

MARINA EFIGENIA GONÇALVES

**O AQUECIMENTO ATMOSFÉRICO MODERADO MELHORA A EFICIÊNCIA
FOTOQUÍMICA E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE DUAS ESPÉCIES DE PLANTAS
DO GÊNERO *DIMORPHANDRA***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: João Paulo de Souza.

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2024

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G635a
2024

Gonçalves, Marina Efigenia, 1996-

O aquecimento atmosférico moderado melhora a eficiência fotoquímica e a produção de biomassa de duas espécies de plantas do gênero *Dimorphandra* / Marina Efigenia Gonçalves. – Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (49 f.): il.

Inclui apêndice.

Orientador: João Paulo de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia Geral, 2024.

Referências bibliográficas: f. 37-45.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.377>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Mudanças climáticas. 2. Aquecimento global.
3. Fotoquímica. 4. Biomassa vegetal. 5. Análise de sobrevivência (Biometria). I. Souza, João Paulo de, 1981-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 363.73874

MARINA EFIGENIA GONÇALVES

**O AQUECIMENTO ATMOSFÉRICO MODERADO MELHORA A EFICIÊNCIA
FOTOQUÍMICA E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE DUAS ESPÉCIES DE PLANTAS
DO GÊNERO *DIMORPHANDRA***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: João Paulo de Souza.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2024

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **MARINA EFIGENIA GONÇALVES**
Data: 30/07/2024 11:21:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marina Efigenia Gonçalves

Autor

Documento assinado digitalmente
 **JOAO PAULO DE SOUZA**
Data: 30/07/2024 12:43:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

João Paulo de Souza

Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, professor Dr. João Paulo de Souza, por todos os sete anos de orientação na pesquisa, por sua paciência e incentivo durante meu mestrado. Agradeço também por compartilhar comigo um pouco do que aprendeu em seus anos de carreira, esses conhecimentos foram essenciais para o meu crescimento profissional e pessoal.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Dra. Nayara Magry Jesus Melo pela ajuda na coleta destrutiva e pelas incontáveis dicas e correções.

A todos os meus colegas do Laboratório de Ecologia Funcional de Plantas (LEFUP), em especial ao Rafael Nonato e à Maria Gracielle, pela ajuda na montagem do experimento.

À doutoranda Isadora Rodrigues Medina e ao Laboratório de Fisiologia do Estresse Abiótico (LASP) pela ajuda na análise de MDA.

A toda a minha família, em especial a minha mãe Solange e meus irmãos, Flávia e Alex, que sempre me apoiaram e estiveram comigo em todas as situações.

Ao meu namorado, Erich, pela ajuda no processamento de alguns dos meus dados e por estar sempre presente, torcendo por mim.

Aos amigos que a UFV me trouxe, Natália Yoshinaga, Gabriel Tadeu, Bruno Oliveira e Tatiane Teodoro por estarem ao meu lado me apoiando e incentivando.

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

RESUMO

GONÇALVES, Marina Efigenia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **O aquecimento atmosférico moderado melhora a eficiência fotoquímica e a produção de biomassa de duas espécies de plantas do gênero *Dimorphandra***. Orientador: João Paulo de Souza.

Um dos fatores das mudanças climáticas que mais interfere na fisiologia e crescimento das plantas é o aquecimento atmosférico. Contudo, as plantas podem lidar com o aquecimento por meio da plasticidade fenotípica em suas características funcionais. Desta forma, nossos objetivos foram avaliar a influência de dois cenários de aumento na temperatura do ar sobre o crescimento inicial e a morfofisiologia de plantas de *Dimorphandra mollis* e *Dimorphandra wilsonii* e comparar a plasticidade fenotípica das respostas funcionais das duas espécies em relação à diferença na temperatura atmosférica. Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* foram cultivadas durante cem dias em três câmaras de germinação, representando três tratamentos de temperatura: temperatura ambiente (25 °C/23,7 °C (dia/noite)); aquecimento moderado (27,7 °C/26,4 °C); e aquecimento alto (29,4 °C/28,1 °C). Nossos resultados mostraram que o aquecimento moderado aumentou os índices de clorofila e produção de biomassa em plantas jovens de *D. mollis* e *D. wilsonii*. Os maiores índices de clorofila evidenciam um aumento na capacidade de absorção de luz, o que reflete em maior eficiência fotoquímica das plantas. Dessa forma, maiores índices de clorofila podem ter contribuído para a maior produção de massa seca para raízes, caules e folhas nessas plantas. Contudo, as plantas sob aquecimento moderado apresentaram também aumento na razão raiz/parte aérea, indicando uma alteração no padrão de alocação de biomassa, com maior investimento em raiz do que em parte aérea. Por outro lado, plantas sob aquecimento alto apresentaram indícios de aclimação térmica, como o alongamento do hipocótilo e do pecíolo e diminuição na área foliar específica. Porém, mesmo com esses ajustes para tolerar o aumento na temperatura, a sobrevivência nesse tratamento foi menor. Dessa forma, o futuro aumento moderado na temperatura do ar pode ser benéfico para as plantas estudadas, enquanto aumentos intensos poderão trazer prejuízos. Em adição, plantas de *D. wilsonii* demonstraram maior plasticidade fenotípica do que *D. mollis*, o que pode contribuir para que ela se ajuste mais rapidamente frente ao aquecimento atmosférico.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Plasticidade fenotípica; Taxa de sobrevivência; Termomorfogênese.

ABSTRACT

GONÇALVES, Marina Efigenia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Moderate atmospheric warming improves photochemical efficiency and biomass production of two plant species of the genus *Dimorphandra*.** Adviser: João Paulo de Souza.

One of the climate change factors that most interfere with plant physiology and growth is atmospheric warming. However, plants may cope with warming through phenotypic plasticity in their functional traits. Thus, our objectives were to evaluate the influence of two scenarios of increased air temperature on the early growth and morphophysiology of *Dimorphandra mollis* and *Dimorphandra wilsonii* plants and compare the phenotypic plasticity of the functional responses of the two species due to the difference at atmospheric temperature. *Dimorphandra mollis* and *D. wilsonii* plants grew for one hundred days in three germination chambers, representing three temperature treatments: ambient temperature (25 °C/23.7 °C (day/night)); moderate warming (27.7 °C/26.4 °C); and high warming (29.4 °C/28.1 °C). Our results showed that moderate warming increased chlorophyll indices and biomass production in young *D. mollis* and *D. wilsonii* plants. Higher levels of chlorophyll indicate an increase in the light absorption capacity, which suggests a greater photochemical efficiency of plants. Therefore, higher levels of chlorophyll may have contributed to the greater production of dry mass for roots, stems and leaves in these plants. However, plants under moderate warming also showed an increase in the root/shoot ratio, indicating a change in the biomass allocation pattern, with greater investment in roots than in shoots. On the other hand, plants under high warming showed signs of thermal acclimation, such as hypocotyl and petiole elongation and a decrease in specific leaf area. However, even with these adjustments to tolerate the increase in temperature, survival in this treatment was lower. Thus, future moderate warming in air temperatures may benefit the plants studied, while intense increases may cause harm. Also, *D. wilsonii* plants demonstrated greater phenotypic plasticity than *D. mollis*, which may contribute to it adjusting more quickly to atmospheric warming.

Keywords: Climate change; Phenotypic plasticity; Survival rate; Thermomorphogenesis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1 <i>Espécies vegetais</i>	10
2.2 <i>Tratamento pré-germinativo e desenho experimental</i>	10
2.3 <i>Avaliação da emergência e desenvolvimento inicial</i>	12
2.4 <i>Taxa de sobrevivência</i>	12
2.5 <i>Índice de clorofila foliar</i>	12
2.6 <i>Concentração de malondialdeído</i>	13
2.7 <i>Morfometria vegetativa</i>	13
2.8 <i>Alocação de biomassa, área foliar e índices biométricos</i>	14
2.9 <i>Estimativa da plasticidade fenotípica</i>	15
2.10 <i>Análise estatística</i>	15
3. RESULTADOS	16
3.1 <i>Emergência, desenvolvimento inicial e taxa de sobrevivência</i>	16
3.2 <i>Índice de clorofila foliar</i>	18
3.3 <i>Concentração de malondialdeído</i>	20
3.4 <i>Morfometria vegetativa</i>	20
3.5 <i>Alocação de biomassa, área foliar e índices biométricos</i>	24
3.6 <i>Estimativa da plasticidade fenotípica</i>	30
4. DISCUSSÃO	31
4.1 <i>Comparação entre os tratamentos de temperatura</i>	31
4.2 <i>Estimativa de plasticidade fenotípica</i>	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6. REFERÊNCIAS:	37
APÊNDICE A - MATERIAL SUPLEMENTAR	46

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais, decorrentes das ações antrópicas, são uma das maiores preocupações da atualidade (Leal Filho et al., 2021). Estas mudanças estão associadas ao aumento de queimadas, desmatamento, mudanças no uso da terra (Nobre et al., 2007), e, principalmente, ao aumento na emissão de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂) e metano (IPCC, 2021). A intensificação na emissão desses gases é responsável por elevar a temperatura média global (Gitay et al., 2002). De acordo com dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, a temperatura pode aumentar até 5,7 °C ainda no final deste século (IPCC, 2021). Com o aquecimento, observa-se também um aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, períodos prolongados de seca e inundações (Coumou & Rahmstorf, 2012; Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020).

Desta forma, as mudanças climáticas estão entre as principais ameaças aos ecossistemas (Yu et al., 2019), com consequências diretas para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos (Allen et al., 2010; Hoover et al., 2012). As plantas, por serem organismos sésseis, são incapazes de procurar locais mais adequados à sua sobrevivência (Lee et al., 2020), por isso estão particularmente expostas às mudanças ambientais, sendo muito afetadas por elas (Lang et al., 2019). Diversos estudos apontam que as alterações no clima têm levado à maior mortalidade de árvores em todo o mundo (Allen et al., 2010), tanto em florestas tropicais (McDowell et al., 2018; Aleixo et al., 2019) quanto temperadas (Mantgem & Stephenson, 2007; Peng et al., 2011; Liu et al., 2023). Para várias espécies arbóreas, de biomas brasileiros, é esperado diminuição de suas áreas de ocorrência, ou mesmo sua extinção local (Siqueira & Peterson, 2003; Colombo & Joly, 2010; Velazco et al., 2019). Com isso, as espécies vegetais podem ser obrigadas a migrar de seus locais atuais de ocorrência para manter seu ótimo adaptativo. No entanto, esta opção pode ser limitada para espécies com longas gerações (Aitken et al., 2008) e devido às paisagens se encontrarem altamente fragmentadas (Jump & Peñuelas, 2005).

Uma das variáveis de mudanças climáticas que mais afeta a distribuição e a produtividade das plantas é a temperatura (Mittler, 2006; Sage & Kubien, 2007; Nievola et al., 2017). Contudo, as respostas das plantas ao aquecimento variam conforme a espécie analisada e fatores ambientais, como a disponibilidade de água (Sage & Kubien, 2007) e nutrientes no solo (Thakur et al., 2014). O aquecimento pode ser benéfico quando permanece dentro da faixa fisiológica ideal de

temperatura para a espécie, o que intensifica a atividade enzimática (Dusenge et al., 2019) e como consequência, a assimilação de carbono e o transporte de elétrons entre os fotossistemas (Martinez et al., 2014). De acordo com Yuan et al. (2018), um aquecimento entre 0,3 e 10 °C levou ao aumento na produção de biomassa total, altura e área foliar específica de plantas lenhosas de clima temperado, sendo esse efeito maior para aumentos de temperatura de até 2 °C. A elevação de 2 °C na temperatura ambiente também resultou em aumento no conteúdo de clorofila, eficiência fotoquímica e melhora na proteção antioxidante de plantas de *Stylosanthes capitata* Vogel, uma leguminosa C₃ nativa do cerrado (Martinez et al., 2014). Ademais, tanto plantas de clima temperado quanto tropical, cultivadas sob temperatura elevada, podem apresentar aumento na biomassa radicular (Fu et al., 2015; Carvalho et al., 2020) e área de folha (Ribeiro et al., 2012). Por outro lado, se o aumento na temperatura excede o ótimo térmico da espécie, pode levar a danos irreversíveis (Martinez et al., 2015), com diminuição no crescimento e alterações na alocação de biomassa (Teskey et al., 2015). Um aumento de 5 °C na temperatura ambiente levou à redução significativa no tempo de vida e na biomassa de plantas de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh (Jin et al., 2011). Além disso, plantas de *Triticum aestivum* L. cultivadas em elevada temperatura (35 °C) apresentaram menor conteúdo de clorofila foliar (Yamasaki et al., 2002), o que pode ser devido à inibição de enzimas envolvidas na biossíntese de clorofila (Tewari & Tripathy, 1998; Mohanty et al., 2006).

A persistência das espécies no ambiente diante das rápidas mudanças climáticas depende de como elas podem lidar com essas mudanças, o que é influenciado diretamente pelo grau de plasticidade fenotípica das mesmas (Jump e Peñuelas, 2005; Becklin et al., 2016). Assim, a compreensão dessa plasticidade será crucial para prever mudanças na distribuição de espécies e composição futura das comunidades (Van Kleunen e Fischer, 2007; Gratani, 2014). As espécies vegetais, de maneira geral, são organismos plásticos (Sultan, 2000); entretanto, a plasticidade difere entre espécies e características e se modifica conforme o ambiente (Valladares et al., 2002; Richards et al., 2006). Além disso, a plasticidade fenotípica está associada também ao fenômeno de hibridização, uma vez que plantas híbridas geralmente apresentam maior plasticidade fenotípica que seus progenitores (Cara et al., 2013; Gallego-Tévar et al., 2018). Um exemplo de hibridização é a que ocorreu com a espécie arbórea *Dimorphandra wilsonii* Rizzini (Fabaceae), um híbrido resultante do cruzamento entre *Dimorphandra mollis* Benth e *Dimorphandra exaltata* Schott (Muniz et al., 2020). O gênero *Dimorphandra* é típico de regiões tropicais (Silva, 1986), sendo *D.*

mollis uma espécie que ocorre naturalmente no cerrado (Ratter et al., 2003) e *D. exaltata* na Mata Atlântica (Muniz et al., 2020), enquanto *D. wilsonii* coocorre com essas duas espécies (Muniz et al., 2020), estando presente em ambos os biomas e sobretudo nas áreas ecotonais entre eles (Fernandes & Rego, 2014).

As plantas de regiões tropicais frequentemente demonstram elevada plasticidade fenotípica frente a aumentos de temperatura, exibindo alta termotolerância (O'Sullivan et al., 2017; Tiwari et al., 2020). Entretanto, são escassos os estudos que caracterizam os efeitos do aquecimento nessas plantas (Martinez et al., 2014; Martinez et al., 2015; Sastry & Barua, 2017), especialmente em faixas de temperatura onde não há lesão aparente no aparato fotossintético (Sage & Kubien, 2007). Também são limitados os estudos que investigam as respostas de germinação e estabelecimento (recrutamento) das plantas às mudanças climáticas (Ooi, 2012), ainda que os estágios iniciais do ciclo de vida dos vegetais sejam os mais vulneráveis à essas mudanças (Walck et al., 2011). Sendo assim, são necessários mais estudos que buscam caracterizar o impacto das mudanças climáticas para plantas de regiões tropicais, especialmente nas fases iniciais de seu ciclo de vida. Os conhecimentos gerados por tais estudos podem ser usados para a conservação dessas espécies e preservação dos serviços ecossistêmicos desempenhados por elas (Hoover et al., 2012).

