EVJ, Rapidel B, Marelli J-P, Royaert S (2018) Climate change could threaten cocoa production: Effects of 2015-16 El Niño-related drought on cocoa agroforests in Bahia, Brazil. *PLoS ONE* 13(7):e0200454
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Aquecimento global de 1,5°C. Sumário para formuladores de políticas. Grupos de Trabalho I, II e III. 27p. <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte V, P

- Zhai, A Pirani, SL Connors, C Péan, S Berger, N Caud, Y Chen, L Goldfarb, MI Gomis, M Huang, K Leitzell, E Lonnoy, JBR Matthews, TK Maycock, T Waterfield, O Yelekçi, R Yu, B Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- John GP, Henry C, Sack L (2018) Leaf rehydration capacity: Associations with other indices of drought tolerance and environment. *Plant, Cell and Environment* 41:2638-2653
- Lamb D (2012) Forest restoration - the third big silvicultural challenge. *Journal of Tropical Forest Science* 24(3):295-299
- Lewis SL et al. (2009) Changing ecology of tropical forests: evidence and drivers. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 40:529–549
- Lin J, Qian T (2019) A new picture of the Global impacts of elnino-Southern oscillation. *Scientific reports* 9(1):1-7
- Lloret F, Escudero A, Iriondo JM, Martínez- Vilalta J, Valladares F (2012) Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology* 18(3):797-805
- Lorenzi, H (1998) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. Nova Odessa, São Paulo, vol. 2, p227
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. v. 1, p 351
- Lüttge U (2007) *Physiological ecology of tropical plants*. Springer Science & Business Media
- Martini AMZ, Fiaschi P, Amorim AM, Paixão JL (2007) A hot-point within a hot-spot: a high diversity site in Brazil's Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation* 16:3111-3128.

- Marwick B, Krishnamoorthy K (2019) cvequality: Tests for the Equality of Coefficients of Variation from Multiple Groups (R package version 0.2.0). <https://cran.r-project.org/package=cvequality>
- Mattos JB, Silva KB, Silva RJ, Almeida THM, Póvoas HSS, Silva PVR, Góes IMA, Matos IS (2019) Natural factorsorenvironmentalneglect? Understanding the dilemma of a water crisis in a scenario of water plenty. *Land Use Policy* 82:509-517
- Muniz, F.H. 2020. *Garcinia* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB6853>>. Acessoem: 23 jan. 2022
- Munné-Bosch S, Alegre L (2004) Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology* 31(3):203-216
- Netzer MS, Sidman G, Pearson TR, Walker SM, Srinivasan R (2019) Combining global remote sensing products with hydrological modeling to measure the impact of tropical forest loss on water-based ecosystem services. *Forests* 10(5):413
- Niu S, Luo Y, Li D, Cao S, Xia J, Li J, Smith MD (2014) Plant growth and mortality under climatic extremes: an overview. *Environmental and Experimental Botany* 98:13-19
- Ostroski P, Saiter FZ, Amorim AM, Fiaschi P (2018) Endemic angiosperms in Bahia Coastal Forests, Brazil: an update using a newly delimited area. *Biota Neotropica* 18
- Pan Y, Birdsey RA, Phillips OL, Jackson RB (2013) The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 44:593–622
- PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2013) Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação

- Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p.
- Philipson CD et al. (2020) Active restoration accelerates the carbon recovery of human-modified tropical forests. *Science* 369(6505):838-841
- Poorter H, Niinemets Ü, Poorter L, Wright IJ, Villar R (2009) Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New phytologist* 182(3):565-588
- RCoreTeam. (2021) R: A language and environment for statistical computing (R version 4.1.0). <https://www.r-project.org/>
- Rifai SW, Li S, Malhi Y (2019) Coupling of El Niño events and long-term warming leads to pervasive climate extremes in the terrestrial tropics. *Environmental Research Letters* 14(10):105002
- Rolim SG, Fátima C. M. Piña-Rodrigues, Piotto D, Batista A, Freitas MLM, Brienza Junior S, Zakia MJB, Calmon M (2019) Research gaps and priorities in silviculture of native species in Brazil. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil. <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>
- Saatchi S, Longo M, Xu L, Yang Y, Abe H, André M, ... Elmore AC (2021) Detecting vulnerability of humid tropical forests to multiple stressors. *One Earth* 4(7):988-1003
- Saiter, FZ, Brown JL, Thomas WW, Oliveira-Filho AT, Carnaval AC (2016) Environmental correlates of floristic regions and plant turnover in the Atlantic Forest hotspot. *Journal of Biogeography* 43(12):2322-2331
- Sambuichi RHR, Silva LAM, Jesus MFC, Paixão JL (2009) Lista de árvores nativas do sul da Bahia. In: Sambuichi RHR, Mielke MS, Pereira CE (2009) *Nossas árvores : conservação, uso e manejo de árvores nativas no sul da Bahia*. Editus, Ilhéus, pp

