

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Felipe Muniz Gadelha Sales

**Produção de mudas e irrigação no campo: respostas estruturais e fisiológicas de
Caryocar brasiliense Cambess**

Montes Claros

2025

Felipe Muniz Gadelha Sales

**Produção de mudas e irrigação no campo: respostas estruturais e fisiológicas de
Caryocar brasiliense Cambess**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Paulo Sérgio Nascimento
Lopes

Coorientador: Dra. Hellen Cássia
Mazzottini dos Santos

Coorientador: Dr. Leonardo Monteiro
Ribeiro

Montes Claros

2025

Sales, Felipe Muniz Gadelha.

S163p
2025

Produção de mudas e irrigação no campo [manuscrito]: respostas estruturais e fisiológicas de *Caryocar brasiliense* Cambess/ Felipe Muniz Gadelha Sales. Montes Claros, 2025.

85 f.: il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Paulo Sérgio Nascimento Lopes

Banca examinadora: Ernane Ronie Martins. Glauciana da Mata Ataíde. Túlio Gabriel Soares Oliveira. Guilherme Pereira Dias.

Inclui referências: f. 19-27; 54-61; 80-84.

1. Pequi -- Teses. 2. Cerrados -- Teses. 3. Áreas protegidas -- Teses. 4. Morfologia vegetal -- Teses. 5. Morfologia animal -- Teses. 6. Plantas -- Efeito da sombra -- Teses. 7. Plantas -- Efeito da radiação solar -- Teses. 8. Viveiros florestais -- Teses. 9. Reflorestamento -- Tese. I. Lopes, Paulo Sérgio Nascimento. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 630:582.81

ATA DE DEFESA DE TESE

Aos 08 dias do mês de agosto de 2025 às 8:30 horas, sob a Presidência do Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, D. Sc. (Orientador - UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Ernane Ronie Martins, D. Sc. (UFGM/ICA), Glauciana da Mata Ataíde, D. Sc. (UFSJ) e dos Pós-Doutorandos Túlio Gabriel Soares Oliveira, D. Sc. (Unimontes) e Guilherme Pereira Dias, D. Sc. (Unimontes), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de **Felipe Muniz Gadelha Sales**, aluno do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: "Produção de mudas e irrigação no campo: respostas estruturais e fisiológicas de *Caryocar brasiliense* Cambess.", sendo o aluno considerado aprovado. E, para constar, eu, Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 65** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.


Montes Claros, 08 de agosto de 2025.

Documento assinado digitalmente
 ERNANE RONIE MARTINS
Data: 08/08/2025 16:57:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Ernane Ronie Martins
Membro

Documento assinado digitalmente
 TULIO GABRIEL SOARES OLIVEIRA
Data: 08/08/2025 15:20:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Túlio Gabriel Soares Oliveira
Membro

Documento assinado digitalmente
 GLAUCIANA DA MATA ATAÍDE
Data: 08/08/2025 13:58:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Glauciana da Mata Ataíde
Membro

Documento assinado digitalmente
 GUILHERME PEREIRA DIAS
Data: 08/08/2025 15:13:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Guilherme Pereira Dias
Membro

Documento assinado digitalmente
 PAULO SÉRGIO NASCIMENTO LOPES
Data: 08/08/2025 12:21:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Sérgio Nascimento Lopes
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelas bênçãos, provações e ensinamentos que me sustentaram ao longo dessa jornada.

À minha família, pela presença constante no dia a dia, pelas visitas em Montes Claros-MG, pelo silêncio respeitoso nos momentos de reflexão e pela confiança e apoio incondicional, mesmo quando o caminho parecia incerto. Com vocês, esta conquista ganha seu verdadeiro sentido!

Ao meu orientador, Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, pelos direcionamentos, profissionalismo, incentivo e descontração nos momentos oportunos. Sua contribuição foi essencial para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus coorientadores, Leonardo Monteiro Ribeiro e Hellen Cássia Mazzottini dos Santos, pela oportunidade de acesso aos laboratórios da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Trabalhar nessa área foi um desafio pessoal, mas extremamente gratificante, pois me mostrou que somos capazes de ir além dos limites aos quais estamos habituados.

Expresso minha profunda gratidão aos grupos, parceiros e instituições que apoiaram este projeto. Agradeço à Maria Fernanda, em nome dos membros do Grupo de Estudos em Frutíferas Exóticas e Nativas (GEFEN), pelo acolhimento, dedicação e espírito de trabalho em equipe. Ao Felipe Ramos e sua família, da Fazenda Almas, sou grato pelo acesso ao experimento de campo e pelo companheirismo durante toda a jornada. Reconheço a valiosa colaboração da equipe de laboratórios, do pessoal de transporte e dos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)-Campus Montes Claros e do Instituto de Ciências Agrárias (ICA). Meus agradecimentos à Patrícia Pereira e ao Guilherme Costa, em nome da equipe do Laboratório de Anatomia Vegetal da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Gratidão ao Lindemberg Costa Junior e equipe, do Instituto Federal do Maranhão (IFMA)-Campus Avançado Porto Franco, e ao pessoal do setor de bolsas da Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo apoio durante todo o período do doutorado.

Aos colegas e amigos da caminhada acadêmica, agradeço pelos momentos de troca, convivência e leveza, que tornaram essa trajetória mais significativa.

Cada um permanece guardado em minha memória e no coração. Gratidão!

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.”

(Eclesiastes 3:1)

Produção de mudas e irrigação no campo: respostas estruturais e fisiológicas de *Caryocar brasiliense* Cambess

RESUMO

O Brasil, por meio do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa, busca restaurar 12 milhões de hectares até 2030, contemplando APPs, reservas legais e áreas degradadas. A recente Lei 15.089/2025 fortalece o uso sustentável do Pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) e outros frutos nativos do Cerrado, incentivando o reflorestamento e a produção comercial. A crescente demanda por mudas de qualidade da espécie evidencia a necessidade de compreender fatores que influenciam sua sobrevivência e crescimento no campo. Entre esses fatores, estão as condições ambientais de produção das mudas e o uso da irrigação no campo durante o período de estiagem no Cerrado. O objetivo do estudo foi avaliar ao longo do tempo, as alterações morfoanatômicas e fisiológicas em mudas de *C. brasiliense* cultivadas em três condições e plantadas com e sem irrigação no campo. O ambiente da estufa e pleno sol proporcionam as melhores condições para o crescimento das mudas no viveiro, porém no campo as de pleno sol foram superiores. Mudas cultivadas a pleno sol apresentam maiores quantidades de tricomas, cutícula e parênquima paliçádico do que aquelas cultivadas nos outros ambientes. O uso da irrigação favorece em mais de 80% a sobrevivência das plantas no campo, no primeiro ano pós-plantio. Os resultados demonstram elevada plasticidade morfoanatômica do *C. brasiliense* aos ambientes de cultivo, sendo que o pleno sol produz mudas de qualidade mais elevada.

Palavras-chave: Pequi; Cerrado; ambiente protegido; morfoanatomia; restauração ambiental; telado; pleno sol; estufa; reflorestamento.

Seedling production and field irrigation: structural and physiological responses of *Caryocar brasiliense* Cambess

ABSTRACT

Brazil, through the National Plan for Native Vegetation Recovery, aims to restore 12 million hectares by 2030, including APPs, legal reserves, and degraded areas. The recent Law 15.089/2025 strengthens the sustainable use of Pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) and other native Cerrado fruits, encouraging reforestation and commercial production. The growing demand for quality seedlings of this species highlights the need to understand the factors that influence their survival and growth in the field. Among these factors are the environmental conditions for seedling production and the use of irrigation in the field during the dry season in the Cerrado. The objective of this study was to evaluate the morphoanatomical and physiological changes over time in *C. brasiliense* seedlings grown under three conditions and planted with and without irrigation in the field. The greenhouse and full sun environment provide the best conditions for seedling growth in the nursery, but full sun conditions were superior in the field. Seedlings grown in full sun have greater amounts of trichomes, cuticle, and palisade parenchyma than those grown in other environments. Irrigation favors plant survival in the field by more than 80% in the first year after planting. The results demonstrate high morphoanatomical plasticity of *C. brasiliense* in relation to growing environments, with full sun producing higher-quality seedlings.

Keywords: Pequizeiro; Cerrado; protected environment; morphoanatomy; environmental restoration; shade house; full sun; greenhouse; reforestation.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO GERAL	11
2.1. Objetivos específicos.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1. Influência dos ambientes de cultivo no desenvolvimento das mudas.....	11
3.2. Importância e principais atributos relacionados com qualidade das mudas.....	14
3.3. Morfologia, anatomia e fisiologia de plantas de pequizeiro.....	17
3.4. Referências bibliográficas.....	19
ARTIGO 1 Ambiente de cultivo e atributos de qualidade das mudas de <i>Caryocar brasiliense</i>	28
RESUMO	28
ABSTRACT	29
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1. Obtenção do material vegetal e caracterização ambiental.....	32
2.2. Resposta das mudas ao ambiente de cultivo.....	35
2.3. Análise estatística.....	37
3. RESULTADOS	37
3.1 Atributos morfológicos.....	37
3.2 Atributos morfoanatômicos e histoquímica.....	41
3.3 Atributos fisiológicos.....	46
4. DISCUSSÃO	49
4.1. Respostas morfológicas.....	49
4.2. Respostas morfoanatômicas e histoquímica.....	51
4.3. Respostas fisiológicas.....	52

5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS	54
ARTIGO 2 Atributos das mudas e uso da irrigação na sobrevivência e desenvolvimento de plantas de <i>Caryocar brasiliense</i> no campo	62
RESUMO	62
ABSTRACT	63
1. INTRODUÇÃO	64
2. MATERIAL E MÉTODOS	66
2.1. Origem do material vegetal.....	66
2.2. Local e monitoramento do experimento.....	66
2.3. Condução do experimento e características avaliadas.....	70
2.4. Análise estatística.....	71
3. RESULTADOS	71
3.1 Desempenho das mudas aos seis meses pós-plantio.....	71
3.2 Desempenho das mudas um ano pós-plantio.....	73
3.3 Desempenho das mudas dois anos pós-plantio.....	74
4. DISCUSSÃO	75
4.1. Condições ambientais para produção de mudas e o desempenho destas no campo ao longo do tempo.....	76
4.2. Uso da irrigação no desempenho de mudas no campo ao longo do tempo.....	78
5. CONCLUSÕES	80
6. REFERÊNCIAS	80

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, por meio do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa, visa restaurar pelo menos 12 milhões de hectares até 2030, considerando áreas de preservação permanente (APPs), reservas legais (RL) e terras degradadas (Liévano-Latorre et al., 2025). Além disso, a Lei federal 15.089, de 7 de janeiro de 2025, que incentiva o uso sustentável do Pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) e demais frutos e produtos nativos do Cerrado, tem impulsionado a implantação de plantios comerciais e projetos de reflorestamento (BRASIL, 2025). Nesse sentido, em função da grande importância ecológica e econômica do *C. brasiliense*, mudas de qualidade da espécie, que apresentem elevada sobrevivência e crescimento, têm sido demandadas em larga escala (Kijowska-Oberc et al., 2021; MMA, 2017).

Fatores ambientais, como intensidade de luz, temperatura, umidade e suprimento de água, são determinantes na formação de mudas de qualidade. Essas variáveis desempenham um papel essencial no desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente aspectos estruturais e fisiológicos das mudas (Toca et al., 2022). A intensidade de luz e a temperatura, por exemplo, afetam a fotossíntese e o crescimento das plantas, enquanto a umidade e o suprimento adequado de água são essenciais para a manutenção do turgor celular e a realização de processos metabólicos vitais (Mishra & Chatuverdi, 2019; Yu et al., 2017; He et al., 2016; Watanabe et al., 2002; Hai-long, 2011).

A vegetação no Cerrado está sob constante exposição a altas temperaturas, altos índices de radiação, além de baixa disponibilidade hídrica durante a estação seca. Em resposta a estas condições as plantas comumente reduzem a condutância estomática, transpiração e conseqüentemente a fixação de carbono (Palhares et al., 2010). Além disso, ocorrem alterações morfológicas, como a morte da parte aérea e a sobrevivência do sistema subterrâneo, com a presença de estruturas de reservas e sistema radicular de elevado comprimento, como ocorre em diversas espécies do Cerrado, inclusive no *C. brasiliense* (Terra et al., 2023; García-Núñez et al., 2019; Sousa et al., 2017, Mota et al., 2025). Entretanto, apesar dessas adaptações, existem evidências da sensibilidade em mudas de *C. brasiliense* ao déficit hídrico, o que afeta a sua sobrevivência e crescimento no campo (Sousa et al., 2017; Scalón et al., 2020; Mota et al., 2025).

Apesar das informações disponíveis sobre a influência dos fatores ambientais na formação de mudas e sensibilidade destas ao estresse hídrico, há escassez de estudos que

avaliem de forma abrangente as variações nas características estruturais e fisiológicas das mudas de *C. brasiliense* e o seu comportamento no campo na condição de sequeiro e irrigada (Nunes, 2019; Pinto et al., 2016; Mota et al., 2025). A falta de estudos detalhados sobre o desenvolvimento e a qualidade das mudas de *C. brasiliense* e uso da irrigação, limita o conhecimento sobre as melhores práticas para cultivo e conservação da espécie.