Desta forma, nossos objetivos com o presente estudo foram: 1) avaliar a influência de dois cenários de aumento na temperatura do ar sobre o crescimento inicial e a morfofisiologia de plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* e 2) comparar a plasticidade fenotípica das respostas funcionais das duas espécies em relação à diferença na temperatura atmosférica. Nossa hipótese é que o aumento da temperatura atmosférica irá influenciar o crescimento inicial, a morfofisiologia e a plasticidade fenotípica das duas espécies do gênero *Dimorphandra*. Esperamos que o aquecimento atmosférico moderado (cenário otimista) resulte em um aumento no conteúdo de clorofila. Esse aumento no conteúdo de clorofila poderia aumentar a eficiência na conversão de luz em energia química, elevando as taxas fotossintéticas e acúmulo de biomassa nessas plantas. Para o tratamento de aquecimento alto (cenário pessimista), por outro lado, é esperado um menor conteúdo de clorofila foliar, além de menor acúmulo de biomassa total. Em adição, esperamos que *D. wilsonii* tenha maior plasticidade fenotípica para as características funcionais analisadas, quando comparada a *D. mollis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Espécies vegetais*

As espécies utilizadas neste estudo foram *Dimorphandra mollis* e *Dimorphandra wilsonii* (Fabaceae). *Dimorphandra mollis*, conhecida como Fava d'anta, é uma espécie arbórea encontrada no Brasil, Bolívia e Paraguai (Silva, 1986). No Brasil ela ocorre nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul (Lorenzi, 1992; Pacheco et al., 2010), Pará (Pacheco et al., 2010) e no Distrito Federal (Borghetti et al., 2019). A espécie ocorre majoritariamente em áreas de cerrado, apresentando de 8 a 30 indivíduos adultos por hectare em áreas de cerrado do Brasil central (Ratter et al., 2003), porém, é descrita também para áreas de Floresta Estacional Decidual (Damasceno-Junior et al., 2018) e Semidecidual (Marangon et al., 2003). Por outro lado, *D. wilsonii*, um híbrido F₁ entre *D. mollis* e *D. exaltata* (Muniz et al., 2020), é uma espécie arbórea, endêmica da região central de Minas Gerais, que ocorre nos biomas Cerrado e Mata Atlântica, predominantemente nas áreas ecotonais entre esses biomas (Fernandes & Rego, 2014). Essa espécie, comumente conhecida como Faveiro de Wilson, se encontra ameaçada de extinção (Martinelli & Moraes, 2013), devido principalmente ao declínio de sua população, resultado da severa antropização e descaracterização de seu hábitat (Martinelli & Moraes, 2013; Martins et al., 2014).

2.2 *Tratamento pré-germinativo e desenho experimental*

Para a germinação, duzentos e quarenta sementes de cada espécie passaram por um protocolo de assepsia, com hipoclorito de sódio 5%, durante quinze minutos (Freitas et al., 2009) e em seguida foram lavadas sucessivas vezes em água destilada. Na sequência foi utilizado o método de escarificação mecânica, para quebrar a dormência física das sementes (Lopes & Matheus, 2008; Freitas et al., 2009). Estas foram semeadas em copos plásticos de 300 ml (quatro sementes em cada copo), contendo 270g de solo típico de áreas de cerrado (características do solo apresentadas na Tabela S1), o qual foi previamente autoclavado. Inicialmente o experimento seria realizado utilizando-se solo natural, sem passar por qualquer processo de esterilização. No entanto, realizamos um teste fazendo uso do solo natural e nele as sementes de ambas as espécies apresentaram alta mortalidade, devido à presença de fungos. A análise do solo utilizado no experimento foi realizada pelo laboratório Soloquímica - Análises de Solo Ltda.

Após a semeadura, os copos contendo as sementes foram divididos entre três tratamentos de temperatura: AMB – grupo de plantas em temperatura ambiente (25 °C/23,7 °C (dia/noite)); AMB+2.7 – grupo de plantas em aquecimento moderado (cenário otimista - 27,7 °C/26,4 °C); e AMB+4.4 – grupo de plantas em aquecimento alto (cenário pessimista - 29,4 °C/28,1 °C). Cada tratamento ficou com o total de vinte copos de cada espécie, sendo efetuado o desbaste nos copos em que mais de uma semente germinou, com o intuito de ficar apenas uma planta por copo. Foram utilizadas três câmaras de germinação (EL202/4E, ELETROlab, Brasil; TF35A, THELGA, Brasil; SP-225/364, SPLABOR, Brasil) para manter os tratamentos de temperatura, sendo que todas elas foram programadas com as temperaturas citadas anteriormente e fotoperíodo de 12 horas. No dia da semeadura, o solo de todos os copos foi regado com água suficiente para atingir a capacidade de campo e o nível da água foi mantido durante todo o experimento, por adição diária de água destilada. Para determinação da temperatura ambiente, tanto diurna quanto noturna, foi calculada a média de 20 anos das temperaturas diárias, durante o período chuvoso, em cada estado de ocorrência (listados no tópico anterior) das espécies. Sendo que para representar a temperatura no estado foi utilizado a temperatura registrada nas capitais dos mesmos, fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022). Por outro lado, os cenários de aumento na temperatura de +2,7 e +4,4 °C foram escolhidos para simular o aquecimento médio (cenário otimista) e alto (cenário pessimista), respectivamente, projetados para o final do século XXI (IPCC, 2021).

A temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%) dentro de cada câmara foram monitoradas diariamente, no período da manhã, utilizando-se termo-higrômetros (HTC-2, Ketotek) instalados nas mesmas, sendo que os valores médios de umidade registrados em cada câmara foram: AMB - $45,68 \pm 2,78$ (média $\pm$ desvio padrão); AMB+2.7 - $58,04 \pm 5,49$; AMB+4.4 - $58,03 \pm 4,21$. Para temperatura, os valores encontrados foram: AMB - $25,04 \pm 0,09$; AMB+2.7 - $27,92 \pm 0,15$; AMB+4.4 - $29,38 \pm 0,59$. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR, $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) foi aferida ao início do experimento, com o auxílio de um fluorômetro digital portátil, modelo PARFluorPen FP100 (Photon System Instruments, República Tcheca). Essas medidas foram feitas em cada uma das câmaras de germinação e nas duas prateleiras utilizadas dentro de cada câmara, sendo encontrados os seguintes valores: AMB - 55 (prateleira de cima) e 26 (prateleira de baixo); AMB+2.7 - 62 (prateleira de cima) e 30 (prateleira de baixo); AMB+4.4 - 54 (prateleira de cima) e 28 (prateleira de baixo). Devido à diferença na quantidade de luz chegando em cada grade da câmara, foi realizada a rotação dos copos entre as prateleiras a cada quinze dias.

2.3 Avaliação da emergência e desenvolvimento inicial

A avaliação da emergência e do desenvolvimento inicial das plântulas foi acompanhada diariamente em cada um dos tratamentos de temperatura, durante todo o período do experimento. Foram determinados: tempo para a emergência (TE, dias), tempo para o surgimento da primeira folha (TSF, dias) e o tempo para a abscisão do cotilédone (TAC, dias). O TE foi contabilizado desde o dia da semeadura até o dia em que a planta emergiu. Por outro lado, a contabilização do TSF teve início com a emergência da planta e seu término deu-se quando a primeira folha surgiu no corpo da planta. O TAC foi contabilizado também desde a emergência até o dia em que ambos os cotilédones sofreram abscisão da planta.

2.4 Taxa de sobrevivência

A taxa de sobrevivência (TS) foi medida mensalmente (4 semanas), iniciando-se aos 56 dias após o início do experimento (DAE), uma vez que nesse período todas as plantas já haviam germinado. A taxa foi calculada por copo, com todas as sementes que germinaram, exceto aquelas que foram retiradas durante o desbaste. As plantas foram consideradas mortas quando se encontravam totalmente secas, sem nenhum sinal de rebrota por no mínimo 30 dias.

2.5 Índice de clorofila foliar

As medições do índice de clorofila foliar, clorofila *a* (Clr *a*), clorofila *b* (Clr *b*), razão de clorofila *a/b* (Clr *a/b*) e clorofila total (Clr *total*) foram feitas pela manhã, entre 6h e 10h, utilizando-se um medidor de clorofila portátil ClorofiLOG (CFL1030, FALKER, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil). As medidas foram realizadas em duas datas distintas, aos cinquenta e aos noventa e oito dias após o início do experimento (DAE, partindo da semeadura). Em ambas as datas de medição foram utilizadas todas as plantas que haviam emergido em cada tratamento e que apresentavam folhas totalmente expandidas. Nessas folhas, foram selecionados para as medições os folíolos presentes na região central, dado que as folhas (protófilos) de ambas as espécies são compostas. Ademais, as medidas realizadas aos noventa e oito dias não incluíram o grupo de plantas do tratamento AMB+4.4, uma vez que já não havia plantas com folhas viáveis neste tratamento.

2.6 Concentração de malondialdeído

A produção de malondialdeído (MDA) foi medida aos noventa e nove dias após o início do experimento (DAE), para avaliar a peroxidação lipídica nos tecidos foliares. Para estas medidas foram utilizadas folhas totalmente expandidas, sendo duas folhas para *D. mollis* e uma para *D. wilsonii* (o número de folhas foi diferente para que se obtivesse a massa foliar necessária). A análise foi realizada de acordo com o método descrito por Hodges et al. (1999). Para isso, foram pesados 0,1 g de tecido foliar de cada planta e na sequência essas amostras foram maceradas com nitrogênio líquido. Após a maceração, foi adicionado 1 mL de etanol 80% e as amostras foram colocadas em banho ultrassônico refrigerado (S30H, Elmasonic) por 10 minutos. Posteriormente as amostras foram centrifugadas (Megafuge 16R, Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA) por 10 minutos a 10.000g a 4 °C, o sobrenadante foi coletado e esse mesmo processo de extração foi repetido duas vezes. Na sequência, 1mL do extrato foi adicionado a 1 mL de solução de TBA+ (ácido tricloroacético 20%, hidroxitolueno butilado 0,01% e ácido tiobarbitúrico 0,65%) e outro 1 mL da amostra foi adicionado a 1 mL de solução de TBA- (ácido tricloroacético 20 % e hidroxitolueno butilado 0,01%). As amostras foram então colocadas em banho-maria (521-3D, Ethik Technology, Brasil) a 95 °C por 25 minutos, e a reação foi parada em banho de gelo. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 25°C e 10.000g. Após a centrifugação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Multiskan SkyHigh, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA) nos comprimentos de onda: 440 nm, 532 nm e 600 nm. Estas medidas não incluíram o grupo de plantas do tratamento AMB+4.4, uma vez que já não havia plantas com folhas viáveis neste tratamento.

2.7 Morfometria vegetativa

O número de folhas (NF), altura (AC, cm), diâmetro do caule (DC, cm) e desenvolvimento foliar foram acompanhados semanalmente, em todos os indivíduos que emergiram em cada tratamento, por todo o período do experimento, o qual teve duração de cem dias. A altura do caule foi aferida com o auxílio de uma régua milimetrada e o diâmetro foi medido com um paquímetro digital (KQL038, Vinwer).

O desenvolvimento foliar foi acompanhado em duas folhas por planta, em todos os indivíduos de *D. wilsonii* e *D. mollis*, de cada um dos tratamentos. Estas folhas foram marcadas antes de suas aberturas para a determinação do tempo de expansão foliar (TEF, dias) e a velocidade de expansão foliar (VEF, $\text{cm}^2 \text{dias}^{-1}$). O comprimento e largura de cada folha marcada foi anotado semanalmente e quando estas estabilizaram o crescimento, foi determinado o período final do tempo de expansão foliar. A velocidade de expansão foliar foi determinada dividindo a área foliar estimada, já estabilizada, pelo tempo de expansão foliar ($\text{VEF} = \text{AF} / \text{TEF}$). A área foliar estimada foi considerada como o produto entre a largura e comprimento de cada folha.

2.8 Alocação de biomassa, área foliar e índices biométricos

As medidas destrutivas foram realizadas apenas ao final do experimento (100 DAE), em todos os indivíduos presentes de cada tratamento. Foram determinados: comprimento final do caule (CC, cm), comprimento do pecíolo (CP, cm), comprimento da raiz (CR, cm), diâmetro da raiz (DR, cm), massa seca do caule (MSC, g), massa seca foliar (MSF, g), massa seca foliar média (MSFM, g), massa seca do cotilédone (MSCot, g), massa seca do pecíolo (MSP, g), massa seca da raiz (MSR, g) e massa seca total (MST, g). O comprimento do caule, dos pecíolos e da raiz foram determinados com o auxílio de uma régua milimetrada, ao passo que, para o diâmetro da raiz, foi utilizado um paquímetro digital. Para avaliar a massa seca de cada caule, todas as gemas laterais e folhas anexadas a ele foram retiradas, quando a massa seca destas folhas também foi medida, logo após serem separadas de seus pecíolos. Simultaneamente, foram determinadas também a massa seca dos cotilédones, quando presente, e a massa seca de cada raiz. Caules, folhas, pecíolos e raízes foram secos em estufa (TE-394/3, TECNAL, Piracicaba, São Paulo, BR) a 70 °C (Pérez-Harguindeguy et al., 2013) por 48 horas e suas massas foram medidas utilizando-se de uma balança analítica (BL320H, SHIMADZU, Tokyo, Japão). O cálculo da massa seca foliar média foi feito dividindo-se a massa seca foliar de um indivíduo pelo número de folhas presentes no mesmo ($\text{MSFM} = \text{MSF} / \text{NF}$) e a massa seca total foi obtida somando-se as massas secas de raiz, caule, folhas e pecíolos de um mesmo indivíduo ($\text{MST} = \text{MSC} + \text{MSFM} + \text{MSP} + \text{MSR}$).

A área foliar (AF, cm^2) foi determinada utilizando-se as mesmas folhas utilizadas para determinar a massa seca foliar, antes que elas fossem secas em estufa. Primeiramente, as folhas foram separadas do caule e seus pecíolos retirados e na sequência estas foram escaneadas em preto

e branco com a ajuda de um escâner de mesa. Posteriormente, a área foliar foi calculada com o software ImageJ 1.x (Schneider, CA, Rasband, WS, 2016 and Eliceiri, KW, 2012). A área foliar média ($AFM = AF/NF$, cm^2) também foi determinada para estes indivíduos.

Após a determinação dos caracteres morfológicos foram calculados os índices biométricos: área foliar específica ($AFE = AFM/MSFM$, $cm^2.g^{-1}$), razão de área foliar ($RAF = AFM/MST$, $cm^2.g^{-1}$) e razão raiz/parte aérea ($RRPA = MSR/(MSC+MSFM)$, $g^1.g^{-1}$).