183-233

Sanches MC, Ribeiro SP, Dalvi VC, Silva MB, Souza HC, Lemos-Filho JP (2010)

Differential leaf traits of a neotropical tree *Cariniana legalis* (Mart.)

Kuntze (Lecythidaceae): comparing saplings and emergent trees. *Trees Struct Funct*,
24: 79-88

Smith MD (2011) An ecological perspective on extreme climatic events: a synthetic definition and framework to guide future research. *Journal of Ecology* 99(3):656-663

Smith NP, Mori SA, Law W, Ribeiro M (2016) Conservation assessment of Lecythidaceae from eastern Brazil. *Kew bulletin* 71(1):1-19

Thomas WW, Carvalho AM, Amorim AMA, Garrison J, Arbeláez AL (1998) Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 7:311-322

Trueba S, Pan R, Scoffoni C, John G, Davis SD, Sack L (2019) Thresholds for leaf damage due to dehydration: declines of hydraulic function, stomatal conductance and cellular integrity precede those for photochemistry. *New Phytologist* 223:134–149

Vergara W, Lomeli LG, Rios AR, Isbell P, Prager S, Camino R (2016) The economic case for landscape restoration in Latin America. WRI, Washington

Vidal DB, Andrade ILM, Dalmolin ÂC, Mielke MS (2019) Photosynthesis and growth of copaiba seedlings subjected to soil flooding. *Floresta e Ambiente* 26(1):e20160596

Viana WG, Lando AP, Silva RAD, Costa CDD, Vieira PHM, Steiner N (2020) Physiological performance of *Garcinia gardneriana* (Planch. & Triana) Zappi: a species with recalcitrant and dormant seeds. *Journal of Seed Science* 42:e202042001

Vitória AP, Alves LF, Santiago LS (2019) Atlantic forest and leaf traits: an overview. *Trees* 33(6):1535-1547

- Weinberger P, Romero M, Oliva M (1972) Ein methodischer Beitrag zur Bestimmung des subletalen (kritischen) Wassersättigungsdefizits. *Flora* 161:555–561
- Wright SJ, Kitajima K, Kraft NJ, Reich PB, Wright IJ, Bunker DE, ... Zanne AE (2010) Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees. *Ecology* 91(12):3664–3674
- Wright SJ (2010) The future of tropical forests. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1195:1–27

Tabela 1. Características das espécies utilizadas no estudo.

Espécie	Família	Hmax(m)	Folha	Usos	Referências
<i>Apeibatibourbou</i>	Malvaceae	20	Simple, decídua	Confecção de postes, produção de pasta de celulose e construção de balsas.	Lorenzi (2000)
<i>Arapatiellapsilophylla</i>	Fabaceae	25	Composta, sempre-verde	Obras externas, principalmente na construção civil e em construções hidráulicas. Pode ser utilizada para enriquecimento em restaurações florestais.	Sambuichi et al. (2009)
<i>Byrsonimastipulacea</i>	Malpighiaceae	20	Simple	Confecção de móveis e na produção de lenha e carvão. Frutos são comercializados.	Lorenzi (1998)
<i>Cariniana legalis</i>	Lecythidaceae	60	Simple, semidecídua	Construção civil, taboado geral, carpintaria, caixotaria, saltos de sapato e compensados. Indicada para restaurações florestais.	Sambuichi et al. (2009)
<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	35	Composta, decídua	Ótima para carpintaria e marcenaria, usada também para construção naval e aeronáutica. Espécie importante para restaurações de florestais.	Sambuichi et al. (2009)
<i>Copaifera lucens</i>	Fabaceae	35	Composta, perenifolia	Madeira de alta durabilidade usada em construções civis, como vigas, caibros, ripas, tábuas para assoalho e na confecção de móveis. O principal produto é o óleo-de-copaíba.	Sambuichi et al. (2009)
<i>Galesia integrifolia</i>	Phytolaccaceae	30	Simple, decídua	Madeira pouco resistente, usada em tabuados, caixotaria, forro e construções temporárias. Pode ser utilizada em restaurações florestais.	Sambuichi et al. (2009)
<i>Garcinia gardneriana</i>	Clusiaceae	15	Simple, perenifolia	Confecção de cabos de ferramentas, moirões de cerca, esteios, na construção civil, carpintaria e marcenaria. Indicada para restaurações florestais.	Carvalho (2014)
<i>Tremamicrantha</i>	Cannabaceae	20	Simple, perenifolia	É usada em esculturas, caixotarias, esquadrias, móveis rústicos, tabuados, palitos e eventualmente em postes. Indicada para restaurações florestais.	Carvalho (2003)