Logo, este estudo trabalha com as seguintes hipóteses: mudas cultivadas em diferentes ambientes no viveiro apresentam variações significativas em suas características morfoanatômicas e fisiológicas, o que pode afetar seu comportamento no campo, enquanto o uso da irrigação pode aumentar a sobrevivência e crescimento das plantas pós-plantio. Neste sentido, a pesquisa quer responder as seguintes questões: I) Quais as principais alterações estruturais e fisiológicas das mudas produzidas em diferentes ambientes? II) Qual o ambiente de produção de mudas que mais favorece a sua sobrevivência e desenvolvimento no campo? III) A irrigação proporciona o desempenho superior das mudas de *C. brasiliense* no Cerrado em relação ao sequeiro?

2. OBJETIVO GERAL

Compreender o efeito do ambiente de cultivo e da irrigação sobre o desenvolvimento de mudas de *Caryocar brasiliense* Cambess no viveiro e no campo.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar as variações biométricas, morfoanatômicas e fisiológicas de mudas de pequizeiro produzidas em três diferentes condições no viveiro ao longo do tempo;

Verificar a sobrevivência e o desenvolvimento de mudas de *C. brasiliense* oriundas de ambientes distintos de produção e na condição de irrigação e sequeiro no campo;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Influência dos ambientes de cultivo no desenvolvimento das mudas

Os locais de produção das mudas, como estufas, telados e pleno sol, exercem influência significativa no desenvolvimento das plantas (Mazzanatti et al., 2015; Rocha et al., 2018), alterando as características fisiológicas e morfoanatômicas das espécies (Monteiro Neto et al., 2022; Huber et al., 2021). Isso ocorre devido as condições diferentes, principalmente, de luz, temperatura e umidade de cada local.

A qualidade e intensidade da luz modificam o balanço fotossintético e o desenvolvimento morfoanatômico das mudas (Centofante, 2020). A luz azul desempenha papel crucial nas relações hídricas e troca de gases, influenciando o desenvolvimento dos cloroplastos, síntese de clorofila e regulando processos de abertura estomática e expansão foliar, o que resulta em maior eficiência fotossintética sob condições de estresse hídrico (Yang et al., 2019; Scalon et al., 2020). Já luz vermelha é a mais eficiente para a fotossíntese e estimula o crescimento do caule e cotilédones (Andrade et al., 2023; Chaves et al., 2009). A combinação de luz azul e vermelha favorece o desenvolvimento geral das mudas e influencia positivamente na produção de hormônios, reservas de carboidratos e proteínas, essenciais para mudas vigorosas (Wei, Wang & Yu, 2023; Meiramkulova et al., 2021; Tripathi et al.; 2020; Mishra & Chatuverdi, 2019; Sukhbaatar et al., 2019; Yu et al., 2017; He et al., 2016; Watanabe et al., 2002; Hai-long, 2011).

Em estudo com espécies lenhosas do Cerrado, como *Copaifera langsdorffii*, observou-se que altos níveis de luz promoveram maior massa de parte aérea, enquanto a baixa luminosidade resultou em menor crescimento e maior proporção raiz/parte aérea, como resposta adaptativa à limitação fotossintética (Fagundes et al., 2020). Estudos adicionais confirmam essa plasticidade funcional dessa espécie, com maior biomassa das raízes em condição de menor radiação, o que sugere um mecanismo adaptativo para sobreviver em ambientes sombreados (Ronquim et al., 2009; Cremon et al., 2020). Por fim, variações na densidade de estruturas secretoras em folhas de *C. langsdorffii* também foram induzidas pela intensidade luminosa, o que evidencia ajustes anatômicos associados à defesa e à sobrevivência em diferentes níveis de luz (Rodrigues et al., 2014). Essas alterações estruturais indicam plasticidade funcional importante na sobrevivência de mudas em diferentes ambientes.

Níveis moderados de sombreamento, combinados a condições ambientais adequadas, podem favorecer a formação de mudas mais vigorosas e de melhor qualidade, dependendo da espécie vegetal (Liu et al., 2023; Ronga et al., 2021). Mudanças de *Campomanesia xanthocarpa* apresentaram plasticidade morfofisiológica significativa sob

diferentes níveis de sombreamento, com aumento da área foliar e do conteúdo de clorofila, e redução na espessura das folhas (Almeida et al., 2023). O oiti (*Licania tomentosa*), cultivado em ambientes protegidos, com diferentes níveis de sombreamento, apresentou variações significativas na altura, diâmetro do caule e biomassa radicular, sendo o sombreamento de 30% o mais favorável (Alves et al., 2023). Da mesma forma, o sombreamento favoreceu o crescimento de mudas de espécies diversas, *Erythroxylum pauferrense* (Ribeiro et al., 2022), *Cyclocarya paliurus* (Feng et al., 2023), *Schizolobium amazonicum* (Mortate et al., 2019) e de *Dipteryx alata* (Linné et al., 2021). Por outro lado, a alta intensidade da luz azul foi prejudicial para as mudas de *E. acoroides*, pois houve forte inibição do crescimento da parte aérea e do sistema radicular (Heembo et al., 2023).

Outro fator ambiental, a temperatura, influencia diretamente a taxa metabólica e os padrões de crescimento das mudas (Silva et al., 2013). Em espécies nativas do Cerrado como *Attalea vitrivir* e *Styrax camporum*, temperaturas elevadas associadas à restrição hídrica atuam como um fator ecológico, retardando o desenvolvimento das plantas (Neves et al., 2013; Simão et al., 2013). Em *Copaifera langsdorffii*, estudos demonstraram que temperaturas elevadas favorecem o crescimento em altura e biomassa quando associadas a boa luminosidade, enquanto temperaturas mais baixas reduzem a taxa fotossintética e a expansão foliar (Ronquim et al., 2009). Esses resultados reforçam o papel da temperatura como regulador-chave da atividade metabólica, plasticidade fisiológica e estratégias ecológicas de regeneração nas espécies arbóreas do Cerrado.

Também, a umidade ambiental exerce influência significativa sobre os aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de mudas de espécies do Cerrado, afetando diretamente sua sobrevivência e desenvolvimento (Mota, 2025). Em *Dalbergia miscolobium*, por exemplo, observou-se que ambientes sombreados e mais úmidos favoreceram maior altura, número de folhas, teor de clorofila e área foliar específica, enquanto ambientes mais secos e ensolarados estimularam aumento da fotossíntese, condutância estomática, transpiração e espessura foliar. Além disso, a razão raiz/parte aérea foi aproximadamente 70% maior em condições de pleno sol, indicando uma estratégia de alocação de biomassa em resposta ao estresse hídrico (Mendonça et al., 2020). Em *Astronium fraxinifolium*, também nativa do Cerrado, foram identificadas reservas de amido em caules e raízes, além da presença de compostos fenólicos nos dutos secretores, características que favorecem a resistência a variações de umidade e predação (Leite et al., 2021).

A reação das plantas ao estresse abiótico, durante o processo de produção das mudas, é um processo dinâmico que dependerá da interação entre as variáveis do ambiente e o tempo de exposição. A interação entre os vários fatores será um determinante da eficiência das estratégias de tolerância ao estresse e a qualidade das mudas (Ahmad; Prasad, 2012). Dentre os fatores analisados, de forma geral, o ambiente sombreado, combinado com umidade adequada e temperatura mais elevada mostraram-se mais favorável ao desenvolvimento de mudas lenhosas do Cerrado, uma vez que promove maior acúmulo de biomassa e crescimento estrutural.

3.2. Importância e principais atributos relacionados com qualidade das mudas

Existe relação entre as características (atributos) das mudas e sua maior capacidade de sobrevivência e crescimento no campo. Nesse sentido, desde o início do século 20, os silvicultores reconheceram a importância de plantar mudas com atributos desejáveis, associando essas características ao sucesso do estabelecimento em campo — um conceito que evoluiu até os dias atuais como base dos programas de restauração florestal (Grossnickle & Macdonald, 2018). Várias medidas de qualidade de muda foram desenvolvidas, abrangendo desde atributos morfológicos simples até indicadores fisiológicos mais complexos, integrando o conceito de “planta-alvo” para maximizar o desempenho em diferentes condições ambientais (Guimarães et al., 2024). Em comparação aos atributos fisiológicos, os morfológicos são mais fáceis de serem identificados e utilizados como critério obrigatório em vários países para programas de reflorestamento (Mataruga et al., 2023).

Atributos morfológicos mais utilizados como preditores de qualidade de mudas são a altura, diâmetro do colo e raiz, volume da raiz, número de raízes laterais de primeira ordem, massa seca da parte aérea e raízes, bem como relação entre os órgãos das plantas (Grossnickle & Macdonald, 2018; Guimarães et al., 2024). Estudos com *Quercus ilex* e *Eucalyptus globulus* detectaram mudas com sistema radicular mais robusto, em especial, com maior volume e número de raízes laterais, o que proporcionou desempenho superior no campo, com maior capacidade de absorção de água e nutrientes, mesmo em condições de seca (Puértolas et al., 2014; Villar-Salvador et al., 2019). A maior proporção de massa radicular favorece o estabelecimento inicial da muda e aumenta sua resiliência em condições adversas, sustentando uma parte aérea adequada com elevada capacidade de

retomar o crescimento e atividade fotossintética após o transplântio (Laughlin et al., 2023; Tripathi et al., 2020; Pires & Baute, 2023; Evans & Griscom, 2021). Portanto, a seleção de mudas com padrões biométricos equilibrados, especialmente com relações parte aérea/raiz otimizadas, é essencial para garantir maior sucesso no estabelecimento em campo.

As características morfoanatômicas das plantas são influenciadas por uma variedade de fatores genéticos, ambientais e evolutivos, sendo indicativos importantes da qualidade das mudas. Alterações na densidade estomática e espessura do tecido foliar são características que mostram a adaptação das plantas às condições estressantes do campo (Dubberstein et al., 2021; Amitrano et al., 2021). A diversidade estrutural dos tricomas também representa uma relevante adaptação aos estresses bióticos e abióticos, desempenhando funções como redução da herbivoria, proteção contra radiação excessiva e diminuição da perda de água por transpiração (Wang et al., 2021). Os tricomas podem secretar substâncias repelentes e tóxicas contra o ataque de herbívoros e patógenos, bem como auxiliam na redução da evaporação e na regulação da temperatura em condições de estresse hídrico (Kaur et al., 2020). Dessa forma, os tricomas podem ser indicadores de estresse e auxiliam na adaptação das plantas às condições climáticas variáveis.

Os atributos fisiológicos são determinantes para a qualidade das mudas lenhosas do Cerrado, especialmente devido às condições edafoclimáticas adversas do bioma. A eficiência fotossintética, a condutância estomática, teor de clorofila, a taxa de transpiração, o potencial hídrico foliar e a atividade antioxidante são indicadores que estão diretamente relacionados à capacidade da muda de manter o balanço hídrico, preservar a integridade celular e sustentar o crescimento após o transplântio (Lemes et al., 2017; Roesler et al., 2008). Espécies como *Hymenaea courbaril* e *C. brasiliense* demonstraram maior estabelecimento em campo em mudas com maior taxa fotossintética e controle estomático mais eficiente (Ramos, Lemos-Filho & Lovato, 2009; Zardo & Henriques, 2011). Esses atributos são essenciais para inferir sobre a qualidade das mudas em diferentes contextos ecológicos e biomas. A compreensão desses atributos permite a adaptação das práticas de manejo de viveiros para melhorar a sobrevivência e o crescimento das mudas após o plantio.

Uma síntese dos principais atributos de qualidade de mudas, destacando diferentes ecossistemas, espécies e as características mais relevantes é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Principais atributos de qualidade de mudas.

Espécie	Atributos	Fonte
Várias espécies	Tamanho da muda, área foliar específica, densidade da madeira	Andivia et al., 2021
Espécies do bioma Caatinga	Densidade de mudas: disponibilidade de luz, diversidade funcional: papéis ecológicos distintos	Vanderlei et al., 2022
Várias espécies	Qualidade das sementes (genética, fisiológica, sanitária): cor, tamanho, resistência, vigor, livre de doenças	Pires & Baute, 2023
<i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Tamarindus indica</i>	Altura, diâmetro do colo, biomassa foliar e radicular	Traoré & Jouquet, 2020
Coníferas (várias espécies)	Diâmetro do colo, altura, biomassa das raízes e da parte aérea	Robonen et al., 2023
Diversas espécies tropicais	Adaptabilidade à luz, taxa de crescimento relativo	Tripathi et al., 2020

Fonte: Elaborado pelos autores.

A avaliação da qualidade de mudas varia amplamente entre países, refletindo diferenças nos sistemas de produção, práticas de manejo e condições locais de plantio. Em geral, a origem do material genético é um critério universalmente monitorado como indicador de qualidade, sendo considerada essencial para garantir a adaptabilidade e a resiliência das plantas em programas de reflorestamento e restauração ecológica (Bosshard et al., 2021). No entanto, existem alguns desafios. Entre eles, destacam-se a falta de controle eficaz de qualidade para sementes e mudas de espécies nativas, lacunas no conhecimento sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre estas espécies e descompasso entre a demanda por mudas de alta qualidade e a oferta disponível (Valette et al., 2020). Além disso, a ausência de transferência sistemática de conhecimento técnico e a pouca incorporação de resultados científicos nas práticas de viveiro comprometem o avanço na produção de mudas de

qualidade superior (Atkinson et al., 2021). A adoção de sistemas de avaliação padronizados e flexíveis às condições locais, bem como o investimento em formação técnica e inovação, são medidas recomendadas para superar essas limitações e melhorar os índices de sucesso em plantios e projetos de restauração florestal.