2.9 Estimativa da plasticidade fenotípica

A plasticidade fenotípica foi estimada através do índice fenotípico de distância relativa (IFDR), como descrito por Valladares et al. (2006). Esse índice foi calculado para todas as características morfofisiológicas estudadas, exceto concentração de MDA, para a qual não foram obtidos valores do tratamento AMB+4.4. O conceito do IFDR pressupõe que a plasticidade fenotípica está relacionada à diferença nos valores de uma determinada característica entre dois indivíduos da mesma espécie cultivados em ambientes diferentes. Os valores deste índice variam de 0 (sem plasticidade) a 1 (plasticidade máxima). O IFDR é obtido através da fórmula: $IFDR = \sum (d_{ij \rightarrow i'j'} / (x_{i'j'} + x_{ij})) / n$, onde n é o número total de distâncias relativas (DR). As DR foram calculadas como: $DR_{ij \rightarrow i'j'} = d_{ij \rightarrow i'j'} / (x_{i'j'} + x_{ij})$, onde $d_{ij \rightarrow i'j'}$ é a distância entre os valores das características para todos os pares de indivíduos, j e j' são os indivíduos pertencentes aos diferentes tratamentos de temperatura de i e i' , x_{ij} é o valor da característica do indivíduo j sob tratamento de temperatura i , e $x_{i'j'}$ é o valor da característica de outro indivíduo j' no tratamento de temperatura i' . As distâncias relativas foram determinadas para todos os pares de indivíduos de ambas as espécies cultivadas sob diferentes ambientes de temperatura.

2.10 Análise estatística

O experimento foi realizado seguindo um delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 3x2 com três níveis de temperatura e duas espécies. Para testar diferenças significativas entre as variáveis: TEF, VEF, Clr a , Clr b , Clr a/b , Clr $total$, CR, DR, CC, CP, MSC, MSFM, MSR, MST, MSP, AFM, AFE, RAF, RRPA, TE, TSF e MDA foi aplicada a análise de variância (ANOVA) de dois fatores, sendo um dos fatores os tratamentos de temperatura e o outro as espécies. Por outro lado, para as variáveis: TAC e MSCot foi aplicada a

ANOVA de um fator, sendo ele os tratamentos de temperatura. Além disso, também foi utilizada a ANOVA de um fator para testar as diferenças significativas no IFDR entre as variáveis analisadas em cada espécie separadamente, enquanto para testar diferenças no IFDR entre as espécies foi realizado um teste t de *Student* para amostras independentes. Para testar diferenças significativas entre as variáveis fisiológicas (Clr *a*, Clr *b*, Clr *total*, Clr *a/b*), nas duas datas de medição (50 e 98 DAE) foi aplicada a ANOVA três fatores, sendo eles, os tratamentos, as espécies e o DAE, uma vez que os indivíduos utilizados nas duas medições foram diferentes. Para as variáveis medidas ao longo do tempo: NF, AC e DC, foi utilizado uma ANOVA de modelo misto, tendo como variável entre sujeitos os tratamentos de temperatura e as espécies, e como variável intra sujeitos o tempo. Por fim, para testar diferenças significativas na TS foi utilizado também uma ANOVA de modelo misto, tendo como variável entre sujeitos os tratamentos de temperatura, e como variável intra sujeitos o tempo. O teste aplicado *a posteriori*, em todos os casos, foi o de Tukey a 5% de significância. Antes da realização da ANOVA todas as variáveis foram verificadas quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e quanto à homogeneidade pelo teste de Levene e quando necessário foi feita a transformação dos dados para logaritmo de base 10, exceto para TS e IFDR, onde os dados foram transformados em arco seno (Barros et al., 2012). As médias e os desvios padrão foram calculados para todas as variáveis medidas. O programa R (R Core Team, 2018) foi utilizado para todas as análises estatísticas. Os gráficos foram elaborados de acordo com o resultado das análises estatísticas, por meio do programa SigmaPlot, versão 15.0.

3. RESULTADOS

3.1 Emergência, desenvolvimento inicial e taxa de sobrevivência

Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* no tratamento AMB+4.4 emergiram mais rapidamente que nos outros tratamentos (Figura 1a, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Além disso, as plantas de *D. wilsonii* no tratamento AMB+4.4 aceleraram o surgimento da primeira folha em comparação aos outros tratamentos (Figura 1b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Porém, a temperatura não influenciou no surgimento da primeira folha em plantas de *D. mollis*. Apenas no tratamento AMB+4.4 as plantas de *D. wilsonii* produziram folhas de forma mais rápida do que *D. mollis* (Figura 1b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Os indivíduos de *D.*

mollis e *D. wilsonii* não apresentaram diferenças significativas no tempo para abscisão do cotilédone (TAC) entre os tratamentos (Tabela S2).

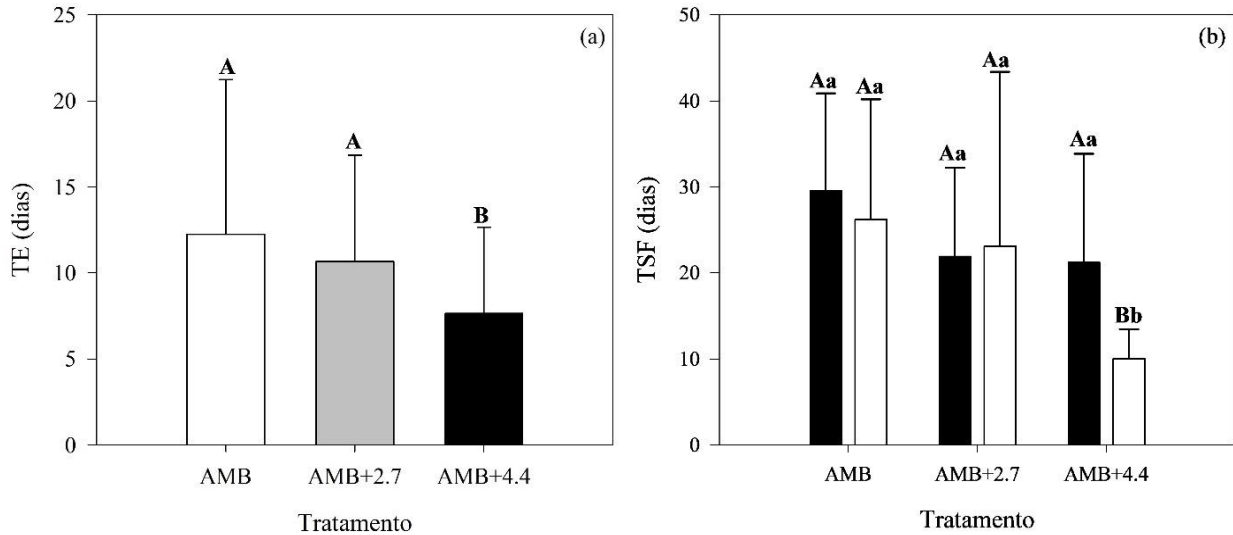


Figura 1. Parâmetros morfológicos em plantas de *D. mollis* (■) e *D. wilsonii* (□) cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4). (a) = TE (tempo para a emergência), (b) =TSF (tempo para o surgimento da primeira folha). As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. No gráfico (a) letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. No gráfico (b) letras minúsculas comparam as duas espécies dentro de cada tratamento, enquanto letras maiúsculas comparam cada espécie, individualmente, entre os tratamentos de temperatura. N (TE) = AMB – 39; AMB+2.7 – 39; AMB+4.4 – 40. N (TSF) = AMB – 12 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 – 18 (*D. mollis*) e 17 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 – 19 (*D. mollis*) e 18 (*D. wilsonii*).

Apenas no tratamento AMB+2.7, as plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* não apresentaram diminuição da taxa de sobrevivência ao longo do tempo (Figura 2, $p < 0,05$, interação entre tratamento x tempo). Na comparação entre os tratamentos de temperatura, as plantas em AMB+2.7 obtiveram as maiores taxas de sobrevivência do que nos tratamentos AMB e AMB+4.4, aos 84 e 100 DAE (Figura 2, $p < 0,05$, interação entre tratamento x tempo). Aos 100 DAE, as plantas no tratamento AMB+4.4 apresentaram menores taxas de sobrevivência que as plantas dos outros tratamentos (Figura 2, $p < 0,05$, interação entre tratamento x tempo).

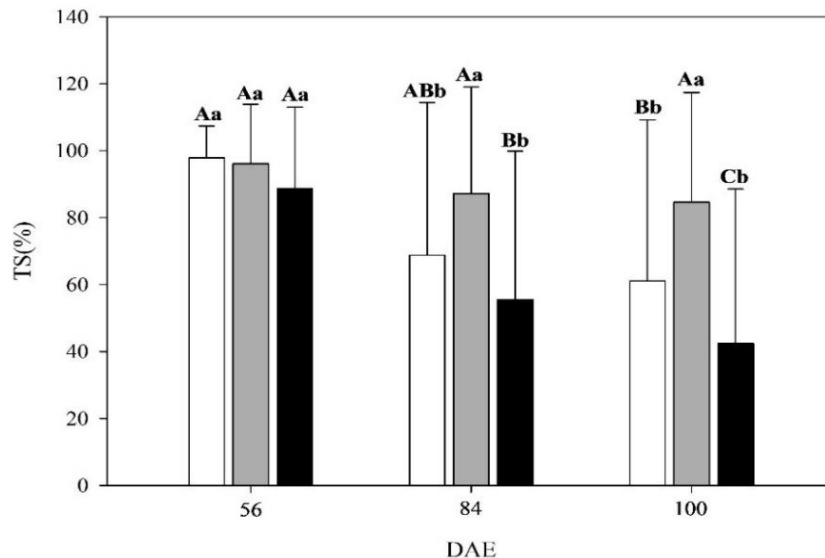


Figura 2. Taxa de sobrevivência (TS) em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB, □), aquecimento moderado (AMB+2.7, ■) e aquecimento alto (AMB+4.4, ■). As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas comparam cada tratamento, individualmente, entre os DAE, enquanto letras maiúsculas comparam os tratamentos dentro de cada DAE. N = AMB - 39; AMB+2.7 - 39; AMB+4.4 - 40.

3.2 Índice de clorofila foliar

Ambas as espécies apresentaram maiores índices de clorofila *a* (Clr *a*) e clorofila total (Clr *total*) no tratamento AMB+2.7 do que nos outros tratamentos, tanto aos 50 (Tabela 1, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento) quanto aos 98 DAE (Tabela S3, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Independente da temperatura, plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior Clr *a* do que as plantas de *D. mollis* aos 50 DAE e maior Clr *total* aos 50 (Tabela 1, $p < 0,05$, efeito simples da espécie) e aos 98 DAE (Tabela S3, $p < 0,05$, efeito simples da espécie). Ambas as espécies apresentaram maior Clr *a* e Clr *total* aos 98 DAE do que aos 50 DAE (Tabela S3, $p < 0,05$, efeito simples do DAE). Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* não apresentaram diferenças significativas para razão de clorofila *a/b* (Clr *a/b*) entre os tratamentos de temperatura para ambas as datas de medição (Tabelas S2 e S4).

TABELA 1. Variáveis fisiológicas em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4), aos cinquenta DAE. Clr *a* = índice de clorofila *a*; Clr *total* = índice de clorofila total. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos de temperatura, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as espécies. N = AMB - 4 (*D. mollis*) e 5 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 10 (*D. mollis*) e 11 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 5 (*D. mollis*) e 5 (*D. wilsonii*).

Variáveis	Tratamento			Espécie	
	AMB	AMB+2.7	AMB+4.4	<i>D. mollis</i>	<i>D. wilsonii</i>
Clr <i>a</i>	14,18 $\pm$ 10,66B	24,01 $\pm$ 14,93A	10,42 $\pm$ 3,93B	11,94 $\pm$ 8,64b	24,25 $\pm$ 14,34a
Clr <i>total</i>	17,67 $\pm$ 11,30B	28,32 $\pm$ 17,20A	12,06 $\pm$ 4,10B	14,22 $\pm$ 9,20b	28,77 $\pm$ 16,51a

Plantas de *D. mollis*, aos 50 DAE, não apresentaram diferença significativa no índice de clorofila *b* (Clr *b*) entre os tratamentos (Figura 3). Porém, plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior Clr *b* em AMB+2.7 do que nos outros tratamentos (Figura 3, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Apenas no tratamento AMB+2.7, aos 50 DAE, as plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior Clr *b* do que as plantas de *D. mollis* (Figura 3, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Plantas de *D. mollis* no tratamento AMB+2.7, apresentaram maior Clr *b* aos 98 DAE do que aos 50 DAE (Figura S1, $p < 0,05$, interação entre tratamento x DAE x espécie). Para *D. wilsonii*, não houve diferenças significativas no índice de Clr *b* para as plantas de um mesmo tratamento e diferentes DAE (Figura S1).

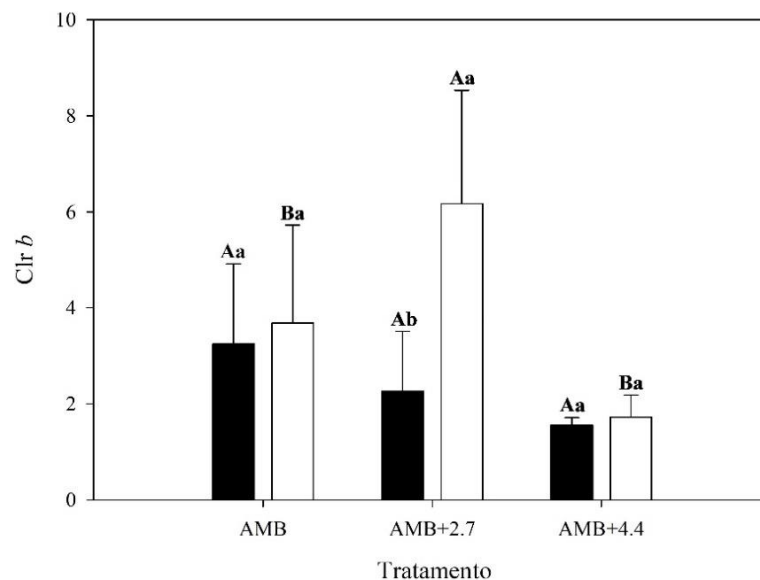


Figura 3. Índice de clorofila *b* (Clr *b*) em plantas de *D. mollis* (■) e *D. wilsonii* (□) cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4) aos cinquenta DAE. As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas

comparam as duas espécies dentro de cada tratamento de temperatura, enquanto letras maiúsculas comparam cada espécie, individualmente, entre os tratamentos de temperatura. N = AMB - 4 (*D. mollis*) e 5 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 10 (*D. mollis*) e 11 (*D. wilsonii*); e AMB+4.4 - 5 (*D. mollis*) e 5 (*D. wilsonii*).