Hmax – Altura máxima.

Tabela 2. Coeficientes de variação (CV), faixas de valores dos teores relativos de água (RWC) e tempo de desidratação (Time_RWC) para a porcentagem de perda da PEna desidratação (PLPEde) em 10% e 50% das nove espécies florestais estudadas.

Espécie	RWC _{PLPEde10}		RWC _{PLPEde50}		SLRT	Time_RWC _{PLPEde10}		Time_RWC _{PLPEde50}		SLRT
	CV (%)	Faixa (min.–max.)	CV (%)	Faixa (min.–max.)	statistic (P-value)	CV (%)	Faixa (min.–max.)	CV (%)	Faixa (min.–max.)	statistic (P-value)
<i>Apeibatibourbou</i>	17.8	30.4–53.1	17.6	12.1–19.2	<0.1	37.6	7.9–38.6	30.1	20.7–70.0	0.3
<i>Arapatiellapsilophylla</i>	15.6	43.1–71.3	21.9	10.4–25.5	0.8	65.9	3.3–15.0	56.1	10.4–39.7	0.2
<i>Byrsonimastipulacea</i>	34.5	17.8–61.1	31.9	5.7–17.1	<0.1	51.9	5.0–18.4	37.0	9.7–30.8	0.6
<i>Carinianalegalis</i>	34.9	19.8–53.7	35.0	9.0–23.4	<0.1	28.8	9.1–22.5	20.8	17.1–36.3	0.7
<i>Cedrelaodorata</i>	16.3	20.4–34.2	13.0	7.1–10.3	0.3	36.1	13.2–38.3	36.8	28.4–74.6	0.1
<i>Copaiferalucens</i>	17.1	41.0–71.1	38.5	3.6–28.4	4.5***	43.5	7.4–22.9	24.5	21.1–45.9	1.9
<i>Gallesiaintegrifolia</i>	24.1	21.3–57.4	60.4	0.4–19.6	4.3***	31.8	14.3–47.6	40.6	48.6–164.1	0.3
<i>Garciniagardneriana</i>	24.5	38.8–82.4	36.0	12.7–53.2	0.8	55.0	4.9–27.2	34.2	15.9–60.5	1.3
<i>Tremamicrantha</i>	42.2	13.4–49.1	39.8	2.3–13.3	0.1	41.0	3.9–18.6	25.6	8.5–27.0	1.4

SLRT: teste de razão de verossimilhanças para igualdade de CVs; Os valores em negrito indicam uma diferença significativa (***: P<0.001).

Tabela 3. Correlações entre os atributos foliares com os valores do teor relativo de água (RWC) que correspondem a perda da eficiência fotoquímica máxima do PSII em 10% (RWC_{PLPEde10}) e 50% (RWC_{PLPEde50}) para o conjunto de todas as espécies e plantas utilizadas nesse estudo.

	SLM	LT	SPAD
RWC _{PLPEde10}	0.54***	0.28*	0.16
RWC _{PLPEde50}	0.61***	0.44***	0.11

Coefficientes de correlação de Spearman de correlações cruzadas bivariadas. Para SLM, LT e SPAD, n = 81. Valores em negrito indicam correlações significativas (*: P<0.05; **:P<0.01; and***:P<0.001).