3.3. Morfologia, anatomia e fisiologia de plantas de pequi

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), também conhecido como pequi, pequi, pequiá, pitiá e saco-de-bode, é uma espécie típica e amplamente distribuída no bioma Cerrado. Ocorre em estados como Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rondônia, São Paulo e Tocantins, sendo mais frequente em formações savânicas e campestres do Cerrado (Leite et al., 2021). Trata-se de uma árvore com longevidade entre 20 e 100 anos ou mais, que pode atingir de 4 a 10 metros de altura na fase adulta (Zardo & Henriques, 2011). A espécie desempenha papel ecológico relevante e seu fruto é amplamente explorado, sendo importante para comunidades tradicionais do Cerrado, tanto na alimentação quanto como fonte de renda, sendo uma das espécies nativas mais valorizadas do Cerrado (Geocze et al., 2021; Brasil et al., 2022).

C. brasiliense apresenta características morfológicas e ecológicas específicas. Sua polinização é feita por morcegos e abelhas e a dispersão dos frutos ocorre principalmente por mamíferos (Roque et al., 2023). Os frutos do *Caryocar brasiliense* são drupas que podem conter até seis caroços (pirênios) envoltos por polpa comestível, cuja coloração varia entre branco, amarelo e alaranjado (Geocze et al., 2021). O endocarpo é pétreo e recoberto por fibras esclerificadas, o que confere proteção ao embrião. Trata-se de espécie heliófila, intolerante à sombra, com alta resistência ao fogo e crescimento lento, estimado em cerca de 30 cm por ano (Zardo & Henriques, 2011). Suas sementes são classificadas como ortodoxas, apresentando taxa de germinação entre 20% e 49%, com tempo de emergência superior a três semanas. A propagação ocorre por semeadura direta, produção de mudas ou por métodos vegetativos. Em viveiros, a semeadura é realizada inicialmente em sementeiras, seguida de repicagem para o desenvolvimento das plântulas. A planta apresenta caule com casca espessa, ramos grossos e angulosos, folhas trifolioladas e pubescentes (Silva et al., 2017).

O desenvolvimento anatômico do caule de *C. brasiliense* em condições controladas revela adaptações estruturais importantes para a sobrevivência da espécie no bioma Cerrado. Em ambiente de estufa, o caule apresenta contorno arredondado e epiderme unisseriada recoberta por tricomas tectores, estruturas relacionadas à proteção contra perda hídrica e herbivoria (Silva et al., 2017). O parênquima cortical é formado por células pequenas com espaços intercelulares na periferia, onde ocorrem idioblastos com compostos fenólicos — metabólitos secundários que atuam na defesa contra estresses bióticos e abióticos (Rodrigues et al., 2019). As camadas internas do córtex apresentam células maiores e vacuoladas, relacionadas ao armazenamento de reservas. O câmbio vascular ativo e a formação inicial de tecidos secundários como xilema e floema indicam um estágio avançado de diferenciação estrutural, essencial para a condução eficiente de seiva e suporte mecânico da planta (Lacerda et al., 2022). Em condições de radiação solar plena, as mudas de *C. brasiliense* apresentam espessura maior da medula e tecidos caulinares mais definidos, com início da formação do súber — estrutura suberificada que reforça a proteção mecânica e reduz a perda de água (Carmona et al., 2022). Tricomas permanecem visíveis, reforçando a função protetora em ambientes com maior intensidade luminosa. A atividade cambial acentuada, responsável pela separação clara entre xilema e floema, evidencia uma resposta morfofisiológica ao estresse luminoso, promovendo maior lignificação e espessamento celular (Rodrigues et al., 2019). Além disso, o acúmulo de compostos fenólicos em tecidos específicos pode estar associado à sinalização hormonal via ácido abscísico (ABA), que regula processos como dormência, resistência e desenvolvimento estrutural (Mota et al., 2025).

As folhas do pequizeiro são adaptadas para reduzir a perda de água, apresentando uma cutícula espessa e a presença de tricomas que ajudam na reflexão da luz solar e redução da transpiração (Guimarães et al., 2019). Estudos fisiológicos indicam que as folhas têm uma alta capacidade fotossintética, essencial para o crescimento e produtividade da planta em ambientes de alta luminosidade e baixa disponibilidade de água (Pegorin et al., 2020). Os folíolos de *C. brasiliense* possuem epiderme unisseriada com cutícula espessa na face adaxial, estômatos paracíticos e tricomas na face abaxial. O mesófilo é dorsiventral, com duas a três camadas de parênquima paliçádico e esponjoso, e os feixes vasculares colaterais apresentam bainhas que se estendem até a epiderme, conferindo suporte e eficiência fisiológica à folha (Castro et al., 2012; Filho, 2020). Na condição de Cerrado ralo as folhas de pequizeiro apresentaram maiores espessuras de epiderme e mesófilo do que

as do Cerrado denso, provavelmente devido à maior exposição à luz solar e frequentes incêndios na área do Cerrado ralo, demonstrando a plasticidade fenotípica de *C. brasiliense* (Ramos et al., 2015). A espécie lenhosa *Cynophalla flexuosa* apresentou alto desempenho sob condições de seca prolongada graças à presença de estruturas morfológicas protetoras nas folhas e à elevada concentração de carboidratos não estruturais nas raízes, o que favoreceu a manutenção do status hídrico e a eficiência na absorção de água durante todo o ano (Lopes et al., 2022).

Estudos mostraram que as mudas e plantas jovens de *C. brasiliense* apresentam estratégias de resistência à seca, como sistema radicular profundo, hipocótilo com capacidade de armazenamento de amido e natureza caducifólia (Mota et al., 2025; Valverde-Barrantes et al., 2021). Apesar destas estratégias, mudas de *C. brasiliense* foram sensíveis ao déficit hídrico, caracterizado por longos períodos de estiagem no Cerrado, o que afeta a sua sobrevivência e crescimento no campo (Sousa et al., 2017; Scalon et al., 2020; Mota et al., 2025). Dessa forma, torna-se importante investigar mais profundamente os atributos estruturais e fisiológicos das mudas *C. brasiliense*, combinados com a condição de sequeiro e irrigado no campo, fornecendo informações importantes para o estabelecimento de plantios comerciais e de restauração ambiental.

3.4. Referências bibliográficas

ALMEIDA, S. M. Z.; SILVA, M. F. D.; VAZ, A. M. S.; SOUZA, A. V. S.; SANTOS, J. A.; CASTRO, A. H. F.; SCHMIDT, D. *Campomanesia xanthocarpa* (Myrtaceae: Myrtoideae) seedlings reveal morpho-physiological plasticity under shade conditions. *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, p. e276695, 2023.

ALVES, V. C. D.; DA SILVA, A. G.; COSTA, E.; BINOTTI, F. F. S.; MARTINS, M. B.; VENDRUSCOLO, E. P. Influence of different protected environments and reflector material on cultivated oiti (*Licania tomentosa* [Benth.] Fritsch) seedlings. *Arboriculture & Urban Forestry*, v. 49(4), p. 159-169, 2023.

AMITRANO, C.; ARENA, C.; CIRILLO, V.; DE PASCALE, S.; DE MICCO, V. Leaf morpho-anatomical traits in *Vigna radiata* L. affect plant photosynthetic acclimation to changing vapor pressure deficit. *Environmental and Experimental Botany*, v. 186, 104453, 2021.

ANDRADE, R. C. S.; LEITE, H. G.; VENTURI, S.; MARANGON, L. F.; ALMEIDA, M. E. S.; CUNHA, M. C. F.; LOPES, P. F.; NUNES, M. H. G. Selection of climate variables by statistical-computational modeling in forest seedlings treated with growth biopromoter. *TreeDimensional*, 2023.

ANDIVIA, E.; VILLAR-SALVADOR, P.; OLIET, J. A.; PUÉRTOLAS, J.; DUMROESE, R. K.; IVETIĆ, V.; MOLINA-VENEGAS, R.; ARELLANO, E.; LI, G.; OVALLE, J. Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restoration worldwide. *Ecological Applications*, 31(6):e02394, 2021.

AHMAD, Parvaiz; PRASAD, M. N. V. (Ed.) *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. New York: Springer, 2012.

ATKINSON, R. J.; THOMAS, E.; ROSCIOLI, F.; CORNELIUS, J. P.; ZAMORA-CRISTALES, R.; FRANCO CHUAIRE, M.; ALCÁZAR, C.; MESÉN, F.; LOPEZ, H.; IPINZA, R.; DONOSO, P. J.; GALLO, L.; NIETO, V.; UGARTE, J.; SÁENZ-ROMERO, C.; FREMOUT, T.; JALONEN, R.; GAISBERGER, H.; VINCETI, B.; VALETTE, M.; BOSSHARD, E.; EKUÉ, M.; GUERRA, G.; KETTLE, C. Seeding resilient restoration: an indicator system for the analysis of tree seed systems. *Diversity*, v. 13, n. 8, 367, 2021.

BOSSHARD, E.; JALONEN, R.; KANCHANARAK, T.; YUSKIANTI, V.; TOLENTINO, E.; WARRIER, R. R.; KRISHNAN, S.; DZULKIFLI, D.; THOMAS, E.; ATKINSON, R.; KETTLE, C. Are tree seed systems for forest landscape restoration fit for purpose? An analysis of four Asian countries. *Diversity*, v. 13, n. 11, 575, 2021.

BRASIL. Lei nº 15.089, de 07 de janeiro de 2025. Institui a Política Nacional para o Manejo Sustentável, Plantio, Extração, Consumo, Comercialização e Transformação do Pequi (*Caryocar brasiliense*) e demais Frutos e Produtos Nativos do Cerrado. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, p. 12, 8 jan. 2025.

BRASIL, G.; BORGES, F.; DE ANDRADE MACHADO, A.; MAYER, C.; UDULUTSCH, R.; HERCULANO, R.; FUNARI, C.; SANTOS, A.; SANTOS, L. A sustainable raw material for phytocosmetics: the pulp residue from the *Caryocar brasiliense* oil extraction. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 32, p. 827-833, 2022.

CARMONA, R.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. A. de; FERREIRA, D. F. N.; DA COSTA, T. E.; JÚNIOR, L. C. C.; GONÇALVES, H. M. Air layering in *Caryocar brasiliense* – effect of stem diameter. *Ciência Rural*, v. 52, n. 9, 2022.

CASTRO, A. C. R.; LEITE, G. L. D.; OLIVEIRA, D. C.; ISAIAS, R. M. S. Morphological patterns of a hymenopteran gall on the leaflets of *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae). *American Journal of Plant Sciences*, v. 3, p. 921–929, 2012.

CENTOFANTE, A. R. *Light quality on the morphoanatomy and physiology of Campomanesia pubescens* (DC.) O. Berg. seedlings. *Scientia Horticulturae*, v. 259, p. 108765, 2020.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009.

CHEN, C.; REELY, J.; NELSON, A. S. Early field performance of three planted Inland Northwest conifer species: effects of root growth potential, morphology, and environmental conditions. *Forest Ecosystems*, 2024.

- CREMON, T.; SCALON, S. de P. Q.; ROSA, D. B. C. J.; DRESCH, D. M. How does *Copaifera langsdorffii* respond to flooding under different irradiance levels? *Plant Biosystems*, v. 156, p. 68–78, 2020.
- DUBBERSTEIN, D.; OLIVEIRA, M. G.; AOYAMA, E. M.; GUILHEN, J. H.; FERREIRA, A.; MARQUES, I.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Diversity of leaf stomatal traits among *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner genotypes. *Agronomy*, v. 11, n. 6, art. 1126, 2021.
- EVANS, T.; GRISCOM, H. Comparing the effects of four propagation methods on hybrid chestnut seedling quality. *Trees, Forests and People*, v. 6, 2021.
- FAGUNDES, M.; CUEVAS-REYES, P.; ARAÚJO, W. S.; FARIA, M. L.; VALÉRIO, H. M.; PIMENTA, M. A.; FALCÃO, L. A. D.; REIS-JUNIOR, R.; AGUILAR-PERALTA, J. S.; SANTOS, H. T. Effects of light availability and seed size on germination and initial growth of two congeneric species of Fabaceae. *Acta Botanica Mexicana*, 2020.
- FILHO, A. Contribuição ao estudo morfológico foliar de *Caryocar brasiliense* Cambess. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, v. 4, p. 98, 2020.
- FENG, Y. et al. Shade improves seedling quality of ornamental *Cyclocarya* species under plastic greenhouse cultivation. *Ornamental Plant Research*, 2023.
- GARCÍA-NÚÑEZ, CARLOS; PIRELA, MIGUEL; FARIÑAS, MARIO; AZÓCAR, AURA. Seasonal patterns of gas exchange and water relations in juveniles of two neotropical savanna tree species differing in leaf phenology. *Acta Oecologica*, v. 95, p. 57–67, 2019.
- GEOCZE, K.; BARBOSA, L. C. A.; LIMA, C. F.; FERRUZZI, M.; FIDÊNCIO, P. A.; SANT'ANA, H. M. P.; SILVÉRIO, F. O. *Caryocar brasiliense* Camb. fruits from the Brazilian Cerrado as a rich source of carotenoids with pro-vitamin A activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 101, art. 103943, 2021.
- GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, v. 49, n. 1, p. 1–34, 2018.
- GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. *Forests*, v. 9, art. 283, 2018.
- GUIMARÃES, R. N.; SOUZA, E. R.; NAVES, R. V.; MELO, A. P. C. D.; RÚBIO NETO, A. Vegetative propagation of pequi (souari nut) by cutting. *Ciência Rural*, v. 49, n. 10, 2019.
- GUIMARÃES, Z. T. M.; DA SILVA, D. C.; FERREIRA, M. J. Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, v. 17, p. 80–89, 2024.
- HAI-LONG, S. Effect of environmental factors on seed germination of *Physocarpus amurensis*. *China Forestry Science and Technology*, 2011.