3.3 Concentração de malondialdeído

Independente da temperatura, plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior concentração de malondialdeído quando comparadas às plantas de *D. mollis* (Figura 4, $p < 0,05$, efeito simples da espécie).

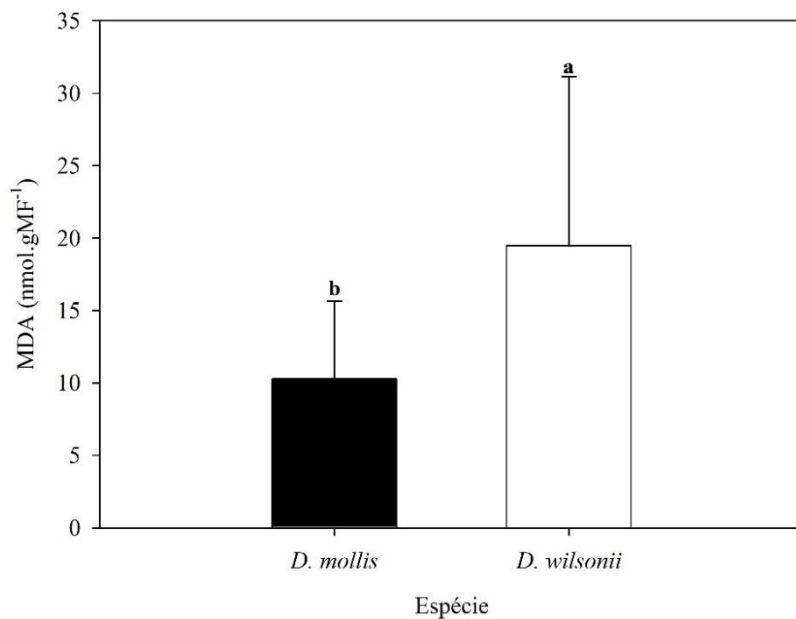


Figura 4. Concentração de malondialdeído (MDA) em plantas de *D. mollis* (■) e *D. wilsonii* (□) cultivadas sob temperatura ambiente (AMB) e aquecimento moderado (AMB+2.7). As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre as espécies. N = *D. mollis* - 22; *D. wilsonii* - 22.

3.4 Morfometria vegetativa

Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* apresentaram maior velocidade de expansão foliar (VEF) em temperatura AMB+2.7 do que nos outros tratamentos (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Além disso, *D. wilsonii* apresentou maior VEF do que *D. mollis* (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples da espécie). As plantas de *D. mollis* apresentaram o maior tempo de expansão foliar (TEF) no tratamento AMB+2.7 e o menor no AMB+4.4 (Figura 5, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Por outro lado, plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior TEF nos tratamentos AMB

e AMB+2.7 do que no AMB+4.4 (Figura 5, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Ademais, nos tratamentos AMB e AMB+4.4, *D. wilsonii* apresentou maior TEF do que *D. mollis* (Figura 5, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento).

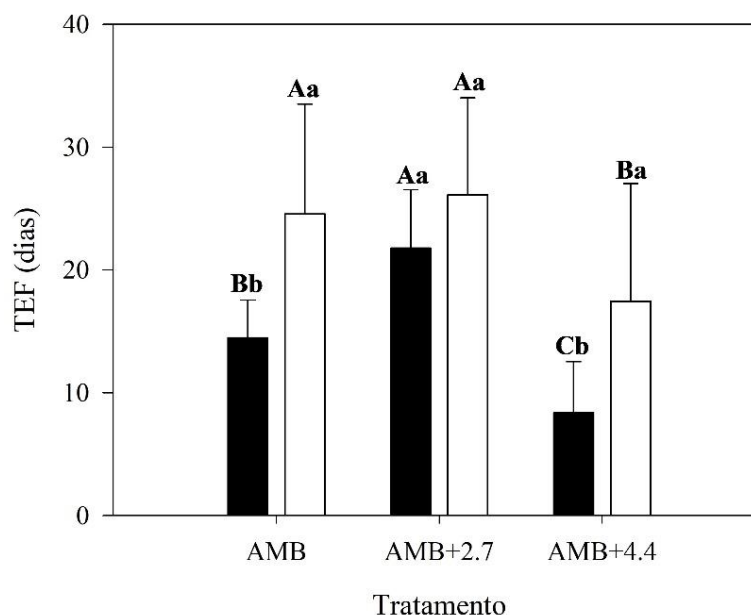


Figura 5. Tempo de expansão foliar (TEF) em plantas de *D. mollis* (■) e *D. wilsonii* (□) cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4). As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas comparam as duas espécies dentro de cada tratamento de temperatura, enquanto letras maiúsculas comparam cada espécie, individualmente, entre os tratamentos de temperatura. N = AMB - 9 (*D. mollis*) e 8 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 15 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 10 (*D. mollis*) e 15 (*D. wilsonii*).

A partir dos 70 DAE, *D. mollis* em temperatura AMB+2.7 apresentou maior número de folhas (NF) do que nos outros tratamentos (Figura 6a, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Houve um aumento no NF ao longo do tempo em *D. mollis* sob o tratamento AMB+2.7 (Figura 6a, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Ao longo do tempo, as plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior NF em temperatura AMB+2.7 do que em AMB, porém apenas a partir dos 63 DAE, a produção foliar foi maior no tratamento AMB+2.7 do que no AMB+4.4 (Figura 6b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Aos 42 DAE, *D. wilsonii* obteve maior NF no tratamento AMB+4.4 do que no AMB (Figura 6b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Plantas de *D. wilsonii* nos tratamentos AMB e AMB+2.7 apresentaram aumento no NF ao longo do tempo (Figura 6b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x

DAE). No tratamento AMB+2.7 aos 42 DAE, assim como no tratamento AMB+4.4 aos 91 DAE, *D. wilsonii* apresentou maior NF do que *D. mollis* (Figura 6a e 6b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE).

Ao longo do tempo, as plantas de *D. mollis* apresentaram maior altura do caule (AC) no tratamento AMB+4.4 do que no AMB, enquanto a partir dos 49 DAE, a altura do caule foi maior no tratamento AMB+2.7 do que no AMB (Figura 6c, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Houve um aumento na AC ao longo do tempo em *D. mollis* no tratamento AMB+2.7 (Figura 6c, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Ao longo do tempo, *D. wilsonii* apresentou maior AC sob temperatura AMB+4.4 do que nos outros tratamentos (Figura 6d, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Plantas de *D. wilsonii* no tratamento AMB+2.7 apresentaram maior AC a partir dos 63 DAE (Figura 6d, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). No tratamento AMB+4.4, ao longo do tempo, *D. wilsonii* apresentou maior AC do que *D. mollis* (Figura 6c e 6d, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE).

Houve uma diminuição no diâmetro do caule (DC) nas plantas de *D. mollis* no tratamento AMB+4.4 ao longo do tempo (Figura 6e, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). A partir dos 84 DAE, plantas tanto de *D. mollis* quanto de *D. wilsonii* apresentaram maior DC nos tratamentos AMB e AMB+2.7 do que no AMB+4.4 (Figura 6e e 6f, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE). Independente da temperatura, o DAE não influenciou o DC nas plantas de *D. wilsonii*. No tratamento AMB+4.4, as plantas de *D. mollis* apresentaram maior DC do que plantas de *D. wilsonii* entre 21 e 49 DAE, enquanto a partir dos 84 DAE, *D. wilsonii* apresentou maior DC do que *D. mollis* (Figura 6e e 6f, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento x DAE).

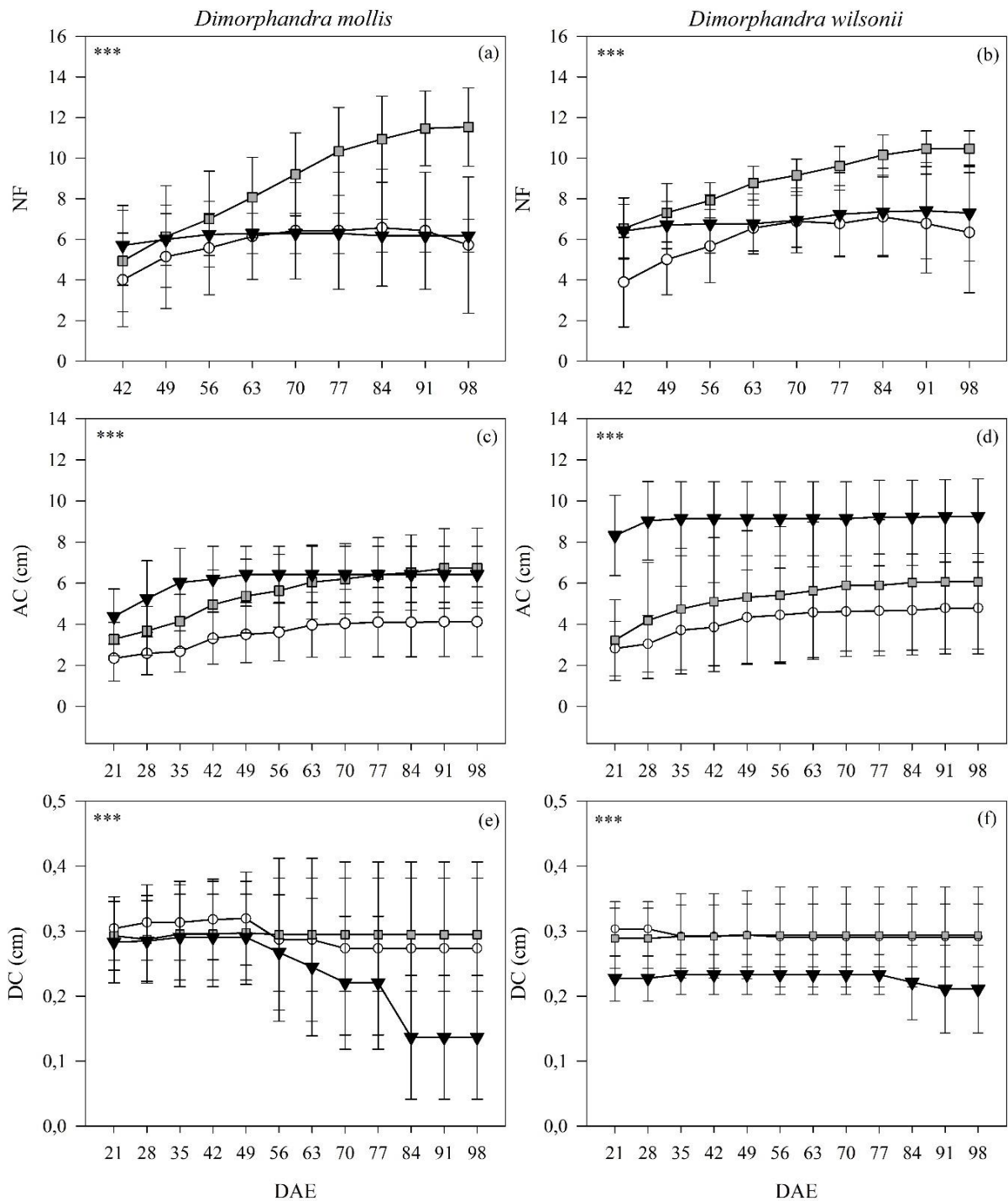


Figura 6. Morfometria vegetativa em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB, ○), aquecimento moderado (AMB+2.7, ■) e aquecimento alto (AMB+4.4, ▼). (a) e (b) = NF (número de folhas), (c) e (d) = AC (altura do caule), (e) e (f) = DC (diâmetro do caule). Os símbolos representam a média $\pm$ desvio padrão. Os asteriscos (***) indicam interação tripla. N (NF) = AMB - 7 (*D. mollis*) e 9 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 15 (*D. mollis*) e 13 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 17 (*D. mollis*) e 17 (*D. wilsonii*). N (CC e DC) = AMB - 15 (*D. mollis*) e 12 (*D.*

wilsonii); AMB+2.7 - 18 (*D. mollis*) e 17 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 17 (*D. mollis*) e 17 (*D. wilsonii*).

3.5 Alocação de biomassa, área foliar e índices biométricos

Indivíduos de *D. mollis* e *D. wilsonii* apresentaram maior massa seca foliar média (MSFM) e massa seca do pecíolo (MSP) no tratamento AMB+2.7 do que nos outros tratamentos (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* sob temperatura AMB+2.7 apresentaram maior comprimento da raiz (CR) do que plantas no tratamento AMB, enquanto as plantas no tratamento AMB+4.4 não diferiram dos outros tratamentos (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). As plantas nos tratamentos AMB+2.7 e AMB+4.4 apresentaram maior comprimento do pecíolo (CP) que plantas no tratamento AMB (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Por outro lado, plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* nos tratamentos AMB e AMB+2.7 apresentaram maior razão de área foliar (RAF) que as plantas do tratamento AMB+4.4 (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Independente da temperatura, plantas de *D. wilsonii*, apresentaram maior CP, MSFM e MSP que plantas de *D. mollis* (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples da espécie). Porém, as plantas de *D. mollis* apresentaram maior CR que plantas de *D. wilsonii* (Tabela 2, $p < 0,05$, efeito simples da espécie).

TABELA 2. Variáveis morfológicas em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4). CR = comprimento da raiz; CP = comprimento do pecíolo; MSP = massa seca do pecíolo; MSFM = massa seca foliar média; RAF = razão de área foliar; VEF = velocidade de expansão foliar. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos de temperatura, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as espécies. N (CR) = AMB - 10 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 17 (*D. mollis*) e 18 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 6 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*). N (CP e MSP) = AMB - 10 (*D. mollis*) e 13 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 17 (*D. mollis*) e 15 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 6 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*). N (MSFM e RAF) = AMB - 5 (*D. mollis*) e 8 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 16 (*D. mollis*) e 15 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 5 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*). N (VEF) = AMB - 9 (*D. mollis*) e 8 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 15 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 10 (*D. mollis*) e 15 (*D. wilsonii*).

Variáveis	Tratamento			Espécie	
	AMB	AMB+2.7	AMB+4.4	<i>D. mollis</i>	<i>D. wilsonii</i>
CR (cm)	12,80 $\pm$ 7,15B	19,13 $\pm$ 8,47A	12,97 $\pm$ 5,36AB	21,22 $\pm$ 7,46a	11,64 $\pm$ 5,53b
CP (cm)	0,32 $\pm$ 0,14B	0,58 $\pm$ 0,22A	0,60 $\pm$ 0,27A	0,34 $\pm$ 0,14b	0,63 $\pm$ 0,24a
MSP (g)	0,001 $\pm$ 0,001B	0,004 $\pm$ 0,003A	0,001 $\pm$ 0,001B	0,002 $\pm$ 0,002b	0,003 $\pm$ 0,004a
MSFM (g)	0,004 $\pm$ 0,003B	0,012 $\pm$ 0,009A	0,004 $\pm$ 0,002B	0,005 $\pm$ 0,004b	0,010 $\pm$ 0,009a
RAF (cm²/g)	32,87 $\pm$ 29,96A	27,30 $\pm$ 11,85A	6,20 $\pm$ 2,23B	19,21 $\pm$ 9,44	24,11 $\pm$ 23,35
VEF (cm²/dias⁻¹)	0,19 $\pm$ 0,09B	0,48 $\pm$ 0,32A	0,35 $\pm$ 0,25B	0,25 $\pm$ 0,17b	0,47 $\pm$ 0,32a

A temperatura não teve influência na área foliar média (AFM) em plantas de *D. mollis*. Por outro lado, plantas de *D. wilsonii* sob temperatura AMB+2.7 apresentaram maior AFM do que nos outros tratamentos (Figura 7a, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Apenas no tratamento AMB+2.7 as plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior AFM do que plantas de *D. mollis* (Figura 7a, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento).