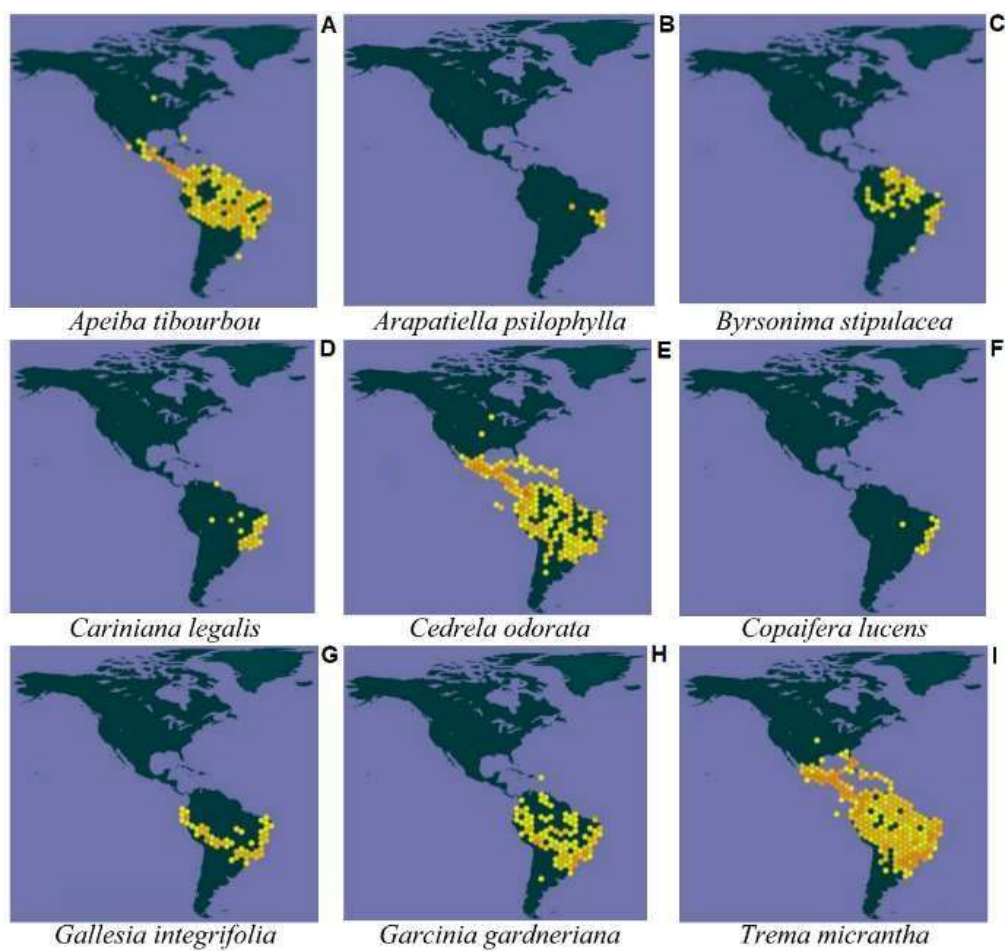


Figura 1. Distribuição das nove espécies florestais estudadas na América (A–I), de acordo com a coleção da base de dados do [according to the database collection of Informações de Biodiversidades Globais Facility \(GBIF: www.gbif.org; from 1778 to 2021\)](http://www.gbif.org).