HE, H.; WILLEMS, L.; BATUSHANSKY, A.; FAIT, A.; HANSON, J.; NIJVEEN, H.; HILHORST, H.; BENTSINK, L. Effects of parental temperature and nitrate on seed performance are reflected by partly overlapping genetic and metabolic pathways. *Plant & Cell Physiology*, v. 57, n. 3, p. 473–487, 2016.

HEEMBOO, M.; et al. *Enhalus acoroides* seedlings exhibit different high light responses under varying light qualities. *Plant Stress*, v. 10, 2023.

HUBER, B.; LOUWS, F.; HERNÁNDEZ, R. Impact of different daily light integrals and carbon dioxide concentrations on the growth, morphology, and production efficiency of tomato seedlings. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, 2021.

KAUR, J.; KARIYAT, R. Role of trichomes in plant stress biology. In: NÚÑEZ-FARFÁN, J.; VALVERDE, P. (org.). *Evolutionary ecology of plant-herbivore interaction*. Cham: Springer, 2020. p. XX–XX.

KIJOWSKA-OBERC, J.; STASZAK, A.; RATAJCZAK, E. Climate change affects seed aging? Initiation mechanism and consequences of loss of forest tree seed viability. *Trees*, v. 35, p. 1099–1108, 2021.

LACERDA, V.; PAGEHÚ, L.; GONÇALVES, A.; VIEITES, R.; LOPES, P. Gibberellic acid concentrations and storage of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) seeds propagated in tubes. *Horticulturae*, 2022.

LEMES, E. O.; FERNANDES, M. M. C.; ROSA, V. P.; NASCIMENTO, A. H. Levantamento da utilização do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) como agente antioxidante na prevenção de doenças neurodegenerativas. *UNICIÊNCIAS*, v. 21, n. 2, p. 110–114, 2017. DOI: 10.17921/1415-5141.2017v21n2p110-114

LEITE, M.; LEAL, A.; PEREIRA, T.; MARTINS, A. Development of *Astronium fraxinifolium* Schott seedlings: a native tree from Cerrado. *Flora*, 2021. DOI: 10.1016/j.flora.2021.151741

LEITE, G.; VELOSO, R.; MATIOLI, A.; SOARES, M.; LEMES, P. W. D. Seasonal mite population distribution on *Caryocar brasiliense* trees in the Cerrado domain. *Brazilian Journal of Biology*, v. 82, 2021.

LAUGHLIN, D.; et al. Rooting depth and xylem vulnerability are independent woody plant traits jointly selected by aridity, seasonality, and water-table depth. *New Phytologist*, 2023.

LIÉVANO-LATORRE; L., DE ALMEIDA-ROCHA, J.; AKAMA, A.; ALMEIDA, H.; et al. Addressing the urgent climate and biodiversity crisis through strategic ecosystem restoration in Brazil. *Biological Conservation*, 2025.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; DE LIMA, V. T.; et al. Effects of shading on growth and photosynthetic metabolism in *Dipteryx alata* Vogel seedlings under flooding. *Brazilian Journal of Botany*, v. 44, p. 629–638, 2021.

- LIU, X.; SHI, R.; GAO, M.; HE, R.; LI, Y.; LIU, H. Growth of tomato and cucumber seedlings under different light environments and their development after transplanting. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023.
- LOPES, R. F.; MELO, A. S.; SANTOS, M. Drought tolerance mechanisms of a woody evergreen in a tropical dry forest. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v. 34, p. 433–445, 2022.
- MATARUGA, M.; et al. Monitoring and control of forest seedling quality in Europe. *Forest Ecology and Management*, v. 546, 2023.
- MAZZANATTI, T.; CALZAVARA, A.; PIMENTA, J.; OLIVEIRA, H.; STOLF-MOREIRA, R.; BIANCHINI, E. Light acclimation in nursery: morphoanatomy and ecophysiology of seedlings of three light-demanding neotropical tree species. *Brazilian Journal of Botany*, v. 39, p. 19–28, 2015.
- MEIRAMKULOVA, K.; TANYBAYEVA, Z.; KYDYRBEKOVA, A.; TURBEKOVA, A.; AYT KHOZHIN, S.; ZHANTASOV, S.; TAUKENOV, A. The efficiency of LED irradiation for cultivating high-quality tomato seedlings. *Sustainability*, v. 13, 2021.
- MENDONÇA, A. M. C.; LIRA, J. M. S.; RODRIGUES, M.; MONTEIRO, V. F. C.; SIMÃO, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Anatomical, physiological and allometric contrasts of the Cerrado tree *Dalbergia miscolobium* in full sun and shade environments. *Southern Forests*, v. 82, n. 2, p. 104–111, 2020.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). *Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Educação; MMA, 2017. 73 p.
- MISHRA, S.; CHATURVEDI, M. Effect of different environmental conditions on growth and production of mustard (*Brassica juncea*) in semi-arid zone of Rajasthan. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 8, n. 3, p. 69–71, 2019.
- MONTEIRO NETO, J. L. L.; DE ANCHIETA ALVES DE ALBUQUERQUE, J.; TIAGO DE OLIVEIRA, A.; SAKAZAKI, R. T.; SILVA, E. S.; CARMO, I. L.; MAIA, S. D.; SBOROWSKI, L. G.; MONTEIRO, B. J.; AMAYA, J. Z. Environments and substrates for “pimenta-de-cheiro” (*Capsicum chinense* Jacq.) seedling production in the Amazon savana. *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, 2022.
- MORTATE, R. K.; COSTA, E.; VIEIRA, G. H. D. C.; DE SOUSA, H. F.; BORGES, R. S.; BARBOSA, W.; DA COSTA, G. G. S. Levels of shading and reflective material in benches for *Schizolobium amazonicum* seedlings. *Journal of Agricultural Science*, 2019.
- MOTA, VALÉRIA; RIBEIRO, LEONARDO; FIGUEIREDO, MARIA; MERCADANTE-SIMÕES, M.; MOTA, MAURO; TRINDADE, DANILO; LOPES, PAULO. Impact of water availability on *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) seedling establishment. *Journal of Arid Environments*, v. 229, p. 105379, 2025.

- NEVES, S.; RIBEIRO, L. F.; DA CUNHA, I.; PIMENTA, M. A.; MERCADANTE-SIMÕES, M.; LOPES, P. Diaspore structure and germination ecophysiology of the babassu palm (*Attalea vitrivir*). *Flora*, v. 208, p. 68–78, 2013.
- NUNES, R.; GONÇALVES, A. R.; TELLES, M. P. C. Data on the draft genome sequence of *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae): an important genetic resource from Brazilian savannas. *Data in Brief*, v. 26, art. 104246, 2019.
- PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; ZAIDAN, L. B. P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 213–220, 2010.
- PEGORIN, G. S.; MARQUES, M.; MAYER, C. R. M.; SANTOS, L. Development of a phytocosmetic enriched with pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.) oil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 63, art. e20200105, 2020.
- PINTO, L. C. L.; MORAIS, L. M. O.; GUIMARÃES, A. Q.; ALMADA, E. C.; BARBOSA, P. M.; DRUMOND, M. A. Traditional knowledge and uses of the *Caryocar brasiliense* Cambess. (pequi) by “quilombolas” of Minas Gerais, Brazil: subsidies for sustainable management. *Brazilian Journal of Biology*, v. 76, n. 2, p. 511–519, 2016.
- PIRES, R. M. de O.; BAUTE, J. L. Importance of seed quality for the forestry sector. *Boletim Técnico SIF*, 2023.
- PUÉRTOLAS, J.; M^a REMIRO, A.; VILLAR-SALVADOR, P.; MARTÍNEZ-SANZ, J. M.; CASTRO, J.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, D.; MONTEGUDO, C.; REBELLO, G.; LÓPEZ-SÁEZ, J. A.; HOSSAIN, M. Light transmissivity of tube shelters affects root growth and biomass allocation of *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. *Annals of Forest Science*, v. 71, art. 91, 2014.
- RAMOS, B. H.; SILVA, K. L. F.; COIMBRA, R. R.; CHAGAS, D. B.; FERREIRA, W. M. Anatomy and micromorphometry of *Caryocar brasiliense* leaves. *Rodriguésia*, v. 66, n. 1, p. 87–94, 2015.
- RAMOS, A.; LEMOS-FILHO, J. P.; LOVATO, M. B. Phylogeographical structure of the neotropical forest tree *Hymenaea courbaril* (Leguminosae: Caesalpinioideae) and its relationship with the vicariant *Hymenaea stigonocarpa* from Cerrado. *The Journal of Heredity*, v. 100, n. 2, p. 206–216, 2009.
- RIBEIRO, J.; et al. *Guia de plantas do Cerrado para recomposição da vegetação nativa*. Brasília, DF: Embrapa, 2022.
- RIBEIRO, J.; et al. Morphophysiological aspects of *Erythroxylum pauferrense* Plowman seedlings submitted to shading. *Ciência Florestal*, 2022.
- ROBONEN, E.; et al. Morphometric criteria for assessing the containerized conifers seedlings quality. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*, n. 5, p. 42–57, 2023.

- ROCHA, J. S.; CALZAVARA, A.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.; STOLF-MOREIRA, R.; OLIVEIRA, H. Nitrogen supplementation improves the high-light acclimation of *Guazuma ulmifolia* Lam. seedlings. *Trees*, v. 33, p. 421-431, 2018.
- RODRIGUES, T.; BUARQUE, P.; CONEGLIAN, A.; REIS, D. Light and temperature induce variations in the density and ultrastructure of the secretory spaces in the diesel-tree (*Copaifera langsdorffii* Desf.—Leguminosae). *Trees*, v. 28, p. 613–623, 2014.
- RODRIGUES, I.; LOPES, P.; RIBEIRO, L.; MERCADANTE-SIMÕES, M.; MARTINS, C.; VIEIRA, F.; CACIQUE, A.; SANGLARD, D.; SILVÉRIO, F. Fruit development and ABA biosynthesis during *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) seed maturation. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 39, p. 981–993, 2019.
- ROESLER, R.; CATHARINO, R. R.; MALTA, L. C.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. M. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterization of components by electrospray ionization mass spectrometry. *Food Chemistry*, v. 110, p. 711–717, 2008.
- RONGA, D.; VITTI, A.; ZACCARDELLI, M.; PANE, C.; CARADONIA, F.; CARDARELLI, M.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Root zone management for improving seedling quality of organically produced horticultural crops. *Agronomy*, v. 11, 2021.
- ROQUE, S.; FALCÃO, L.; RECH, A.; SILVA, J.; OLIVEIRA, P.; FERREIRA, K.; SANTO, M. Reproductive biology of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) in preserved and degraded Cerrado areas in Brazil. *Botany*, 2023.
- RONQUIM, C.; PRADO, C.; SOUZA, J. Growth, photosynthesis and leaf water potential in young plants of *Copaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinaceae) under contrasting irradiances. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 21, p. 197–208, 2009.
- SCALON, S. de P. Q.; KODAMA, F. M.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, L. Q. Gas exchange in *Caryocar brasiliense* Cambess seedlings in water deficit conditions. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 2, e20170520, 2020.
- SIMÃO, E.; NAKAMURA, A.; TAKAKI, M. Germination of *Styrax camporum* Pohl seeds in response to substrate types, moisture contents and the seed morphology. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 85, n. 1, p. 295–306, 2013.
- SILVA, L. C. R.; HOFFMANN, W. A.; ROSSATTO, D. R.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Can savannas become forests? A coupled analysis of nutrient stocks and fire thresholds in central Brazil. *Journal of Ecology*, v. 106, n. 5, p. 1923-1934, 2013.
- SILVA, Â. da; LOPES, P.; RIBEIRO, L.; ANDRADE, M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. Structural aspects of germination control in pyrenes of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). *Trees*, v. 31, p. 887–902, 2017.
- SOUSA, A.M.S., LOPES, P.S.N., RIBEIRO, L.M., ANDRADE, M.S., MERCADANTE-SIMOES, M.O., 2017. Structural aspects of germination control in pyrenes of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). *Trees* (Berl.) 31, 887–902.

SUKHBAATAR, G.; GANBAATAR, B.; JAMSRAN, T.; PUREVRAGCHAA, B.; NACHIN, B.; GRADEL, A. Assessment of early survival and growth of planted Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings under extreme continental climate conditions of northern Mongolia. *Journal of Forestry Research*, v. 31, p. 13–26, 2019.

TERRA, M. C. N. S.; NUNES, M. H.; SOUZA, C. R.; FERREIRA, G. W. D.; PRADO-JUNIOR, J. A. D.; REZENDE, V. L.; MACIEL, R.; MANTOVANI, V.; RODRIGUES, A.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. *The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas. The Science of the Total Environment*, v. 867, p. 161320, 2023.

TOCA, A., MOLER, E., NELSON, A., & JACOBS, D. Environmental conditions in the nursery regulate root system development and architecture of forest tree seedlings: a systematic review. *New Forests*, 53, 1113 – 1143, 2022.