O maior comprimento do caule (CC) foi encontrado em plantas de *D. mollis* no tratamento AMB+2.7 (não diferindo do tratamento AMB+4.4), enquanto plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior CC no tratamento AMB+4.4 do que nos outros tratamentos (Figura 7b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Apenas no tratamento AMB+4.4 as plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior CC do que plantas de *D. mollis* (Figura 7b, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento).

Plantas de *D. mollis* no tratamento AMB apresentaram maior diâmetro da raiz (DR), enquanto o menor DR foi encontrado nas plantas do tratamento AMB+4.4 (Figura 7c, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento). Porém, a temperatura não influenciou o DR em plantas de *D. wilsonii*. No tratamento AMB, as plantas de *D. mollis* obtiveram maior DR do que as de *D. wilsonii*, enquanto no tratamento AMB+4.4, plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior DR que plantas de *D. mollis* (Figura 7c, $p < 0,05$, interação entre espécie x tratamento).

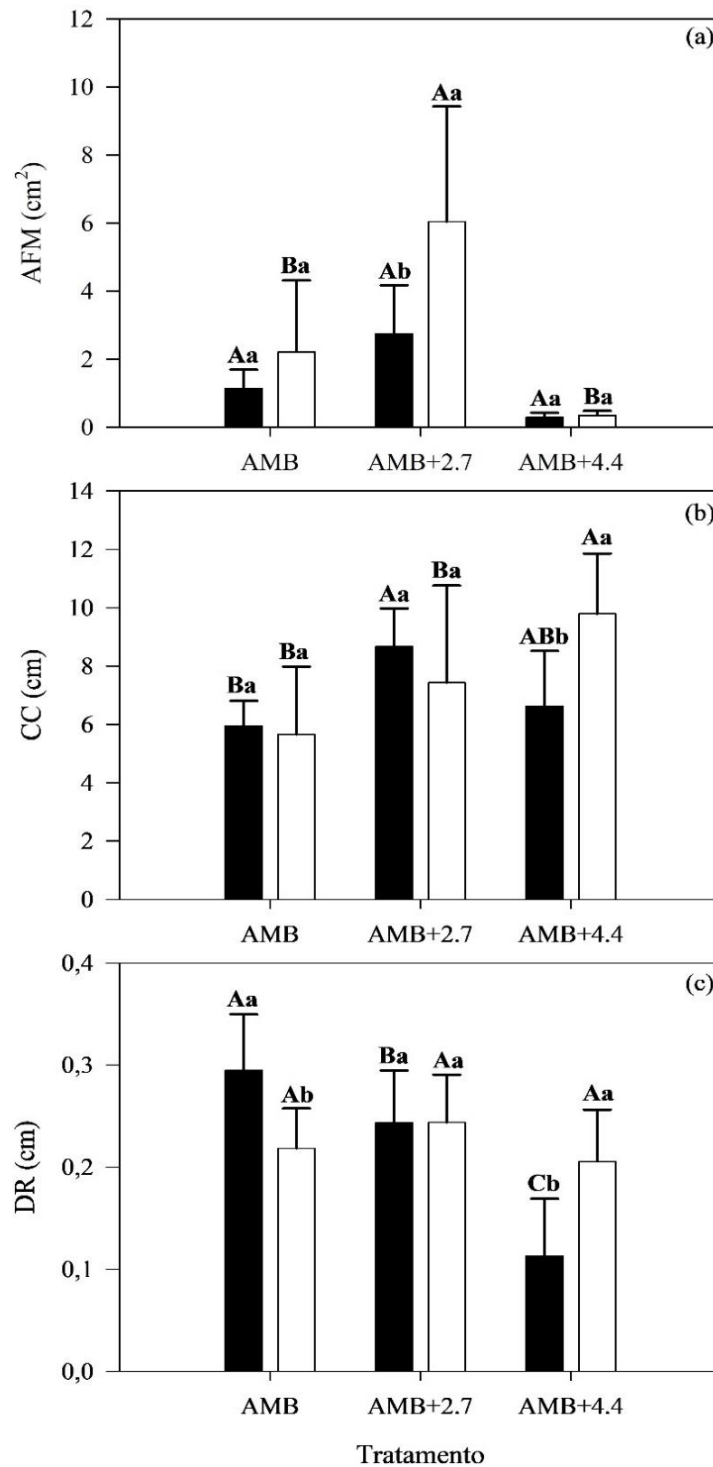


Figura 7. Parâmetros morfológicos em plantas de *D. mollis* (■) e *D. wilsonii* (□) cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4). (a) = AFM (área foliar média), (b) = CC (comprimento final do caule), (c) = DR (diâmetro da raiz). As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas comparam as duas espécies dentro de cada tratamento de temperatura, enquanto letras maiúsculas comparam

cada espécie, individualmente, entre os tratamentos de temperatura. N (AFM) = AMB - 5 (*D. mollis*) e 8 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 16 (*D. mollis*) e 15 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 5 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*). N (CC e DR) = AMB - 10 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 17 (*D. mollis*) e 18 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 6 (*D. mollis*) e 14 (*D. wilsonii*).

Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* sob temperatura AMB+2.7, apresentaram maior massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e razão raiz/parte aérea (RRPA) do que as plantas nos outros tratamentos (Figura 8a, 8b, 8c e 8d $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Nos tratamentos AMB e AMB+2.7, as plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* obtiveram maior área foliar específica (AFE) que as plantas do tratamento AMB+4.4 (Figura 8e, $p < 0,05$, efeito simples do tratamento). Plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* não apresentaram diferenças significativas para massa seca dos cotilédones (MSCot) entre os tratamentos de temperatura (Tabela S2).

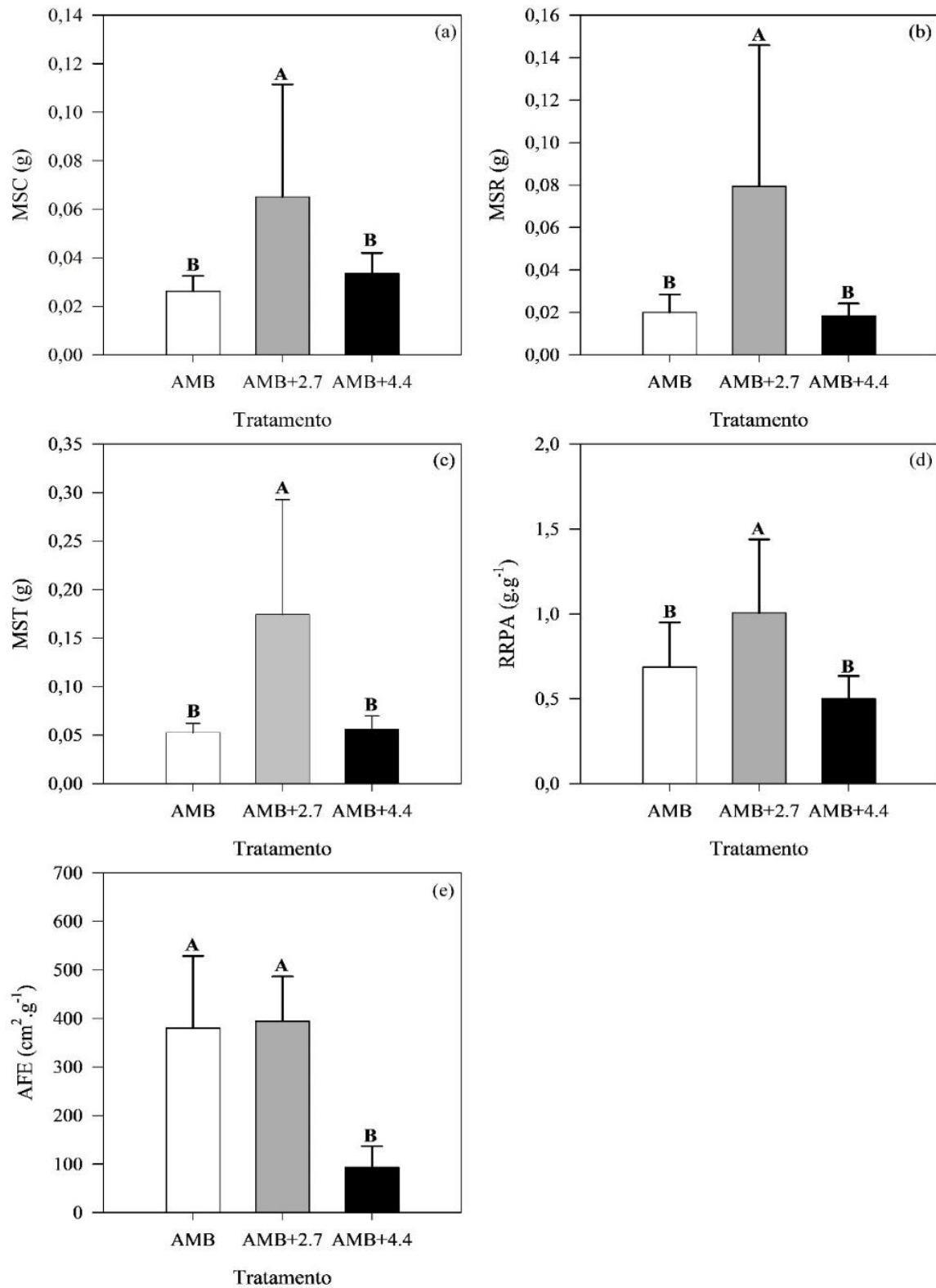


Figura 8. Parâmetros morfológicos de plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB, □), aquecimento moderado (AMB+2.7, ■) e aquecimento alto (AMB+4.4, ■). (a)

= MSC (massa seca do caule), (b) MSR = (massa seca da raiz), (c) MST= (massa seca total), (d) RRPA= (razão raiz/parte aérea), (e) AFE = (área foliar específica). As colunas representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos de temperatura. N (MSC e MSR) = AMB - 24; AMB+2.7 - 35; AMB+4.4 - 20. N (MST, RRPA e AFE) = AMB - 13; AMB+2.7 - 31; AMB+4.4 - 19.

3.6 Estimativa da plasticidade fenotípica

Plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior índice fenotípico de distância relativa (IFDR) do que *D. mollis* para as características: CC, CR, TSF e VEF (Tabela 3, $p < 0,05$). No entanto, não houve diferenças significativas no IFDR, entre as espécies, para as outras características analisadas (Tabela 3). Além disso, plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior IFDR para a característica AFM e menor para DR, enquanto plantas de *D. mollis* não apresentaram diferenças significativas no IFDR entre as características analisadas (Tabela 3, $p < 0,05$).

TABELA 3. Índice fenotípico de distância relativa (IFDR) para plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4). NF = número de folhas; DR = diâmetro da raiz; CC = comprimento do caule; CR = comprimento da raiz; CP = comprimento do pecíolo; MSP = massa seca do pecíolo; MSCot = massa seca do cotilédone; MSC = massa seca do caule; MSR = massa seca da raiz; MSFM = massa seca foliar média; MST = massa seca total; AFM = área foliar média; AFE = área foliar específica; RAF = razão de área foliar; RRPA = razão raiz/parte aérea; TE = tempo para a emergência; TAC = tempo para a abscisão do cotilédone; TSF = tempo para o surgimento da primeira folha; VEF = velocidade de expansão foliar; TEF = tempo de expansão foliar; Clr *a* = índice de clorofila *a*; Clr *b* = índice de clorofila *b*; Clr *total* = índice de clorofila total; Clr *a/b* = razão de clorofila *a/b*. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas no IFDR entre as variáveis, para *D. wilsonii*, enquanto letras minúsculas indicam diferenças significativas no IFDR entre as espécies. N = 3.

Variáveis	Espécies	
	<i>D. mollis</i>	<i>D. wilsonii</i>
NF	0,320 $\pm$ 0,141	0,208 $\pm$ 0,033DE
DR	0,325 $\pm$ 0,170	0,128 $\pm$ 0,017E
CC	0,160 $\pm$ 0,026b	0,259 $\pm$ 0,035CDEa
CR	0,180 $\pm$ 0,031b	0,310 $\pm$ 0,037BCDEa
CP	0,278 $\pm$ 0,037	0,261 $\pm$ 0,092CDE
MSP	0,530 $\pm$ 0,288	0,601 $\pm$ 0,113AB
MSCot	0,181 $\pm$ 0,038	0,289 $\pm$ 0,083BCDE
MSC	0,277 $\pm$ 0,078	0,343 $\pm$ 0,129BCDE
MSR	0,360 $\pm$ 0,121	0,446 $\pm$ 0,175ABCDE
MSFM	0,384 $\pm$ 0,126	0,442 $\pm$ 0,100ABCDE
MST	0,298 $\pm$ 0,154	0,377 $\pm$ 0,216ABCDE
AFM	0,571 $\pm$ 0,163	0,673 $\pm$ 0,152A

AFE	0,361±0,205	0,502±0,218ABCD
RAF	0,425±0,152	0,574±0,121ABC
RRPA	0,258±0,018	0,268±0,075CDE
TE	0,211±0,045	0,258±0,030CDE
TAC	0,565±0,376	0,263±0,037CDE
TSF	0,294±0,015b	0,369±0,030ABCDEa
VEF	0,332±0,021b	0,433±0,027ABCDEa
TEF	0,326±0,125	0,243±0,058CDE
Clr <i>a</i>	0,277±0,083	0,421±0,065ABCDE
Clr <i>b</i>	0,274±0,038	0,390±0,126ABCDE
Clr <i>total</i>	0,252±0,070	0,396±0,080ABCDE
Clr <i>a/b</i>	0,313±0,042	0,305±0,067BCDE

4. DISCUSSÃO

4.1 Comparação entre os tratamentos de temperatura

Os maiores índices de clorofila *a* e *total* em folhas de *D. mollis* e *D. wilsonii* sob aquecimento moderado evidenciam maior capacidade de absorção de luz nas plantas desse tratamento (Evans & Poorter, 2001; Wittmann et al., 2001). As moléculas de clorofila, presentes nas membranas dos tilacóides, atuam como principal meio de captação da energia luminosa, a qual é utilizada para conduzir elétrons através da cadeia transportadora, gerando energia química, como ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato, Chou et al., 2020). Desta forma, a concentração de clorofila foliar influencia diretamente a eficiência fotoquímica das plantas (Balaguer et al., 2002; Castro et al., 2011), podendo os maiores índices de clorofila contribuir para uma maior conversão de luz em energia química nas plantas sob aquecimento moderado.