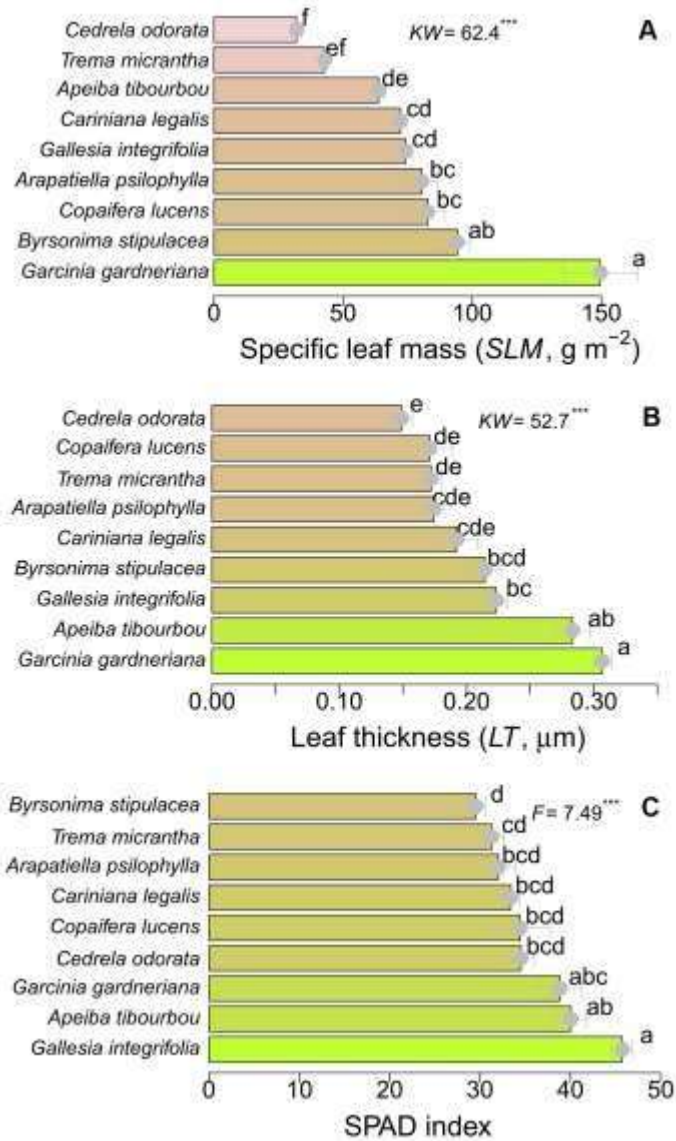


Figura 2. Comparações entre os atributos foliares das nove espécies florestais estudadas. Letras iguais indicam que não há diferença estatística entre as espécies ($P > 0.05$, teste de Bonferroni para A–E e teste de Tukey HSD's para F). O gradiente de cor enfatiza as comparações entre as espécies para cada variável. KW = Kruskal-Wallis value; F = Fisher value; ***: $P < 0.001$; Barras são erro padrão.