TRAORÉ, S.; JOUQUET, P. Growth performance and adaptive strategy of early seedlings of three savanna woody species in pots as feedback to the soil of *Macrotermes subhyalinus* mound. *European Scientific Journal (ESJ)*, v. 16, n. 3, p. 1–18, 2020.

TRIPATHI, S.; BHADOURIA, R.; SRIVASTAVA, P.; DEVI, R. S.; CHATURVEDI, R.; RAGHUBANSHI, A. S. Effects of light availability on leaf attributes and seedling growth of four tree species in tropical dry forest. *Ecological Processes*, v. 9, p. 1–16, 2020.

VALLETTE, M.; VINCETI, B.; GREGORIO, N.; BAILEY, A.; THOMAS, E.; JALONEN, R. Beyond fixes that fail: identifying sustainable improvements to tree seed supply and farmer participation in forest and landscape restoration. *Ecology and Society*, v. 25, n. 4, art. 30, 2020.

VALVERDE-BARRANTES, O.; AUTHIER, L.; SCHIMANN, H.; BARALOTO, C. Root anatomy helps to reconcile observed root trait syndromes in tropical tree species. *American Journal of Botany*, v. 108, n. 4, p. 651–665, 2021.

VANDERLEI, RENATO; BARROS, MARIA FABIÓLA; LEAL, INARA; TABARELLI, MARCELO. Impoverished woody seedling assemblages and the regeneration of Caatinga dry forest in a human-modified landscape. *Biotropica*, v. 54, p. 1–12, 2022.

VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; OLIET, J.; PENUELAS-RUBIRA, J. L.; JACOBS, D. F.; GONZALEZ, M. Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology*, v. 24, n. 10, p. 1149–1158, 2004.

WANG, XIAOJING; SHEN, CHAO; MENG, PINGHONG; TAN, GUOFEI; LV, LITANG. Analysis and review of trichomes in plants. *BMC Plant Biology*, v. 21, n. 70, p. 1–11, 2021.

WATANABE, H.; KUSAGAYA, Y.; SAIGUSA, M. Environmental factors affecting germination of apple of Peru. *Weed Biology and Management*, v. 2, n. 2, p. 152–156, 2002.

WEI, Y.; WANG, S.; YU, D. The Role of Light Quality in Regulating Early Seedling Development. *Plants*, v. 12, n. 2746, 2023.

YU, W.; LIU, Y.; SONG, L.; JACOBS, D.; DU, X.; YING, Y.; SHAO, Q.; WU, J. Effect of Differential Light Quality on Morphology, Photosynthesis, and Antioxidant Enzyme Activity in *Camptotheca acuminata* Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 36, p. 148–160, 2017.

ZARDO, R.; HENRIQUES, R. Growth and fruit production of the tree *Caryocar brasiliense* in the Cerrado of central Brazil. *Agroforestry Systems*, v. 82, p. 15–23, 2011.

ARTIGO 1

Ambiente de cultivo e atributos de qualidade das mudas de *Caryocar brasiliense*

RESUMO

O *Caryocar brasiliense* é uma frutífera típica do Cerrado brasileiro e possui grande valor econômico e social. O cultivo dessa espécie apresenta limitações quanto à produção de mudas e seu estabelecimento em campo. Os ambientes de produção das mudas interferem na sua qualidade e desenvolvimento no campo. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi avaliar, ao longo do tempo, as alterações morfoanatômicas e fisiológicas em mudas de *C. brasiliense* cultivadas em três condições. As mudas foram produzidas em estufa, em pleno sol e no telado e avaliadas em quatro épocas (junho, agosto, outubro e dezembro). O ambiente da estufa e pleno sol proporcionam as melhores condições para o crescimento das mudas, que atingem a sua melhor qualidade na última avaliação (dezembro). A parte aérea tem o seu maior incremento a partir de outubro, enquanto o sistema radicular acumula matéria seca de forma contínua ao longo do tempo. Mudas cultivadas a pleno sol apresentam maiores quantidades de tricomas na epiderme e camadas do parênquima paliçádico, além de cutícula mais espessa do que aquelas cultivadas nos outros ambientes. As condições na estufa e no telado promovem conteúdo superior de clorofila, enquanto o pleno sol maior eficiência no uso da água e menor condutância estomática em dezembro. Os resultados demonstram elevada plasticidade morfoanatômica do *C. brasiliense* aos ambientes de cultivo, sendo que a estufa e pleno sol produzem mudas de qualidade mais elevada.

Palavras-Chave: Cerrado; estufa; morfoanatomia; pequizeiro; pleno sol; telado; trocas gasosas.

ARTICLE 1

Cultivation environment and quality traits of *Caryocar brasiliense* seedlings

ABSTRACT

Caryocar brasiliense is a typical fruit tree of the Brazilian Cerrado and has great economic and social value. Cultivation of this species presents limitations regarding seedling production and field establishment. The seedling production environments influence their quality and development in the field. Therefore, the objective of this study was to evaluate, over time, the morpho-anatomical and physiological changes in *C. brasiliense* seedlings cultivated under three conditions. Seedlings were produced in a greenhouse, in full sun, and under shade netting, and evaluated at four different times (June, August, October, and December). The greenhouse and full sun environments provided the best conditions for seedling growth, with seedlings reaching their best quality in the last evaluation (December). The greenhouse and full sun environment provide the best conditions for seedling growth, which reached their highest quality in the last evaluation (December). The aerial part experiences its greatest increase from October onward, while the root system accumulates dry matter continuously over time. Seedlings grown in full sun have greater amounts of trichomes in the epidermis and palisade parenchyma layers, as well as a thicker cuticle than those grown in other environments. The greenhouse and screened conditions promote higher chlorophyll content, while full sun conditions promote greater water use efficiency and lower stomatal conductance in December. The results demonstrate high morphoanatomical plasticity of *C. brasiliense* in its growing environments, with the greenhouse and full sun producing higher-quality seedlings.

Keywords: Cerrado; greenhouse; morphoanatomy; pequi; full sun; shade house; gas exchange.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo em ambientes protegidos, como estufas agrícolas e telas de sombreamento, alteram os fatores abióticos, que influenciam na qualidade das mudas (Monteiro Neto et al., 2022). O uso de estufa agrícola diminui a radiação ultravioleta e variações de temperatura e umidade, melhora a propagação e difusão da luz e aumenta a retenção da umidade, além de mitigar os impactos de outros fatores abióticos, como chuvas, geadas e granizo (Rabbi et al. 2019; Badji et al., 2022; Pandley et al., 2023). Também, a utilização somente de telas de sombreamento proporciona, especialmente, a redução da intensidade luminosa e temperatura, além de elevar a umidade (Ahmed et al., 2016; Badji et al. 2022). Em climas quentes, a combinação da estufa e telas de sombreamento tem sido adotada, principalmente, para resfriar o ambiente, consequência da menor intensidade luminosa e temperatura (Ahmed et al., 2016; Rabbi et al. 2019; Badji et al. 2022). Entretanto, as alterações no microclima dependem de inúmeros elementos do ambiente protegido, entre estes destaca-se, a orientação, localização e estrutura (design e tamanho), natureza e qualidade do material de revestimento e sistema de resfriamento e aquecimento (Rabbi et al. 2019; Badji et al., 2022).

A reação das plantas ao estresse abiótico durante o processo de produção das mudas é um processo dinâmico que dependerá da interação entre as variáveis do ambiente e o tempo de exposição (Li et al., 2023; Puglielli et al., 2023). Portanto, o melhor controle dos fatores ambientais, como intensidade de luz, temperatura, umidade e suprimento de água, são determinantes na formação de mudas de qualidade (Mishra & Chatuverdi, 2019; Yu et al., 2017; He et al., 2016; Watanabe et al., 2002; Hai-long, 2011). Nesse sentido, de forma geral, o ambiente protegido proporciona menores variações nos fatores ambientais e dentro de faixas que permitem o melhor crescimento das mudas, entre 40 e 80% de umidade relativa e 18,5 e 26,5 °C de temperatura média, além de radiação suficiente e bem distribuída para as plantas, sem causar estresse foto-oxidativo (Ahmed et al., 2016; Rabbi et al. 2019; Badji et al. 2022). Alguns estudos têm demonstrado que o uso de estufas agrícolas com sombreamento moderado tem resultado na produção de mudas de maior qualidade e capacidade de sobreviver e crescer nas condições adversas do campo (Liu et al., 2023; Ronga et al., 2021; Al-Helal e Abdel-Ghany, 2011).

Características morfoanatômicas e fisiológicas das mudas (atributos), bem como a combinação destes, têm sido estudadas para definir um padrão de qualidade e predizer o

seu desempenho no campo (Grossnickle e Macdonald, 2018). Os atributos qualitativos e quantitativos adequados das mudas proporcionaram maior sobrevivência, estabelecimento e crescimento pós-plantio (Sukhbaatar et al., 2019), principalmente em condições de campo adversas, com déficit hídrico, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, intensa radiação solar e fogo, predominante em áreas de Cerrado (Oliveira et al, 2005; Salazar e Goldstein, 2014). Embora as plantas adultas desse bioma apresentem resistência aos fatores climáticos mais extremos, suas mudas demonstram sensibilidade a estes, como demonstrado para o *Caryocar brasiliense* (Sousa et al., 2017; Scalon et al., 2020; Mota et al., 2025).

O pequizeiro, *Caryocar brasiliense* Cambess, é uma espécie de grande importância socioeconômica e ecológica nas áreas de Cerrado (Araújo, 1995). Entretanto, a expansão agrícola no Cerrado e o extrativismo intenso de seus frutos, justificam a implantação de projetos de plantio e recuperação de áreas degradadas com a espécie. O sucesso desses projetos depende do uso de mudas de elevada qualidade de *C. brasiliense*, o que ainda não está estabelecido para a espécie. Portanto, a utilização de ambientes de cultivo diferentes pode proporcionar mudas com atributos morfoanatômicos distintos, indicando formas de manejo que produzam plantas com qualidade para enfrentar os estresses abióticos.

O presente estudo visa avaliar as alterações morfoanatômicas e fisiológicas em mudas de *C. brasiliense* cultivadas ao longo do tempo em três ambientes, procurando responder às seguintes perguntas: Quais adaptações morfoanatômicas e fisiológicas que as mudas desenvolvem quando cultivadas em ambientes distintos? Como é o desenvolvimento das mudas ao longo do tempo em diferentes ambientes de produção?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção do material vegetal e caracterização ambiental

As mudas de *C. brasiliense* foram obtidas a partir de sementes de frutos maduros dispersos durante a safra 2021/2022, entre os meses de dezembro a fevereiro, em área de vegetação nativa no município de São João da Lagoa-MG (16°46'42"S; 44°18'24"W). Os pirênios (semente envolvida pelo endocarpo) foram secos ao ar, em local sombreado, por 30 dias e semeados em canteiros a pleno sol no viveiro de mudas do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG), situado na cidade de Montes Claros, Minas Gerais (16°68'20"S; 43°83'96"W). Segundo a classificação climática de Köppen, a região é caracterizada como clima tropical seco, com precipitação anual entre 1000-1300 mm, inverno seco e temperatura média de 23,1°C (Alvares et al., 2013).

Após a emergência, 30 dias pós-semeio, as plântulas foram repicadas para sacos de polietileno com capacidade para 25 dm³, preenchidos apenas com solo originado da camada entre 0-20 cm de área de Cerrado e de ocorrência natural de *C. brasiliense*. Os sacos foram colocados em três ambientes: pleno sol; telado, com tela de sombreamento de 50% e estufa, com cobertura de polipropileno transparente de 150 µm e tela de sombreamento de 70%. Cada ambiente de cultivo recebeu 120 mudas com médias de altura, diâmetro e número de folíolos, respectivamente de 16,39 cm, 4,00 mm e 11,77.

Durante o desenvolvimento das mudas, 30 dias pós-repicagem, foram registrados semanalmente as temperaturas e umidades máximas e mínimas com o auxílio de um termohigrômetro (Th 439, Brasil), sendo consideradas as máximas e mínimas de cada mês. No banco de dados do INMET, estação 83437, sediada a 300 metros do local dos experimentos, as temperaturas e umidades máxima e mínima do mês e a precipitação mensal também foram obtidas. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi determinada mensalmente utilizando-se o Ceptômetro (AccuPar LP-80, Decagon Devices Inc, Pullman, WA, USA). As leituras foram realizadas no final da primeira quinzena de cada mês, em dia ensolarado, às 08, 12 e 16h, nos diferentes ambientes de cultivo. Também, as mudas foram monitoradas diariamente, durante todo o período do experimento, quanto à irrigação, sanidade e à necessidade de tratamentos culturais (capinas, tutoramento e aplicação de defensivos agrícolas).

Os ambientes, estufa e pleno sol, apresentaram temperaturas máximas acima de 40 °C, enquanto o telado de 37 °C. A temperatura mínima ficou abaixo dos 20 °C em todos os ambientes, com 20% de umidade mínima (Figura 1A-B). Já a umidade máxima foi de 91%

no pleno sol, 89% na estufa e 86 % no telado (Figura 1B). A interceptação luminosa, em ordem decrescente, foi nos ambientes de pleno sol, telado e estufa. A partir do mês de julho, a radiação solar foi crescente, a exceção do mês de dezembro (Figura 1C). As temperaturas máximas ficaram acima de 30 °C e as mínimas abaixo dos 20 °C (Figura 1D). Os meses de novembro e dezembro apresentaram as maiores precipitações, acima de 250 mm mensais, enquanto em junho, julho e agosto os de menores, com 0 mm mensais (Figura 1E).