O aumento observado na produção de matéria seca (MSC, MSR, MST, MSFM e RRPA) em plantas sob aquecimento moderado pode estar relacionado ao aumento no conteúdo de clorofila foliar, uma vez que aumentos nesta variável refletem em maior capacidade fotossintética (Croft et al., 2016; Chou et al., 2020). Assim, as plantas sob aquecimento moderado investiram tanto na produção de massa seca abaixo do solo, para a captação de água e nutrientes, quanto acima do solo, para captação de luz. Contudo, o aumento nos valores da razão raiz/parte aérea indica um maior investimento em raiz do que em parte aérea (Qi et al., 2019), demonstrando que houve maior remobilização de carbono para este órgão. Isso pode ser devido à baixa disponibilidade de nutrientes no solo utilizado para o experimento (características do solo descritas na Tabela S1),

fazendo com que a planta invista na captação dos recursos mais limitantes. Além disso, essa diferenciação nas plantas mantidas sob aquecimento, investindo mais em raiz, indica que sob elevação moderada na temperatura do ar, as plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* poderão alterar suas prioridades no padrão de alocação de biomassa. O maior investimento em raiz seria benéfico para plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* ocorrendo em áreas de cerrado, onde há intensa competição por água e nutrientes no solo (Frost et al., 1986) e principalmente considerando-se um futuro com aumentos nos períodos de seca nessa região (IPCC, 2021). Por outro lado, essa alteração poderia ser prejudicial para ambas as espécies quando ocorrerem em áreas de mata, já que nesses ambientes o fator mais limitante para o crescimento inicial é a disponibilidade de luz (Hoffmann & Franco, 2003).

A emergência mais rápida observada em plantas sob aquecimento alto (AMB+4.4) é coerente com dados da literatura que mostram que plantas sob aquecimento apresentam aceleração na germinação e emergência de plântulas (Kissmann & Habermann, 2014; Gillard et al., 2017). Entretanto, embora tenham emergido mais rapidamente, estas plantas não conseguiram acumular biomassa, o que é evidenciado pelos menores valores de diâmetro do caule. Ademais, plantas sob aquecimento alto também apresentaram maior comprimento dos pecíolos, além de alongamento e aceleração do crescimento do caule (hipocótilo), sendo estes indícios de termomorfogênese - aclimação térmica em plantas, baseada em ajustes morfológicos (Delker et al., 2014; Lippmann et al., 2019; Lee et al., 2020). O alongamento dos pecíolos auxilia na dissipação de calor pela planta, promovendo uma transpiração mais eficiente (Crawford et al., 2012), enquanto o alongamento do hipocótilo resulta em plantas mais altas e delgadas, o que pode contribuir para a diminuição da temperatura corporal (Park & Park, 2019). No entanto, o alongamento do hipocótilo pode também resultar em plantas mais instáveis, que se dobram facilmente devido à chuva ou vento (Lee et al., 2020), o que seria prejudicial para as espécies durante o estabelecimento inicial em áreas de cerrado ou mata.

A diminuição encontrada nos valores de área foliar específica e razão de área foliar para as duas espécies sob aquecimento alto (AMB+4.4) indica uma redução na área foliar, tanto em função da massa de folhas quanto da biomassa total da planta. A AFE está intimamente relacionada à resistência à seca e à altas temperaturas (Poorter & Jong, 1999), sendo que sua diminuição pode representar uma estratégia das plantas de evitar a perda excessiva de água por transpiração (Zhu et al., 2020). Assim, uma menor área foliar específica pode ser benéfica para plantas jovens de *D.*

mollis e *D. wilsonii*, especialmente em áreas de cerrado, onde a água é um dos recursos mais limitantes. No entanto, ainda que as plantas sob aquecimento alto tenham apresentado este e outros ajustes que contribuem para a tolerância à altas temperaturas, elas não conseguiram se manter vivas, isso fica evidente pela diminuição na taxa de sobrevivência para plantas desse tratamento.

4.2 Estimativa de plasticidade fenotípica

Plantas de *D. wilsonii* apresentaram maiores índices de clorofila *a* e *total* do que *D. mollis*, além de maior clorofila *b* sob aquecimento moderado, indicando maior eficiência na absorção da luz utilizada para realização da fotossíntese nessa espécie (Evans & Poorter, 2001; Wittmann et al., 2001). Em geral, maiores índices de clorofila, em especial Clr *b*, são encontrados em plantas crescendo em ambientes com baixa luminosidade. A Clr *b* é um pigmento acessório que capta energia de outros comprimentos de onda e a transfere para a Clr *a*, que atua efetivamente nas reações fotoquímicas (Streit et al., 2005), sendo uma estratégia eficiente para compensar a menor disponibilidade de irradiância (Gonçalves et al., 2001). Como *D. wilsonii* ocorre em áreas florestais (Fernandes & Rego, 2014) é esperado que ela apresente maior índice de clorofila, especialmente de Clr *b*, diferente de *D. mollis*, que ocorre predominantemente em áreas de cerrado, com alta disponibilidade de luz. Esse aumento no índice de Clr *b* em *D. wilsonii* sob aquecimento moderado sugere que ela pode se tornar mais eficiente e competitiva em condições de pouca luminosidade, em cenários de aumento moderado na temperatura. Além disso, embora não tenha sido encontrada diferença significativa, *D. wilsonii* também mostrou uma tendência em apresentar maior plasticidade para os índices de clorofila do que *D. mollis*.

A maior plasticidade fenotípica encontrada para área foliar média em plantas de *D. wilsonii* evidencia a capacidade dessa espécie de ajustar suas características funcionais relacionadas à captação de luz em resposta a variáveis ambientais. Além disso, o maior investimento em área foliar e maior produção de folhas observado nas plantas jovens de *D. wilsonii* sob aquecimento moderado pode ser vantajoso para essa espécie na competição por luz, especialmente em áreas com baixa luminosidade, como o sub-bosque florestal. Por outro lado, uma maior quantidade de folhas com maiores áreas também implica em maior superfície de transpiração (Thompson et al., 2007), o que aumentaria a demanda por água nessas plantas. Em um experimento com câmaras de topo aberto, Gonçalves et al. (2024), observaram que plantas de *D. wilsonii* crescendo em concentrações de dióxido de carbono ([CO₂]) elevadas apresentaram aumento na biomassa da parte aérea em

detrimento da biomassa radicular. Por outro lado, em nosso estudo, o aumento da temperatura sozinho (cenário AMB+2.7) foi benéfico para a alocação de biomassa radicular. Em condições naturais, onde os fatores ambientais podem agir de forma sinérgica ou antagônica (Piggott et al., 2015), os efeitos benéficos da temperatura na produção de biomassa radicular podem ser suprimidos pelos efeitos prejudiciais do aumento da [CO₂], resultando em menor capacidade de captação de recursos abaixo do solo, como água e nutrientes. Assim, a maior demanda por água e menor investimento em sistema radicular, causados pelo aumento da temperatura e [CO₂], aliados ao aumento da seca esperado na região de ocorrência de *D. wilsonii* (IPCC, 2021), poderiam impactar negativamente o balanço hídrico dessa espécie.

O aumento no tempo de expansão foliar nas plantas de *D. mollis* sob aquecimento moderado mostra que elas demoraram mais tempo para estabilizar o crescimento das folhas. Esse aumento no TEF poderia ser uma desvantagem, pois as plantas passariam mais tempo com baixa eficiência fotossintética, já que a capacidade fotossintética está relacionada à idade das folhas (Kitajima et al., 2002; Damascos et al., 2005) e é menor durante a expansão foliar (Choinski Jr. et al., 2003). Por outro lado, o aumento no tempo de expansão foliar foi acompanhado por maior número de folhas nas plantas de *D. mollis* nesse tratamento, o que pode compensar o atraso na expansão foliar com uma maior quantidade de folhas realizando fotossíntese. Ademais, embora o índice de plasticidade para TEF não tenha diferido significativamente entre as espécies, *D. mollis* se mostrou ligeiramente mais plástica para essa característica do que *D. wilsonii*.

Os maiores valores de comprimento do caule e maior produção foliar observados em plantas de *D. wilsonii* sob aquecimento alto (AMB+4.4), em comparação a *D. mollis*, são características condizentes com árvores de ambientes florestais (Hoffmann & Franco, 2003; Hoffmann et al., 2005). No entanto, o comprimento do caule também apresentou maior índice de plasticidade em *D. wilsonii* que em *D. mollis*, demonstrando que houve variação nessa característica entre os tratamentos. Isso pode estar relacionado à natureza híbrida de *D. wilsonii*, cujos progenitores são nativos de tanto de florestas (*D. exaltata*) quanto do cerrado (*D. mollis*). Por outro lado, as plantas de *D. mollis* apresentaram maior comprimento da raiz que *D. wilsonii*, além de maior diâmetro da raiz quando em temperatura ambiente, que são características típicas de espécies de savana (Hoffmann & Franco, 2003; Hoffmann et al., 2005). Porém, sob aumento severo de temperatura (AMB+4.4) o diâmetro da raiz de *D. mollis* diminuiu, o que pode indicar uma falha ou redução no envio de carboidratos para o sistema radicular. A longo prazo, isso poderia reduzir

a capacidade de exploração do solo para a captação de recursos, prejudicando a espécie, especialmente com o aumento previsto dos períodos de seca (Cook et al., 2014). Além disso, as raízes grossas das plantas de savana permitem o armazenamento de carboidratos e nutrientes necessários para sobreviver a incêndios (Hoffmann e Franco, 2003). Assim, o menor investimento no sistema radicular também poderia tornar as plantas de *D. mollis* menos tolerantes aos eventos frequentes de incêndio em áreas de cerrado.

Corroborando nossa hipótese, as plantas de *D. wilsonii* apresentaram maior plasticidade fenotípica que *D. mollis* para algumas das variáveis morfológicas analisadas, como discutido acima. Possivelmente isso se deve ao fato de *D. wilsonii* ser um híbrido entre *D. mollis* e *D. exaltata* (Muniz et al., 2020), uma vez que híbridos geralmente apresentam plasticidade fenotípica maior que a de seus parentais (Gallego-Tévar et al., 2018; Kuhn et al., 2022). Esta maior plasticidade ao aquecimento apresentada por *D. wilsonii*, pode contribuir para que ela se ajuste mais rapidamente frente à esta mudança ambiental. Porém, mesmo apresentando rápido ajustamento, essa espécie apresentou maior concentração de MDA, o que pode indicar maior estresse oxidativo, causando aumento na peroxidação lipídica (Davey et al., 2005). O aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) é comum em plantas crescendo em elevadas temperaturas (Suzuki & Mittler, 2006), no entanto, o sistema de proteção antioxidante pode conseguir lidar com esse aumento sem haver danos às membranas (Martinez et al., 2014). Dessa forma, em nosso experimento, o maior teor de MDA poderia ser consequência de falha no sistema antioxidante que não eliminou de forma efetiva as EROs. Por outro lado, é possível também que a maior concentração de MDA em *D. wilsonii* seja devido apenas a uma variação normal nos níveis endógenos do subproduto da peroxidação lipídica entre diferentes espécies (Contin & Munné-Bosch, 2016), dessa forma não indicaria maior estresse oxidativo nessa planta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aquecimento atmosférico afetou significativamente as variáveis morfofisiológicas e a sobrevivência das plantas do gênero *Dimorphandra* estudadas. O aquecimento moderado aumentou o índice de clorofila das duas espécies, levando ao aumento na conversão de luz em energia química e consequentemente, a um maior acúmulo de biomassa, principalmente para as raízes. As plantas sob aquecimento alto, por outro lado, embora tenham apresentado indícios de

aclimação térmica, pelos diversos ajustes morfológicos exibidos, tiveram uma menor taxa de sobrevivência. Dessa forma, cenários futuros de aumento moderado na temperatura do ar podem ser benéficos para as plantas estudadas, enquanto cenários mais severos poderão trazer prejuízos. Além disso, a plasticidade fenotípica se mostrou maior em plantas de *D. wilsonii*, o que poderia contribuir para que esta espécie se ajuste mais rapidamente frente ao aquecimento atmosférico. Por fim, faz-se necessário elucidar também os efeitos desse aquecimento em interação com outros fatores ambientais, como a disponibilidade hídrica no solo e concentração de dióxido de carbono atmosférico, que sofrerão alterações devido às mudanças climáticas.

6. REFERÊNCIAS:

- AITKEN S. N.; YEAMAN, S.; HOLLIDAY, J. A.; WANG, T.; CURTIS-MCLANE, S. **Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations.** *Evolutionary Applications*, v. 1, p. 95–111, 2008. doi:10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x
- ALEIXO, I.; NORRIS, D.; HEMERIK, L.; BARBOSA, A.; PRATA, E.; COSTA, F.; POORTER, L. **Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits.** *Nature Climate Change*, v. 9, p. 384–388, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0458-0>
- ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K.; CHENCHOUNI, H.; BACHELET, D.; MCDOWELL, N.; VENNETIER, M.; KITZBERGER, T.; RIGLING, A.; BRESHEARS, D. D.; HOGG, E. H.; GONZALES, P.; FENSHAM, R.; ZHANG, Z.; CASTRO, J.; DEMIDOVA, N.; LIM, J. H.; ALLARD, G.; RUNNING, S. W.; SEMERCI, A.; COBB, N. **A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests.** *Forest Ecology and Management*, v. 259, p. 660–684, 2010.
- BALAGUER, L.; PUGNAIRE, F. I.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; ARMAS, C.; VALLADARES, F.; MANRIQUE, E. **Ecophysiological significance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in *Stipa tenacissima* L.** *Plant and Soil*, v. 240, p. 343–352, 2002.
- BARROS, F. V.; GOULART, M. F.; TELLES, S. B. S.; LOVATO, M. B.; VALLADARES, F.; LEMOS-FILHO, J. P. **Phenotypic plasticity to light of two congeneric trees from contrasting habitats: Brazilian Atlantic Forest versus cerrado (savanna).** *Plant Biology*, v. 14, p. 208–215, 2012. Doi:10.1111/j.1438-8677.2011.00474.x
- BECKLIN, K. M.; ANDERSON, J. T.; GERHART, L. M.; WADGYMAR, S. M.; WESSINGER, C. A.; WARD, J. K. **Examining Plant Physiological Responses to Climate Change through an Evolutionary Lens.** *Plant Physiology*, v. 172, p. 635–649, 2016.
- BORGHETTI, F.; ANDRADE, L. A. Z.; SCHMIDT, I. B.; BARBOSA, E. R. M. **Seed germination and seedling recruitment of *Dimorphandra mollis* Benth. in a Neotropical savanna subjected to prescribed fires.** *Folia Geobotanica*, v. 54, p. 43– 318 51, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12224-019-09338-3>
- CARA, N.; MARFIL, C. F.; MASUELLI, R. W. **Epigenetic patterns newly established after interspecific hybridization in natural populations of *Solanum*.** *Ecology and Evolution*, v. 3, n. 11, p. 3764–3779, 2013. Doi: 10.1002/ece3.758
- CARVALHO, J. M.; BARRETO, R. F.; PRADO, R. M.; HABERMANN, E.; MARTINEZ, C. A.; BRANCO, R. B. F. **Elevated [CO₂] and warming increase the macronutrient use efficiency and biomass of *Stylosanthes capitata* Vogel under field conditions.** *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 206, p. 1–10, 2020. Doi: 10.1111/jac.12398
- CASTRO, F. A.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; VIANA, L. H. **Relationship between photochemical efficiency (JIP-Test Parameters) and portable chlorophyll meter readings in papaya plants.** *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 23, n. 4, p. 295–304, 2011.
- CHOINSKI JR, J. S.; RALPH, P.; EAMUS, D. **Changes in photosynthesis during leaf expansion in *Corymbia gummiifera*.** *Australian Journal of Botany*, v. 51, p. 111–118, 2003.