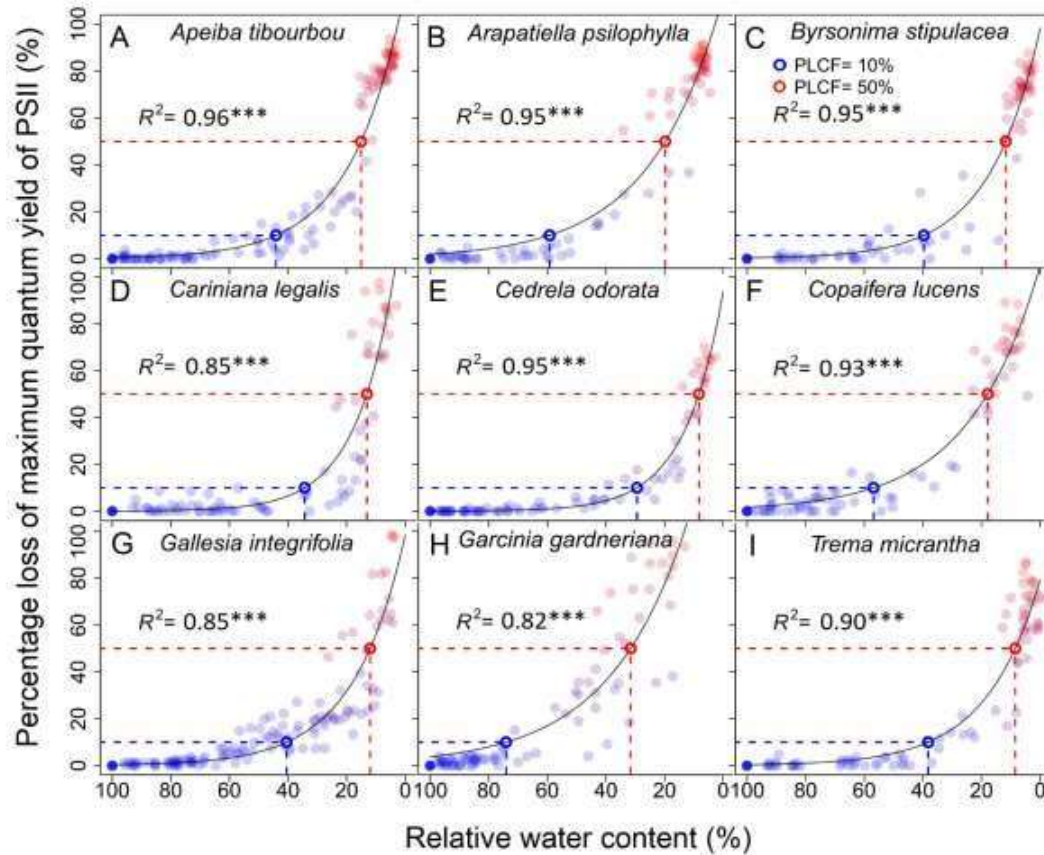


Figura 3. Resposta da Porcentagem de perda da F_v/F_m na desidratação (F_v/F_m ; identificado no texto como PLPE) sobre o decréscimo do teor relativo de água (RWC) para as nove espécies estudadas (A–I). Do gradiente azul ao vermelho são mostrados os níveis de RWC e as folhas mensuradas. Linhas de regressão sólidas são os melhores modelos ajustados. As linhas tracejadas em cada gráfico indicam o RWC associado com 10% (azul) e 50% (vermelho) de perdas do F_v/F_m . R^2 : coeficiente de determinação, ***: $P < 0.001$.