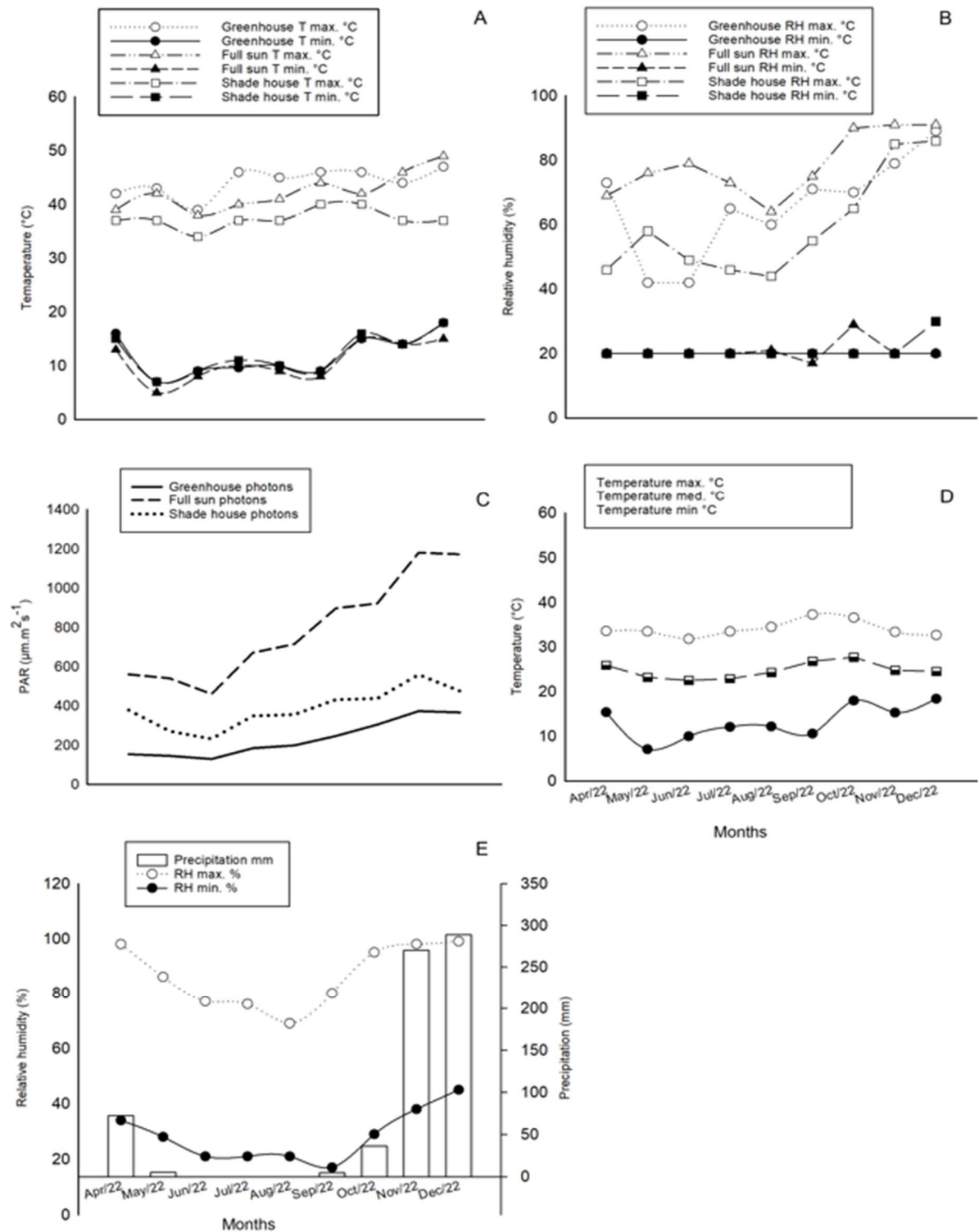


Figura 1. Temperaturas (A), umidades relativas (B) e radiação fotossinteticamente ativa (C) dos ambientes de casa de vegetação, pleno sol e telado e temperaturas (D), umidades relativas e precipitação (E) do local dos experimentos ao longo do tempo de cultivo de mudas de *C. brasiliense*.

2.2. Resposta das mudas ao ambiente de cultivo

2.2.1. Avaliações morfológicas

Ao longo do experimento, nos dias 90, 150, 210 e 270 pós-recipientagem, correspondendo, respectivamente aos meses de junho, agosto, outubro e dezembro, foram avaliados a altura, diâmetro do colo, número de nós e folíolos, área foliar, massa seca das raízes e parte aérea. Utilizou-se cinco repetições de quatro plantas em cada ambiente.

A altura das plantas foi medida do colo até o seu ápice, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. O diâmetro do colo, medido ao nível do solo, foi mensurado por meio de paquímetro digital eletrônico, 0-150mm, 6"x0,01 mm, de aço inoxidável (Stainless Hardened, China). De forma direta, foram contados o número de nós e folíolos totalmente abertos.

A área foliar foi estimada a partir da equação geral $Af_m = 2,2842 ** SC + 6,9754 *$, $R = 0.81$, onde "SC" é o somatório dos comprimentos dos folíolos. Nas duas últimas folhas plenamente abertas, o comprimento da nervura central de cada folíolo foi avaliado, desde o ponto de inserção do pecíolo no limbo até o ápice da folha, com o auxílio de uma régua milimetrada. Em seguida, o número de folhas foi estimado pela divisão do número total de folíolos por três, considerando cada folha como trifoliolada. Dessa forma, a área foliar por planta foi estimada a partir da média da área foliar das duas últimas folhas multiplicada pelo número de folhas da planta.

O comprimento da maior raiz foi medido com auxílio de régua graduada em centímetros, enquanto o seu diâmetro e o comprimento, largura e profundidade do hipocótilo foram medidos com o uso de paquímetro digital eletrônico (Stainless Hardened, China). Na mesma amostra de plantas, foram destacadas as folhas, caule, sistema radicular e hipocótilo. Os órgãos da planta foram acondicionados em sacos de papel e colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar, regulada à temperatura de $65 \pm 1^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas (até peso constante). Em seguida, foi feita a pesagem do material seco em balança analítica eletrônica, precisão de 0,1 mg, modelo FA 2104N, Brasil. Portanto, determinou-se a matéria seca das folhas, caule, raízes, hipocótilo, sistema radicular (raízes+hipocótilo), parte aérea (folhas+caule) e, total (planta inteira). Também, foi estabelecido o índice de Qualidade de Dickson (IQD) pela fórmula $\text{IQD} = \text{Mst} (g) / [(\text{H}(\text{cm})/\text{Dc}(\text{mm})) + (\text{Msa}(\text{g})/\text{Msr}(\text{g}))]$, - onde: Mst = Massa seca total (g); Msa = Massa seca da parte aérea (g); Msr = Massa seca da raiz+hipocótilo (g); H = Altura (cm); Dc = Diâmetro

do colo do caule (mm). Portanto, o IQD relaciona parâmetros morfológicos e massa seca, indicando mudas com maiores chances de sobrevivência em campo (DICKSON et al., 1960).

2.2.2 Morfoanatomia e histoquímica

Para as análises de morfologia foram consideradas as alterações nas faces abaxial e adaxial dos folíolos e no caule, sob secções transversais e longitudinais. As imagens foram registradas com câmera digital (sx520 hs, Canon, Tóquio, Japão) e estereomicroscópio com câmera acoplada (Discovery V8, Carl Zeiss Suzhou, China).

Nas avaliações das alterações anatômicas e histoquímicas, nos tratamentos descritos anteriormente, foram obtidos fragmentos do caule, a 5 cm do ápice, e do folíolo central, passando pela nervura mediana. As amostras foram fixadas em solução de Karnovsky (Karnovsky, 1965), desidratadas em série etanólica e incluídas em 2-hidroxietilmetacrilato (Leica[®]), seguindo Paiva et al. (2011). Cortes transversais e longitudinais (5 µm de espessura) foram obtidos utilizando micrótomo rotativo (HistoCore Autocut, Nussloch, Alemanha), corados com azul de toluidina 0,05%, pH 4,7 (O'Brien et al. 1964, modificado), e montados em lâminas com resina acrílica (Itacril, Itaquaquetuba, Brasil). Para as investigações de histoquímica, foram realizados testes com sudan black, para lipídios (Pearse, 1972); e reagente de Lugol, para amido (Jensen, 1962).

Os cortes foram avaliados e as imagens obtidas em fotomicroscópio (Zeiss Lab Al/Axion Cam ICC 3, Jena, Alemanha).

2.2.3. Fisiologia

Para os atributos fisiológicos, foram feitas avaliações pela manhã, a partir das 8h até às 11h, em cada ambiente e época. Foram avaliadas, amostras de folíolos da última folha plenamente aberta, em cinco repetições de duas plantas em triplicata.

O “Analisador de Gás Infravermelho (IRGA)” (modelo ADC LCpro-SD, Hoddesdon, Inglaterra) foi utilizado para determinação da assimilação de CO₂, condutância estomática e a transpiração (trocas gasosas). A eficiência do uso da água para folha foi obtida pela relação da taxa de assimilação de carbono pela taxa de transpiração. O rendimento fotossintético quântico do PSII e a taxa de transporte de elétrons foram determinados com

a utilização do “Fluorômetro Modular Portátil”, na versão “claro” (Opti-Sciences - Y(II) meter or Plant Stress Kit, USA). A clorofila “a”, clorofila “b” e a clorofila total foram determinadas com a utilização do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG”, modelo CFL1030, Brasil), utilizando as mesmas folhas e condições das avaliações das trocas gasosas.

2.3 Análise estatística

Foram instalados três experimentos, um para cada ambiente, em delineamento em blocos casualizados-DBC, com quatro tratamentos (épocas de avaliação), cinco repetições e quatro mudas por parcela. Após verificar-se a homogeneidade das variâncias residuais e a relação dos quadrados médios dos resíduos, constatou-se que a razão entre o maior e o menor erro quadrático médio foi menor ou igual a 7,0 e, portanto, foi possível realizar a análise conjunta dos experimentos (Banzato e Kronka, 2013) e comparar os ambientes. Foram avaliados no esquema fatorial 3 (ambientes de cultivo) x 4 (épocas de avaliação). Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias, quando significativas, comparadas pelo teste TUKEY a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R, versão 4.3.0.

3. RESULTADOS

3.1 Atributos morfológicos

As características biométricas foram influenciadas somente pelos fatores ambiente e época de forma isolada, à exceção do índice de qualidade de Dickson, onde houve interação entre os fatores. O ambiente proporcionou variações no crescimento para todas as características, a exceção da altura de plantas ($21,50 \pm 0,87$ cm). Quanto ao diâmetro, as mudas expostas ao pleno sol tiveram comportamento superior às do telado, enquanto as da estufa, desempenho intermediário (Figura 2A). As mudas cultivadas na estufa apresentaram maior número de nós com folhas, de folhas e área foliar em relação aos demais ambientes (Figura 2B-D), enquanto o telado proporcionou o menor comprimento da raiz (Figura 2E).

Os ambientes influenciaram no desenvolvimento das mudas de maneira distinta, resultando em variações na matéria seca dos órgãos, exceto para a matéria seca total ($8,53 \pm 0,35$ g). As mudas cultivadas na estufa e a pleno sol, de forma geral, apresentaram a maior matéria seca das folhas, do caule, da parte aérea, das raízes e, da relação entre a matéria

seca da parte aérea e sistema radicular (Figura 2F-I, L). Já para o hipocótilo e matéria seca do sistema radicular, o pleno sol propiciou os menores valores (Figura 2J-K).

As épocas ocasionaram alterações para todas as características morfológicas, a exceção do número de folíolos ($14,00 \pm 1,28$). De forma geral, as mudas cresceram em altura, diâmetro e área foliar ao longo do tempo (Figura 3A-B, D), enquanto o número de nós com folhas diminuiu nas duas últimas épocas (Figura 3C). Entretanto, houve paralisações do crescimento das mudas para o diâmetro do caule (Figura 3B), entre agosto e outubro, e área foliar, entre junho e agosto (Figura 3D).

Entre junho até outubro, o crescimento da raiz e hipocótilo foi limitado e quase nulo, à exceção das características associadas à largura do hipocótilo. Porém, com o avanço na época de avaliação, ocorreram alterações no tamanho de raiz e hipocótilo, com maior incremento no valor a partir de outubro (Figura 3E-H). Também, ao longo do tempo, houve acúmulo de matéria seca em todos os órgãos da planta e, por conseguinte, na matéria seca total (Figura 3I-O). Entretanto, nos meses entre junho e agosto, de forma geral, o aumento de matéria seca nos órgãos foi bastante reduzido, à exceção das raízes, que acumularam massa ao longo de todo período (Figura 3L). Por outro lado, a matéria seca do hipocótilo só aumenta na última época de avaliação (Figura 3M).