- CHOU, S.; CHEN, B.; CHEN, J.; WANG, M.; WANG, S.; CROFT, H.; SHI, Q. **Estimation of leaf photosynthetic capacity from the photochemical reflectance index and leaf pigments.** Ecological Indicators, v. 105, p. 867-879, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105867.
- COLOMBO, A. F.; JOLY, C. A. **Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change.** Brazilian Journal Biology, v. 70, n.3, p. 697-708, 2010.
- CONTIN, D. R.; MUNNÉ-BOSCH, S. **Interspecific variation in vitamin E levels and the extent of lipid peroxidation in pioneer and non-pioneer species used in tropical forest restoration.** Tree Physiology, v. 36, n. 9, p. 1151-1161, 2016. DOI: 10.1093/treephys/tpw018.
- COOK, B. I.; SMERDON, J. E.; SEAGER, R.; COATS, S. **Global warming and 21st century drying.** Climate Dynamics, v. 43, p. 2607-2627, 2014. Doi: 10.1007/s00382-014-2075-y
- COUMOU, D.; RAHMSTORF, S. **A decade of weather extremes.** Nature Climate Change, v. 2, p. 491-496, 2012.
- CRAWFORD, A. J.; MCLACHLAN, D. H.; HETHERINGTON, A. M.; FRANKLIN, K. A. **High temperature exposure increases plant cooling capacity.** Current Biology, v. 22, n. 10, p. R396-R397, 2012.
- CROFT, H.; CHEN, J. M.; LUO, X.; BARTLETT, P.; CHEN, B.; STAEBLER, R. M. **Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity.** Global Change Biology, v. 23, n. 1, p. 1-15, 2016. DOI: 10.1111/gcb.13599
- DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A.; NEVES, D. R. M.; SCIAMARELLI, A.; FINA, B. G. **Flora lenhosa de Florestas estacionais do estado de Mato Grosso do Sul: estado da arte.** Iheringia - Série Botânica, v. 73, p. 65-79, 2018.
- DAMASCOS, M. A.; RONQUIM, C. C.; PRADO, C. H. B. A. **Gas exchange and plant growth after defoliation on *Leandra lacunosa*, a cerrado woody species with continuous leaf production.** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 48, p. 967-974, 2005.
- DAVEY, M. W.; STALS, E.; PANIS, B.; KEULEMANS, J.; SWEENNEN, R. L. **High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues.** Analytical Biochemistry, v. 347, p. 201-207, 2005. Doi:10.1016/j.ab.2005.09.041
- DELKER, C.; SONNTAG, L.; JAMES, G. V.; JANITZA, P.; IBÁÑEZ, C.; ZIERMANN, H.; PETERSON, T.; DENK, K.; MULL, S.; ZIEGLER, J.; DAVIS, S. J.; SCHNNEEBERGER, K.; QUINT, M. **The DET1-COP1-HY5 Pathway Constitutes a Multipurpose Signaling Module Regulating Plant Photomorphogenesis and Thermomorphogenesis.** Cell Reports, v. 9, p. 1983-1989, 2014. Doi: 10.1016/j.celrep.2014.11.043
- DUSENGE, M. E.; DUARTE, A. G.; WAY, D. A. **Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration.** New Phytologist, v. 221, p. 32-49, 2019. Doi: 10.1111/nph.15283
- EVANS, J. R.; POORTER, H. **Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain.** Plant, Cell and Environment, v. 24, n. 8, p. 755-767, 2001.

- FERNANDES, F. M.; REGO, J. O. ***Dimorphandra wilsonii* Rizzini (Fabaceae):** distribution, habitat and conservation status. *Acta Botanica Brasilica*, v. 28, p. 434-444, 2014.
- FREITAS, V. L. O.; ALVES, T. H. S.; LOPES, R. M. F.; LEMOS FILHO, J. P. **Biometria de frutos e sementes e germinação de sementes de *Dimorphandra mollis* Benth. e *Dimorphandra wilsonii* Rizz. (Fabaceae – Caesalpinioideae).** *Scientia. Fororestalis*, v. 37, p. 027 – 035, 2009.
- FROST, P.; MEDINA, E.; MENAUT, J.-C.; SOLBRIG, O.; SWIFT, M.; WALKER, B. **Responses of savannas to stress and disturbance.** *Biology International, Special Issue - 10*, 1986, 82 p.
- FU, G.; SHEN, Z.; SUN, W.; ZHONG, Z.; ZHANG, X.; ZHOU, Y. **A Meta-analysis of the Effects of Experimental Warming on Plant Physiology and Growth on the Tibetan Plateau.** *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 34, p. 57–65, 2015. Doi: 10.1007/s00344-014-9442-0
- GALLEGO-TÉVAR, B.; RUBIO-CASAL, A. E.; CIRES, A.; FIGUEROA, E.; GREWELL, B. J.; CASTILLO, J. M. **Phenotypic plasticity of polyploid plant species promotes transgressive behaviour in their hybrids.** *AoB Plants*, v. 10, n. 5, 2018. Doi: 10.1093/aobpla/ply055
- GILLARD, M.; GREWELL, B. J.; DELEU, C.; THIÉBAUT, G. **Climate warming and water primroses:** Germination responses of populations from two invaded ranges. *Aquatic Botany*, v. 136, p. 155–163, 2017.
- GITAY, H.; SUÁREZ, A.; DOKKEN, D. J.; WATSON, R. T. **Climate change and biodiversity.** Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) - technical paper. United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization, Genebra, 2002.
- GONÇALVES, J. F. C.; MARENCO, R. A.; VIEIRA, G. **Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments.** *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, p. 149–157, 2001.
- GONÇALVES, M. E.; VIEGAS, G. C. E.; MELO, N. M. J.; SOUZA, J. P. **The change in the biomass allocation to stems and leaves in young plants of *Dimorphandra wilsonii* under eCO₂ may harm this endangered species in native areas.** *Plant Species Biology*, v. 39, p. 39–50, 2024. Doi: 10.1111/1442-1984.12440
- GRATANI, L. **Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors.** *Advances in Botany*, v. 2014, p. 1-17, 2014.
- HODGES, D. M.; DELONG, J. M.; FORNEY, C. F.; PRANGE, R. K. **Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds.** *Planta*, v. 207, p. 604–611, 1999. Doi.org/10.1007/s004250050524
- HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. **Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts.** *Journal of Ecology*, v. 91, p. 475–484, 2003.
- HOFFMANN, W. A.; SILVA JR, E. R.; MACHADO, G. C.; BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C. **Seasonal leaf dynamics across a tree density gradient in a Brazilian savanna.** *Oecologia*, v. 145, p. 307–316, 2005. Doi: 10.1007/s00442-005-0129-x

HOOVER, S. E. R.; LADLEY, J. J.; SHCHEPETKINA, A. A.; TISCH, M.; GIESENG S. P.; TYLIANAKIS, J. M. **Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism.** Ecology Letters, v. 15, p. 227-234, 2012. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01729.x

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados das estações meteorológicas.** Brasil, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In: **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, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J. B. R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU, and B. ZHOU (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, 2021.

JIN, B.; WANG, L.; WANG, J.; JIANG, K.; WANG, Y.; JIANG, X.; NI, C.; WANG, Y.; TENG, N. **The effect of experimental warming on leaf functional traits, leaf structure and leaf biochemistry in *Arabidopsis thaliana*.** BMC Plant Biology, v. 11, n. 35, 2011.

JUMP, A. S.; PEÑUELAS, J. **Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change.** Ecology Letters, v. 8, p. 1010–1020, 2005.

KISSMANN, C.; HABERMANN, G. **Different approaches on seed germination to look into global warming effects on *Araucaria angustifolia*.** Theoretical and Experimental Plant Physiology, v. 26, p. 39-47, 2014. Doi 10.1007/s40626-014-0003-5

KITAJIMA, K.; MULKEY, S. S.; SAMANIEGO, M.; WRIGHT, S. J. **Decline of photosynthetic capacity with leaf age and position in two tropical pioneer tree species.** American Journal of Botany, v. 89, p. 1925–1932, 2002.

KUHN, T.; GYÖRFI, O.; RUPRECHT, E. **Seedling performance, allocation patterns and phenotypic plasticity of two sympatric hawthorn species and their natural hybrid.** Flora, v. 287, 2022. Doi: 10.1016/j.flora.2021.151994

LANG, P. L. M.; WILLEMS, F. M.; SCHEEPENS, J. F.; BURBANO, H. A.; BOSSDORF, O. **Using herbaria to study global environmental change.** New Phytologist, v. 221, p. 110-122, 2019. Doi: 10.1111/nph.15401

LEAL FILHO, W. AZEITEIRO, U. M.; BALOGUN, A. L.; SETTI, A. F. F.; MUCOVA, S. A. R. AYAL, D.; TOTIN, E.; LYDIA, A. M.; KALABA, F. K.; OGUGE, N. O. **The influence of ecosystems services depletion to climate change adaptation efforts in Africa.** Science of the Total Environment, v. 779, 2021.

LEE, J.-H.; KIM, J. Y.; KIM, J.-I.; PARK, Y.-J.; PARK, C.-M.; **Plant Thermomorphogenic Adaptation to Global Warming.** Journal of Plant Biology, v. 63, p. 1-9, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12374-020-09232-y>

LIPPMANN, R.; BABBEN, S.; MENDER, A.; DELKER, C.; QUINT, M. **Development of Wild and Cultivated Plants under Global Warming Conditions.** Current Biology v. 29, p. R1326–R1338, 2019. Doi: 10.1016/j.cub.2019.10.016

- LIU, Q.; PENG, C.; SCHNEIDER, R.; CYR, D.; MCDOWELL, N. G.; KNEESHAW, D. **Drought-induced increase in tree mortality and corresponding decrease in the carbon sink capacity of Canada's boreal forests from 1970 to 2020.** *Global Change Biology*, v. 29, p. 2274-2285, 2023. Doi: 10.1111/gcb.16599
- LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T. **Caracterização morfológica de sementes, plântulas e da germinação de *Dimorphandra wilsonii* Rizz. - Faveiro-de-Wilson (Fabaceae - Caesalpinioideae).** *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30, p.96-101, 2008.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992.
- MANTGEM, P. J. V.; STEPHENSON, N. L. **Apparent climatically induced increase of tree mortality rates in a temperate forest.** *Ecology Letters*, v. 10, p. 909–916, 2007. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01080.x
- MARANGON, L. C.; SOARES, J. J.; FELICIANO, A. L. P. **Florística arbórea da Mata da Pedreira no município de Viçosa, MG.** *Revista Árvore* v. 27, p. 207-215, 2003.
- MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (Orgs.). **Livro vermelho da flora do Brasil.** Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson-instituto de Pesquisas Jardim Botânico do rio de Janeiro, 2013, 1102 p.
- MARTINEZ C. A.; BIANCONI, M.; SILVA, L.; APPROBATO, A.; LEMOS, M.; SANTOS, L.; CURTARELLI, L.; RODRIGUES, A.; MELLO, T.; MANCHON, F. **Moderate warming increases PSII performance, antioxidant scavenging systems and biomass production in *Stylosanthes capitata* Vogel.** *Environmental and Experimental Botany*, v. 102, p. 58-67, 2014. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.02.001
- MARTINEZ C. A.; OLIVEIRA, E. A. D.; MELLO, T. R. P.; ALZATE-MARIN, A. L. **Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 635-650, 2015.
- MARTINS, E. M.; FERNANDES, F. M.; MAURENZA, D.; POUGY, N.; LOYOLA, R.; MARTINELLI, G. (Orgs.). **Plano de Ação Nacional para a Conservação do Faveiro de wilson (*Dimorphandra wilsonii* Rizzini).** Andrea Jakobsson Estúdio: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014, 52 p.
- MCDOWELL, N.; ALLEN, C. D.; ANDERSON-TEIXEIRA, K.; BRANDO, P.; BRIENEN, R.; CHAMBERS, J.; CHRISTOFFERSEN, B.; DAVIES, S.; DOUGHTY, C.; DUQUE, A.; ESPIRITO-SANTO, F.; FISHER, R.; FONTES, C. G.; GALBRAITH, D.; GOODSMAN, D.; GROSSIORD, C.; HARTMANN, H.; HOLM, J.; JOHNSON, D. J.; KASSIM, A. R.; KELLER, M.; KOVEN, C. KUEPPERS, L.; KUMAGAI, T.; MALHI, Y.; MCMAHON, S. M.; MENCUCCINI, M.; MEIR, P.; MOORCROFT, P.; MULLER-LANDAU, H. C.; PHILLIPS, O. L.; POWELL, T.; SIERRA, C. A.; SPERRY, J.; WARREN, J.; XU, C.; XU, X. **Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests.** *New Phytologist*, v. 219, p. 851-869, 2018.
- MITTLER, R. **Abiotic stress, the field environment and stress combination.** *Trends Plant Science*, v. 11, p. 9-15, 2006.