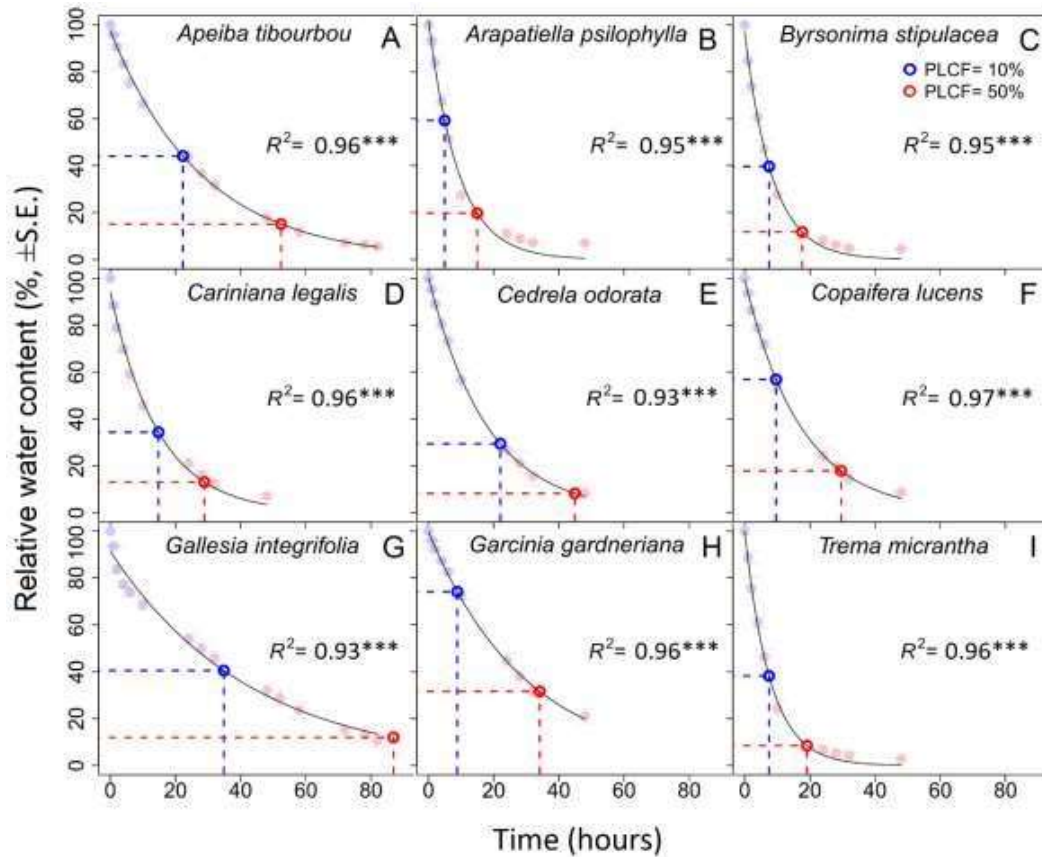


Figura 4. Respostas do teor relativo de água médio (RWC) sobre o aumento da desidratação no curso do tempo (horas) para as nove espécies florestais estudadas (A – I). O gradiente de cor de azul a vermelho mostra o nível médio de RWC e as folhas medidas. Linhas de regressão sólidas são modelos de melhor ajuste. As linhas tracejadas em cada gráfico indicam o RWC e o tempo associado a 10% (azul) e 50% (vermelho) da Porcentagem de perda da eficiência fotoquímica na desidratação (F_v / F_m ; anotado no texto como PLCF). R^2 : coeficiente de determinação, ***: $P < 0,001$. S.E.: erro padrão.

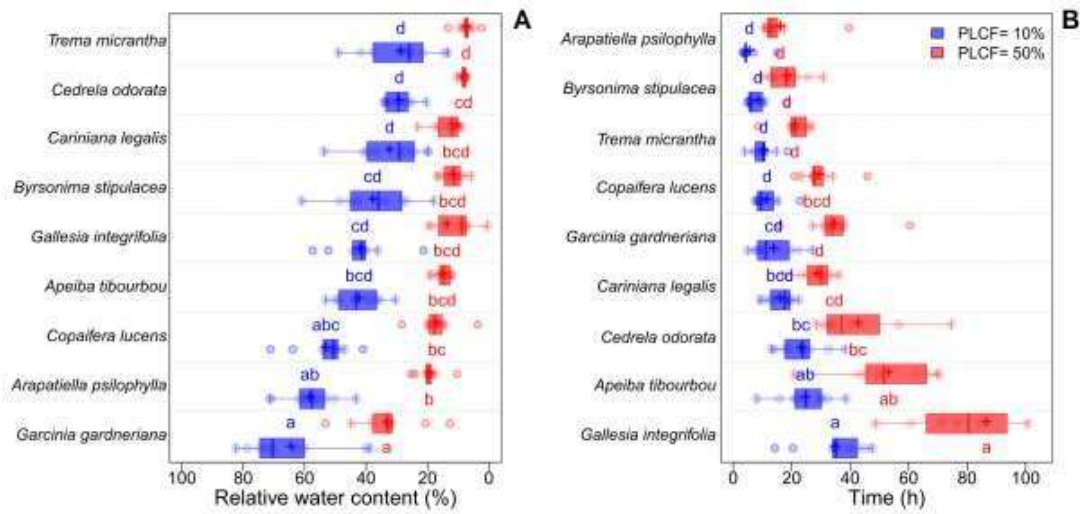


Figura 5. Comparações do teor relativo médio de água (A) e tempo de desidratação (B) entre nove espécies florestais estudadas para Porcentagem de perda da PE na desidratação a 10% e 50% (PLPEde). Letras iguais indicam que não há diferença estatisticamente significativa entre as espécies em cada PLPEde (10% ou 50%) ($P > 0.05$, Tukey HSD's)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao panorama de aumento de incidência de eventos climáticos extremos, torna-se importante o estudo de como as espécies se comportam perante a momentos de estresse. Com base nos resultados obtidos, foi possível observar diferenças significativas na perda da eficiência fotoquímica com a desidratação foliar entre as espécies analisadas.

Em relação às espécies que apresentaram maiores perdas na eficiência fotoquímica com a desidratação (*G. gardneriana*, *A. psilophylla* e *C. lucens*), todas são endêmicas da Mata atlântica. Ao passo que dentre as espécies que apresentaram menor perda, *C. odorata* e *T. micrantha* apresentam ampla distribuição geográfica. Quanto aos traços funcionais foliares, ao contrário do esperado, a LMA apresentou relação positiva com $RWC_{PLPEde10}$ e de $RWC_{PLPEde50}$.

A técnica de desidratação foliar letal demonstrou ser adequada para identificar o grau de tolerância das espécies à perda da eficiência fotoquímica com a desidratação foliar. Contudo, são recomendados estudos posteriores para que haja informações sobre um maior número de espécies, tendo em vista que não foram realizados muitos estudos do tipo e a importância do plantio de mudas de espécies florestais nativas para a restauração das florestas tropicais.