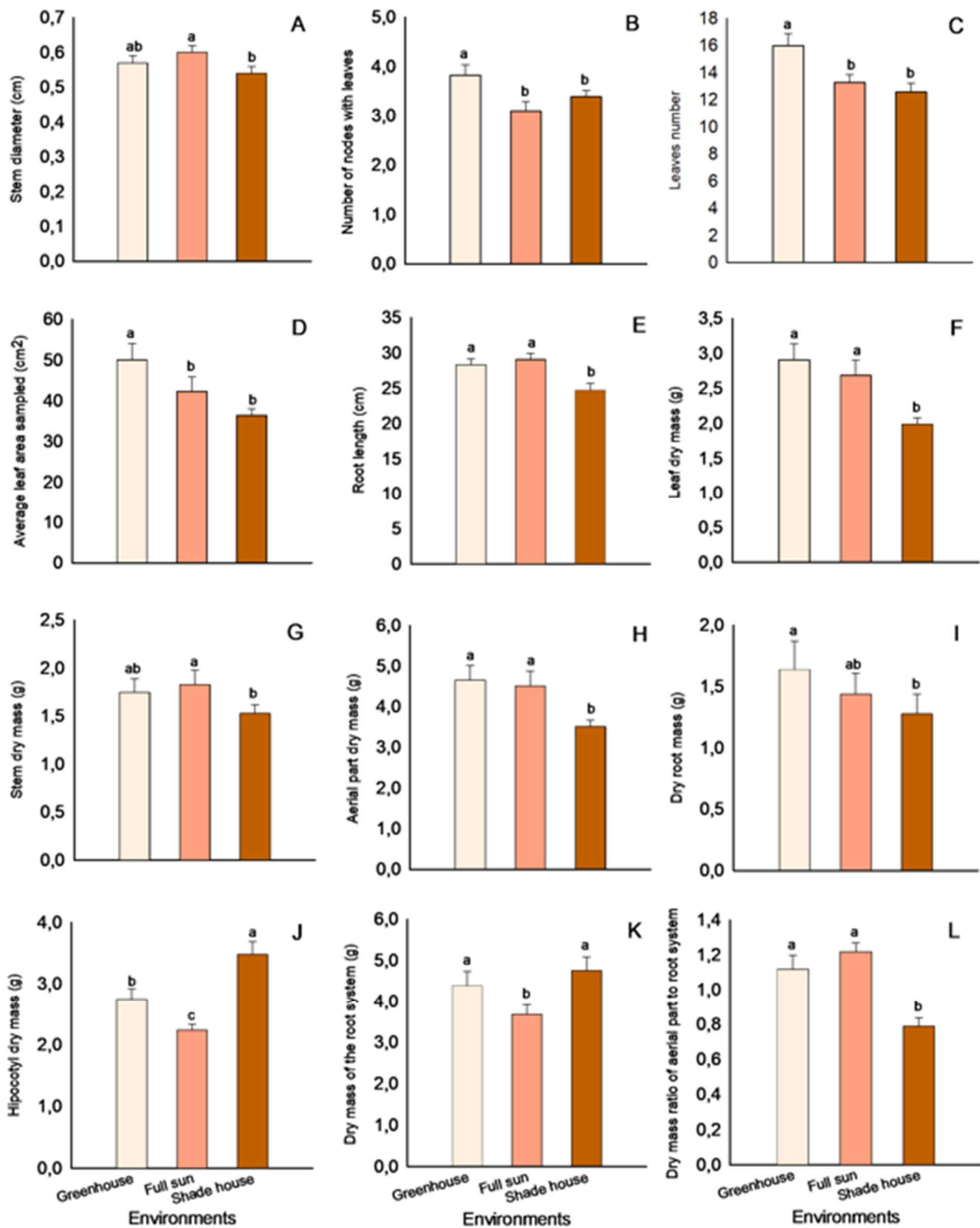


Figura 2. Diâmetro do colo (A), número de nós com folhas (B), número de folhas (C), área foliar média amostrada (D), comprimento da raiz (E), massa seca das folhas (F), caule (G), parte aérea (H), raízes (I), hipocótilo (J), sistema radicular (K) e relação massa seca da parte aérea e sistema radicular (L) de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, pleno sol e telado por 240 dias. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 20).

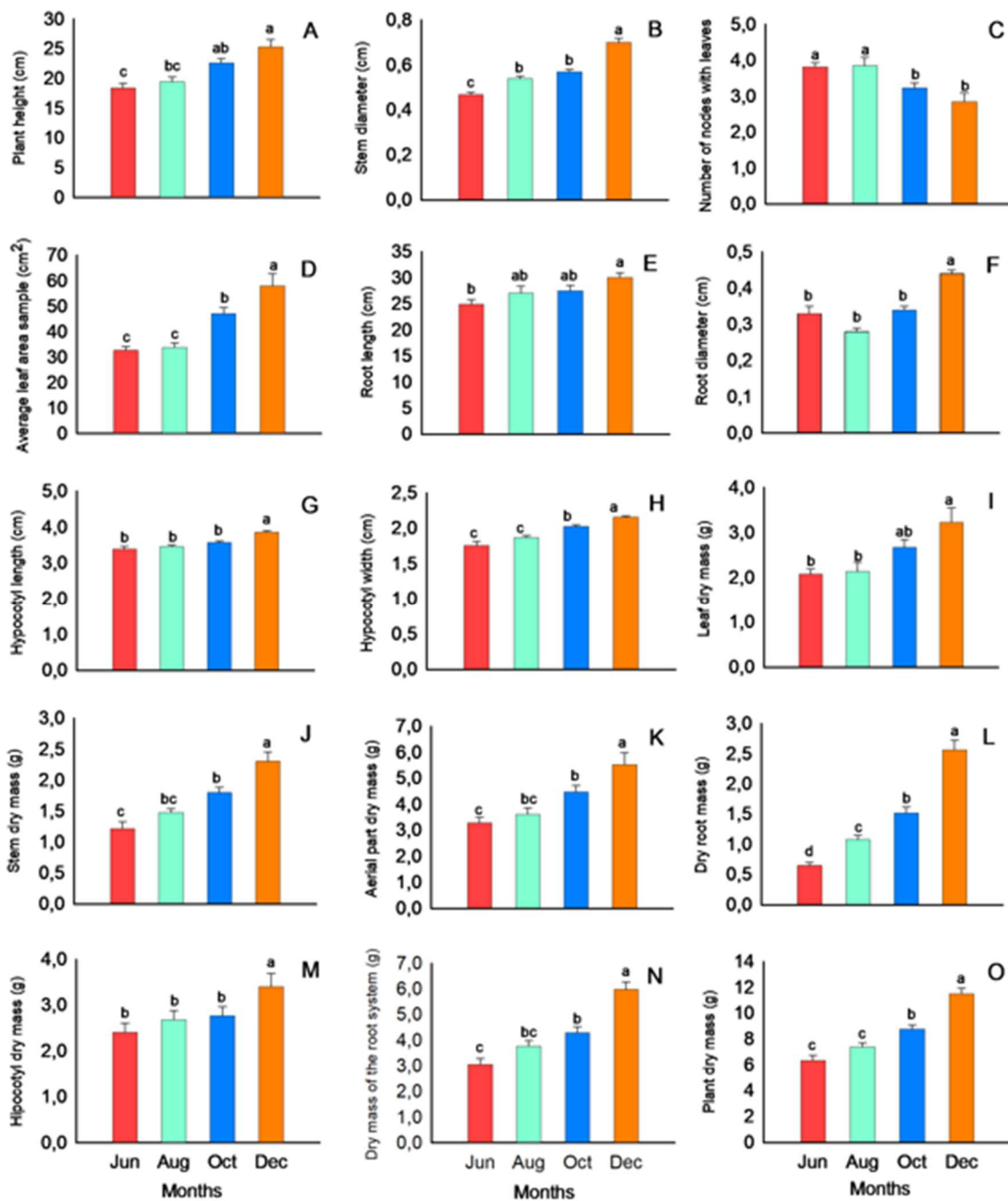


Figura 3. Altura da planta (A), diâmetro do colo (B), número de nós com folhas (C), área foliar média amostrada (D), comprimento da raiz (E), diâmetro da raiz (F), comprimento do hipocótilo (G), largura do hipocótilo (H), matéria seca das folhas (I), matéria seca do caule (J), matéria seca da parte aérea (K), matéria seca das raízes (L), matéria seca do hipocótilo (M), matéria seca do sistema radicular (N) e matéria seca total (O) de mudas de *Caryocar brasiliense* avaliadas nos meses de junho, agosto, outubro e novembro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 20).

No pleno sol, as plantas apresentaram maior IQD, enquanto no telado menor e na estufa comportamento intermediário. Independente do ambiente, a avaliação em dezembro propiciou valor superior de IQD (Figura 4A).

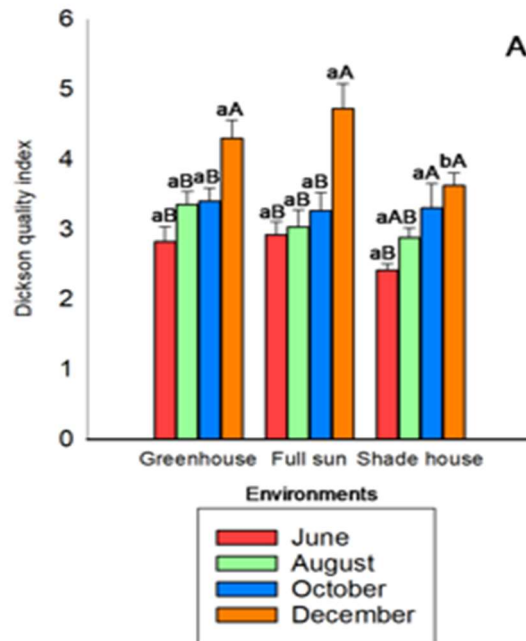


Figura 4. Índice de qualidade de Dickson (A) de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, pleno sol e telado e avaliadas nos meses de junho, agosto, novembro e dezembro. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não apresentam diferenças entre os ambientes na mesma época e maiúsculas entre épocas no mesmo ambiente de avaliação pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 20).

3.2 Atributos morfoanatômicos e histoquímica

As mudas da estufa apresentaram caule mais herbáceo comparado aos ambientes telado e pleno sol, sendo mais lenhoso na base e menos próximo à região apical, independente do ambiente de cultivo. Em mudas cultivadas na condição de estufa e pleno sol predominaram a presença de um par de folhas trifolioladas; enquanto as do telado apresentaram uma folha bifoliolada e uma trifoliolada (Figura 5A-C). As folhas eram pilosas, sendo que os tricomas se concentravam na face abaxial, notadamente, mais abundantes nas mudas cultivadas a pleno sol (Figura 5D-I).

Na secção transversal foi observada a presença de cutícula mais espessa nas mudas do pleno sol do que nos outros ambientes. As folhas são hipoestomáticas e em ambas as faces da epiderme ocorrem células que se destacam pelo conteúdo mucilaginoso. O mesofilo é dorsiventral, com parênquima paliçádico formado por duas ou três camadas de células nas mudas da estufa e telado e de três a quatro camadas no pleno sol (Figura 5J-L).

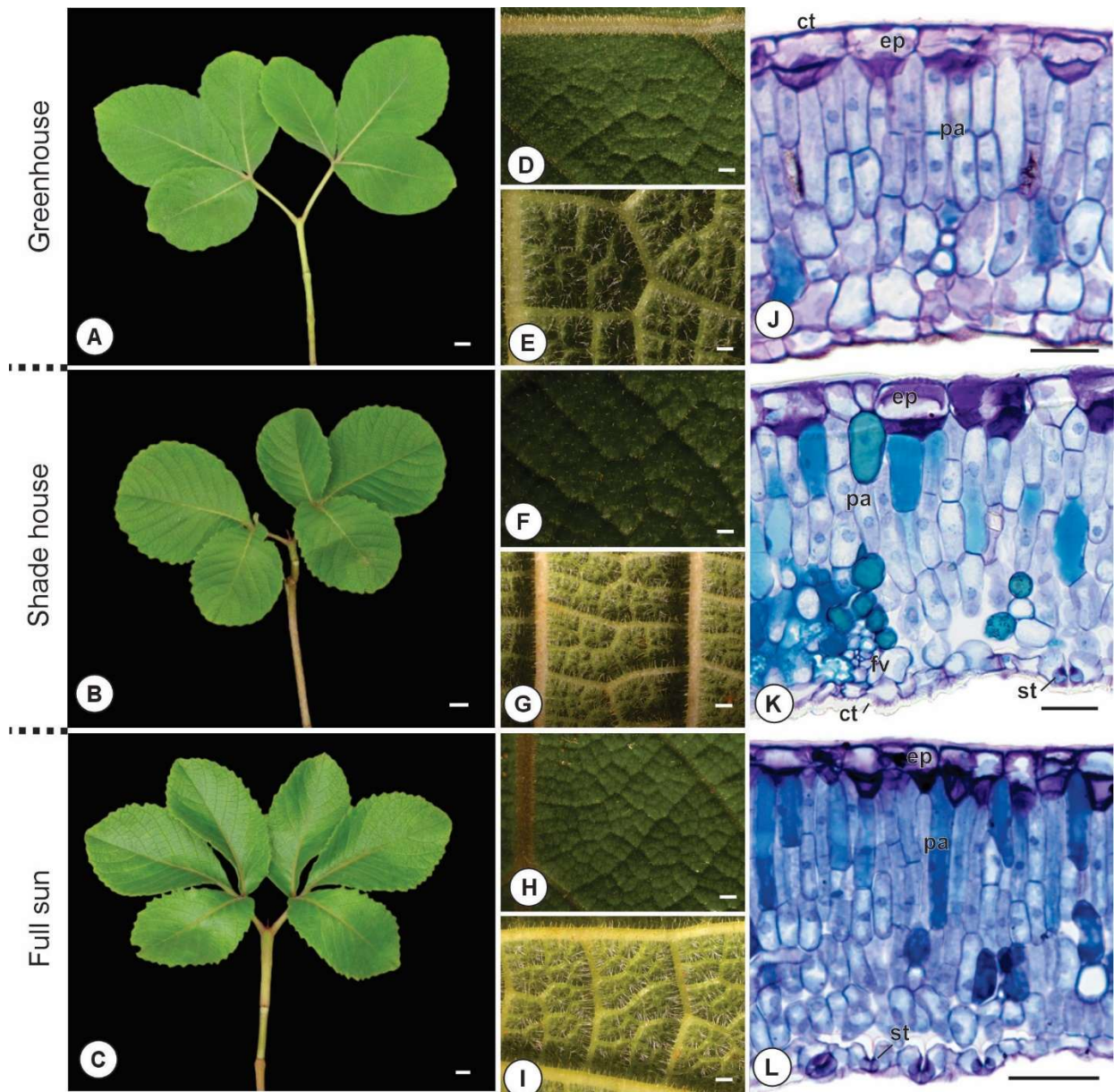


Figura 5. Aspectos morfoanatômicos da folha de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, telado e pleno sol por 240 dias. (A) muda da estufa, (B) muda do telado, (C) muda do pleno sol, (D) face adaxial da folha da estufa, (E) face abaxial da folha da estufa, (F) face adaxial da folha do telado, (G) face abaxial da folha do telado, (H) face adaxial da folha do pleno sol, (I) face abaxial da folha do pleno sol, (J) corte anatômico transversal da folha da estufa, (K) corte anatômico transversal da folha do telado, (L) corte anatômico transversal da folha do pleno sol, ct - cutícula; ep - epiderme; pa - parênquima; fv - feixe vascular; st – estômato.