- MOHANTY, S.; GRIMM, B.; TRIPATHY, B. C. **Light and dark modulation of chlorophyll biosynthetic genes in response to temperature.** *Planta*, v. 224, n. 3, p. 692-699, 2006. Doi: 10.1007/s00425-006-0248-6
- MUNIZ, A. C.; LEMOS-FILHO, J. P.; SOUZA, H. A.; MARINHO, R. C.; BUZATTI, R. S.; HEUERTZ, M.; LOVATO, M. B. **The protected tree *Dimorphandra wilsonii* (Fabaceae) is a population of inter-specific hybrids: recommendations for conservation in the Brazilian Cerrado/Atlantic Forest ecotone.** *Annals of Botany*, v. 126, p. 191–203, 2020. Doi: 10.1093/aob/mcaa066
- NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. **Rapid responses of plants to temperature changes.** *Temperature*, v. 4, n. 4, p. 371-405, 2017. Doi: 10.1080/23328940.2017.1377812
- NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. **Mudanças climáticas e Amazônia.** *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.
- OOI, M. K. J. **Seed bank persistence and climate change.** *Seed Science Research*, v. 22 (Supplement S1), p. S53-S60, 2012. doi:10.1017/S0960258511000407
- O’SULLIVAN, O. S.; HESKEL, M. A.; REICH, P. B.; TJOELKER, M. G.; WEERASINGHE, L. K.; PENILLARD, A.; ZHU, L.; EGERTON, J. J. G.; BLOOMFIELD, K. J.; CREEK, D.; BAHAR, N. H. A.; GRIFFIN, K. L.; HURRY, V.; MEIR, P.; TURNBULL, M. H.; ATKIN, O. K. **Thermal limits of leaf metabolism across biomes.** *Global Change Biology*, v. 23, p. 209–23, 2017. doi: 10.1111/gcb.13477
- PACHECO, M. V.; MATTEI, V. L.; MATOS, V. P.; SENA, L. H. M. **Germination and vigor of *Dimorphandra mollis* Benth. seeds under different temperatures and substrates.** *Revista Árvore*, v. 34, p. 205-213, 2010.
- PARK, Y.-J.; PARK, C.-M. **Physicochemical modeling of the phytochrome-mediated photothermal sensing.** *Scientific Reports*, v. 9, 2019. Doi: 10.1038/s41598-019-47019-5
- PENG, C.; MA, Z.; LEI, X.; ZHU, Q.; CHEN, H.; WANG, W.; LIU, S.; LI, W.; FANG, X.; ZHOU, X. **A drought-induced pervasive increase in tree mortality across Canada’s boreal forests.** *Nature Climate Change*, v. 1, p. 467–471, 2011.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DIAZ, S.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; BRET-HARTE, M. S.; CORNWELL, W. K.; CRAINE, J. M.; GURVICH, D. E.; URCELAY, C.; VENEKLAAS, E. J.; REICH, P. B.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; RAY, P.; ENRICO, L.; PAUSAS, J. G.; VOS, A. C.; BUCHMANN, N.; FUNES, G.; QUÉTIER, F.; HODGSON, J. G.; THOMPSON, K.; MORGAN, H. D.; TER STEEGER, H.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SACK, L.; BLONDER, B.; POSCHOLD, P.; VAIERETTI, M. V.; CONTI, G.; STAYER, A. C.; AQUINO, S.; CORNELISSEN, J. H. C. **New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide.** *Australian Journal of Botany*, v. 61, p. 167-234, 2013.
- PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. **Increasing trends in regional heatwaves.** *Nature Communications*, v. 11, Article number: 3357, 2020.

- PIGGOTT, J. J.; TOWNSEND, C. R.; MATTHAEI, C. D. **Reconceptualizing synergism and antagonism among multiple stressors**. *Ecology and Evolution*, v. 5, n. 7, p. 1538-1547, 2015.
- POORTER, H.; JONG, R. **A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity**. *New Phytologist* v. 143, p. 163-176, 1999.
- QI, Y.; WEI, W.; CHEN, C.; CHEN, L. **Plant root-shoot biomass allocation over diverse biomes: A global synthesis**. *Global Ecology and Conservation*, v. 18, e00606, 2019. Doi: 10.1016/j.gecco.2019.e00606
- RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. **Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas**. *Edinburgh Journal of Botany*, v. 60, p. 57–109, 2003. Doi: 10.10M/S0960428603000064
- R Development Core Team. 2018. A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; RAMOS, R. A.; MACHADO, D. F. S. P. **Moderate warm temperature improves shoot growth, affects carbohydrate status and stimulates photosynthesis of sweet orange plants**. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 24, p. 37-46, 2012.
- RICHARDS, C. L.; BOSSDORF, O.; MUTH, N. Z.; GUREVITCH, J.; PIGLIUCCI, M. **Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions**. *Ecology Letters*, v. 9, p. 981–993, 2006.
- SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. **The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis**. *Plant, Cell and Environment*, v. 30, p. 1086–1106, 2007.
- SASTRY, A.; BARUA, D. **Leaf thermotolerance in tropical trees from a seasonally dry climate varies along the slow-fast resource acquisition spectrum**. *Scientific Reports*, v. 7, 2017. Doi:10.1038/s41598-017-11343-5
- SILVA, M. F. **Flora Neotrópica: *Dimorphandra* (Caesalpinaceae)**. The New York Botanical Garden, New York, 1986.
- SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. **Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species**. *Biota Neotropica*, v. 3, p. 1-14, 2003.
- STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. **As Clorofilas**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, 2005.
- SULTAN, S. E. **Phenotypic plasticity for plant development, function and life history**. *Trends in Plant Science*, v. 5, p. 537–542, 2000.
- SUZUKI, N.; MITTLER, R. **Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction**. *Physiologia Plantarum*, v. 126, p. 45–51, 2006. Doi: 10.1111/j.1399-3054.2005.00582.x

TESKEY, R.; WERTIN, T.; BAUWERAERTS, I.; AMEYE, M.; MCGUIRE, M. A.; STEPPE, K. **Responses of tree species to heat waves and extreme heat events.** *Plant, Cell and Environment*, v. 38, n. 9, p. 1699-1712, 2015. DOI: 10.1111/pce.12417.

TEWARI, A. K.; TRIPATHY, B. C. **Temperature-Stress-Induced Impairment of Chlorophyll Biosynthetic Reactions in Cucumber and Wheat.** *Plant Physiology*, v. 117, p. 851–858, 1998.

THAKUR, M. P.; REICH, P. B.; EDDY, W. C.; STEFANSKI, A.; RICH, R.; HOBBIE, S. E.; EISENHAUER, N. **Some plants like it warmer:** Increased growth of three selected invasive plant species in soils with a history of experimental warming. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, v. 57, n. 1, p. 57-60, 2014.

TIWARI, R. GLOOR, E.; CRUZ, W. J. A.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; REIS, S. M.; SOUZA, I. A.; KRAUSE, H. G.; SLOT, M.; WINTER, K.; ASHLEY, D.; BÉU, R. G.; BORGES, C. S.; CUNHA, M.; FAUSET, S.; FERREIRA, L. D. S.; GONÇALVES, M. D. A.; LOPES, T. T.; MARQUES, E. Q.; MENDONÇA, N. G.; MENDONÇA, N. G.; NOLETO, P. T.; OLIVEIRA, C. H. L.; OLIVEIRA, M. A.; PIREDA, S.; PRESTES, N. C. C. S.; SANTOS, D. M.; SANTOS, E. B.; SILVA, E. L. S.; SOUZA, I. A.; SOUZA, L. J.; VITÓRIA, A. P.; FOYER, C. H.; GALBRAITH, D. **Photosynthetic quantum efficiency in south-eastern Amazonian trees may be already affected by climate change.** *Plant Cell Environment*, v. 44, p. 2428–2439, 2020. Doi:10.1111/pce.13770

THOMPSON, A. J.; ANDREWS, J.; MULHOLLAND, B. J.; MCKEE, J. M. T.; HILTON, H. W.; HORRIDGE, J. S.; FARQUHAR, G. D.; SMEETON, R. C.; SMILLIE, I. R. A.; BLACK, C. R.; TAYLOR I. B. **Overproduction of Absciscic Acid in Tomato Increases Transpiration Efficiency and Root Hydraulic Conductivity and Influences Leaf Expansion.** *Plant Physiology*, v. 143, p. 1905–1917, 2007.

VALLADARES, F.; BALAGUER, L.; MARTINEZ-FERRI, E.; PEREZ-CORONA, E.; MANRIQUE, E. **Plasticity, instability and canalization: is the phenotypic variation in seedlings of sclerophyll oaks consistent with the environmental unpredictability of Mediterranean ecosystems?** *New Phytologist*, v. 156, p. 457–467, 2002.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMES, D.; ZAVALA, M. A. **Quantitative estimation of phenotypic plasticity:** bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology*, v. 94, p. 1103–1116, 2006.

VELAZCO, S. J. E.; VILLALOBOS, F.; GALVÃO, F.; JÚNIOR, P. M. **A dark scenario for Cerrado plant species:** Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. *Diversity and Distributions*, v.25, p. 660-673, 2019.

VAN KLEUNEN, M.; FISCHER, M. **Progress in the detection of costs of phenotypic plasticity in plants.** *New Phytologist*, v. 176, p. 727-730, 2007. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02296.x

WALCK, J. L.; HIDAYATI, S. N.; DIXON, K. W.; THOMPSONS, K.; POSCHLOD, P. **Climate change and plant regeneration from seed.** *Global Change Biology*, v. 17, p. 2145–2161, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x

WITTMANN, C.; ASCHAN, G.; PFANZ, H. **Leaf and twig photosynthesis of young beech (*Fagus sylvatica*) and aspen (*Populus tremula*) trees grown under different light regimes.** Basic and Applied Ecology, v. 2, p. 145-154, 2001.

YAMASAKI, T.; YAMAKAWA, T.; YAMANE, Y.; KOIKE, H.; SATOH, K.; KATOH, S. **Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat.** Plant Physiology, v. 128, p. 1087-1097, 2002.

YU, D.; LIU, Y.; SHI, P.; WU, J. **Projecting impacts of climate change on global terrestrial ecoregions.** Ecological Indicators, v. 103, p. 114–123, 2019.

YUAN, Y.; GE, L.; YANG, H.; REN, W. **A meta-analysis of experimental warming effects on woody plant growth and photosynthesis in forests.** Journal of Forestry Research, v. 29, n. 3, P. 727–733, 2018. Doi: 10.1007/s11676-017-0499-z

ZHU, J.; ZHU, H.; CAO, Y.; LI, J.; ZHU, Q.; YAO, J.; XU, C. **Effect of simulated warming on leaf functional traits of urban greening plants.** BMC Plant Biology, v. 20, n. 139, 2020. Doi: 10.1186/s12870-020-02359-7

APÊNDICE A - MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1. Características da fertilidade, matéria orgânica e granulometria do solo utilizado no experimento. pH = potencial hidrogeniônico em H₂O; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; SB = soma de bases; T = capacidade de troca de cátion; H + Al = acidez potencial; Al = alumínio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; K = potássio; Na = sódio; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco; S = enxofre; P = fósforo; C = carbono; MO = matéria orgânica e N = Nitrogênio.

Características	Valores
pH (H ₂ O)	5,670
V (%)	46
m (%)	0
SB (cmol _c /dm ³)	2,133
T (cmol _c /dm ³)	4,567
H+Al (cmol _c /dm ³)	2,433
Al (cmol _c /dm ³)	0,000
Ca (cmol _c /dm ³)	1,567
Mg (cmol _c /dm ³)	0,367
K (cmol _c /dm ³)	0,117
Na (cmol _c /dm ³)	0,080
B (g/dm ³)	0,0001
Cu (g/dm ³)	0,001
Fe (g/dm ³)	0,056
Mn (g/dm ³)	0,039
Zn (g/dm ³)	0,0009
S (g/dm ³)	0,018
P (g/dm ³)	0,001
C (g/kg)	8,60
MO (g/kg)	14,80
N (g/Kg)	0,723
Granulometria	
Argila (%)	59,17
Areia grossa (%)	10,53
Areia fina (%)	8,13
Silte (%)	22,17

TABELA S2. Variáveis morfofisiológicas em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB), aquecimento moderado (AMB+2.7) e aquecimento alto (AMB+4.4). Clr *a/b* = razão de clorofila *a/b*; MSCot = massa seca dos cotilédones; TAC = tempo para a abscisão dos cotilédones. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. N (Clr *a/b*) = AMB - 4 (*D. mollis*), 5 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 10 (*D. mollis*), 11 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 5 (*D. mollis*), 5 (*D. wilsonii*). N (MSCot) = AMB - 10 (*D. mollis*), 8 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 5 (*D. mollis*), 2 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 5 (*D. mollis*), 9 (*D. wilsonii*). N (TAC) = AMB - 1 (*D. mollis*), 7 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 13 (*D. mollis*), 16 (*D. wilsonii*); AMB+4.4 - 1 (*D. mollis*), 6 (*D. wilsonii*)

Tratamento	Espécie	Clr <i>a/b</i>	MSCot (g)	TAC (dias)
AMB	<i>D. mollis</i>	3,21 $\pm$ 1,21	0,027 $\pm$ 0,008	7,00 $\pm$ 0,00
	<i>D. wilsonii</i>	5,54 $\pm$ 4,90	0,024 $\pm$ 0,010	49,86 $\pm$ 18,45
AMB+2.7	<i>D. mollis</i>	6,80 $\pm$ 4,64	0,023 $\pm$ 0,010	64,54 $\pm$ 13,61
	<i>D. wilsonii</i>	5,51 $\pm$ 1,94	0,055 $\pm$ 0,026	49,00 $\pm$ 19,15
AMB+4.4	<i>D. mollis</i>	5,91 $\pm$ 1,75	0,023 $\pm$ 0,003	53,00 $\pm$ 0,00
	<i>D. wilsonii</i>	6,90 $\pm$ 3,15	0,030 $\pm$ 0,009	38,17 $\pm$ 23,63

TABELA S3. Variáveis fisiológicas em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB) e aquecimento moderado (AMB+2.7), aos cinquenta e aos noventa e oito DAE. Clr *a* = índice de clorofila *a*; Clr *total* = índice de clorofila total. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos de temperatura, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as espécies e letras minúsculas em negrito indicam diferenças significativas entre as datas de medição. N (50 DAE) = AMB - 4 (*D. mollis*) e 5 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 10 (*D. mollis*) e 11 (*D. wilsonii*). N (98 DAE) = AMB - 9 (*D. mollis*) e 10 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 16 (*D. mollis*) e 15 (*D. wilsonii*).

Variáveis	Tratamento		Espécie		DAE	
	AMB	AMB+2.7	<i>D. mollis</i>	<i>D. wilsonii</i>	50	98
Clr <i>a</i>	21,66 $\pm$ 16,10B	29,54 $\pm$ 18,72A	23,08 $\pm$ 18,96	30,30 $\pm$ 16,81	21,06 $\pm$ 14,36 b	30,22 $\pm$ 19,41 a
Clr <i>total</i>	25,39 $\pm$ 16,94B	34,26 $\pm$ 19,25A	26,74 $\pm$ 19,38b	35,35 $\pm$ 17,56a	25,12 $\pm$ 16,25 b	34,77 $\pm$ 19,53 a

TABELA S4. Índice de clorofila em plantas de *D. mollis* e *D. wilsonii* cultivadas sob temperatura ambiente (AMB) e aquecimento moderado (AMB+2.7), aos cinquenta e noventa e oito dias após o início do experimento (DAE). Clr *a/b* = razão de clorofila *a/b*. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. N (50 DAE) = AMB - 4 (*D. mollis*), 5 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 10 (*D. mollis*), 11 (*D. wilsonii*). N (98 DAE) = AMB - 9 (*D. mollis*), 10 (*D. wilsonii*); AMB+2.7 - 16 (*D. mollis*), 15 (*D. wilsonii*).

Tratamento	Espécie	DAE	Clr <i>a/b</i>
AMB	<i>D. mollis</i>	50	3,21 $\pm$ 1,21
		98	7,40 $\pm$ 7,43
	<i>D. wilsonii</i>	50	5,54 $\pm$ 4,90
		98	6,49 $\pm$ 3,11
AMB+2.7	<i>D. mollis</i>	50	6,80 $\pm$ 4,64
		98	8,72 $\pm$ 6,75
	<i>D. wilsonii</i>	50	5,51 $\pm$ 1,94
		98	11,33 $\pm$ 13,17