Na condição de estufa, o caule, em secção transversal, apresentou contorno arredondado. A epiderme era unisseriada e com tricomas tectores. O parênquima cortical possuía células pequenas e com evidentes espaços intercelulares na região periférica, onde também ocorreram numerosos idioblastos contendo compostos fenólicos; as células das camadas mais internas do córtex eram mais volumosas e vacuoladas. O câmbio vascular estava ativo, com início de formação do xilema e o floema secundários (Figura 6A-D). Mudanças

do telado apresentavam caule, em secção transversal, com tecidos internos bem definidos e maior espessura da medula. A formação da periderme foi iniciada, com acúmulo de fenólicos em determinados tecidos (Figura 6E-H). Já em pleno sol, o caule possuía estrutura bem definida dos tecidos, apresentando formação inicial do súber, com parede e maior densidade celular, além de tricomas evidentes. O câmbio era visivelmente ativo, separando o xilema do floema, com células vasculares mais organizadas (Figura 6I-L).

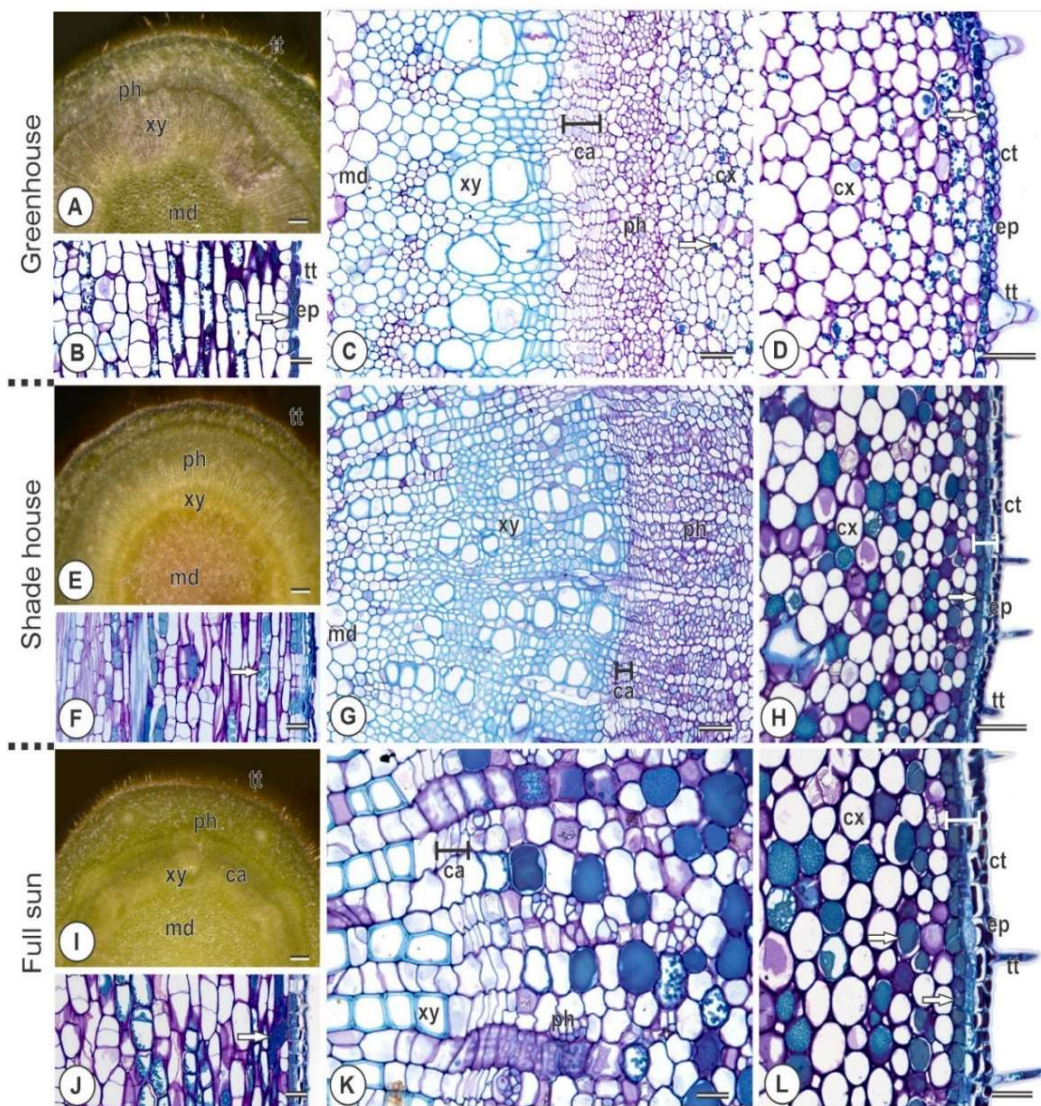


Figura 6. Aspectos morfoanatômicos do caule de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, telado e pleno sol por 240 dias. (A) Corte transversal do caule da muda da estufa, (B) Corte anatômico longitudinal do caule da muda da estufa, (C-D) Corte anatômico transversal do caule da muda da estufa, (E) Corte transversal do caule da muda do telado, (F) Corte anatômico longitudinal do caule da muda do telado, (G-H) Corte anatômico transversal do caule da muda do telado, (I) Corte longitudinal do caule da muda do pleno sol, (J) Corte anatômico longitudinal do caule da muda do pleno sol, (K-L) Corte anatômico transversal do caule da muda do pleno sol, ct - cutícula; ep - epiderme; tt - tricoma; cx – córtex; ph - floema; ca – câmbio; xy - xilema; md – medula.

As mudas cultivadas em estufa possuíam gotículas de lipídios apenas na cutícula do caule e da folha, que é mais delgada nesse tratamento (Figura 7A, D). As oriundas de telado e a pleno sol apresentaram aumento de lipídios na cutícula da epiderme remanescente e nas camadas de súber recém-formadas do caule (Figura 7B-C); enquanto nas folhas a cutícula da face adaxial é mais espessa do que a abaxial (Figura 7E-F).

Nas plantas cultivadas em estufa detectaram-se poucos grãos de amido visíveis, com o xilema e floema menos marcados no caule e no parênquima da folha (Figura 7G, J). Já as

do telado apresentaram acúmulo moderado de amido, especialmente na medula e em células do mesofilo inferior (Figura 7H, K). Mudanças do pleno sol possuíam grande quantidade de grãos de amido, concentrados, especialmente, em células próximas ao xilema e medula do caule, enquanto nas folhas ocorreu maior acúmulo no parênquima (Figura 7I, L);

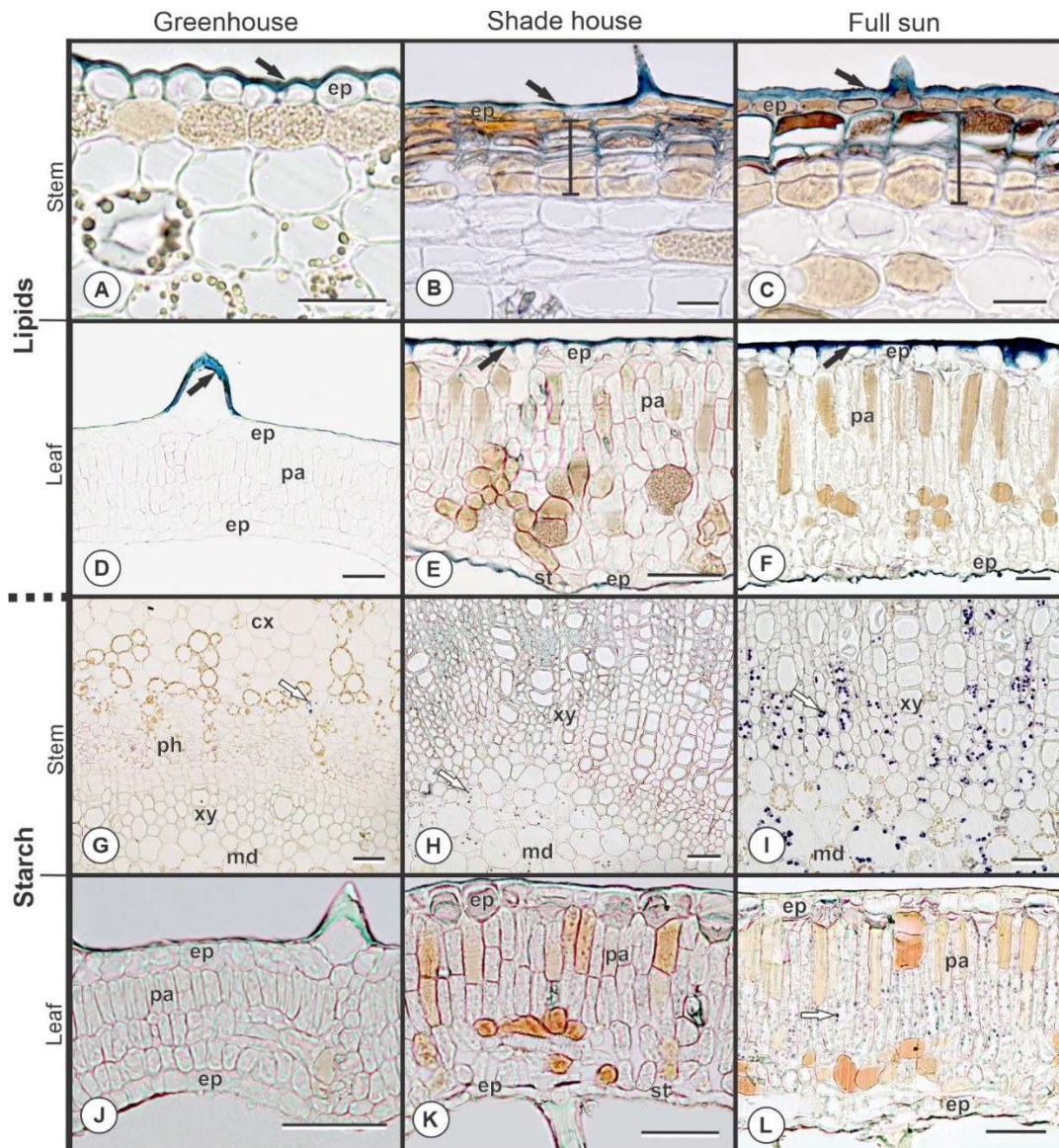


Figura 7. Histoquímica para lipídios e amido de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, telado e pleno sol por 240 dias. (A) Reação positiva para lipídios no caule de mudas da estufa, (B) Reação positiva para lipídios no caule de mudas do telado, (C) Reação positiva para lipídios no caule de mudas do pleno sol, (D) Reação positiva para lipídios na folha de mudas da estufa, (E) Reação positiva para lipídios na folha de mudas do telado, (F) Reação positiva para lipídios na folha de mudas do pleno sol, (G) Reação positiva para amido no caule de mudas da estufa, (H) Reação positiva para amido no caule de mudas do telado, (I) Reação positiva para amido no caule de mudas do pleno sol, (J) Reação positiva para amido na folha de mudas da estufa, (K) Reação positiva para amido na folha de mudas do telado, (L) Reação positiva para amido na folha de mudas do pleno sol, ct - cutícula; ep - epiderme; pa - parênquima; st - estômato; cx - córtex; ph - floema; xy - xilema; md - medula.

3.3 Atributos fisiológicos

A clorofila foi influenciada pelos ambientes e épocas de forma isolada, enquanto houve interação para as características de troca gasosas, exceto para a assimilação de CO₂ ($7,31 \pm 0,55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nos ambientes estufa e telado, as mudas apresentaram teores mais elevados de clorofila “a”, “b” e total em comparação com as cultivadas em pleno sol (Figura 8A-C). A relação clorofila a/b foi inferior em mudas do ambiente estufa comparado ao telado (Figura 8D). Na avaliação de junho, as plantas mostraram valores superiores de clorofila “a”, “b” e total, mas com menor relação clorofila a/b em comparação com as outras épocas (Figura 8A-D).

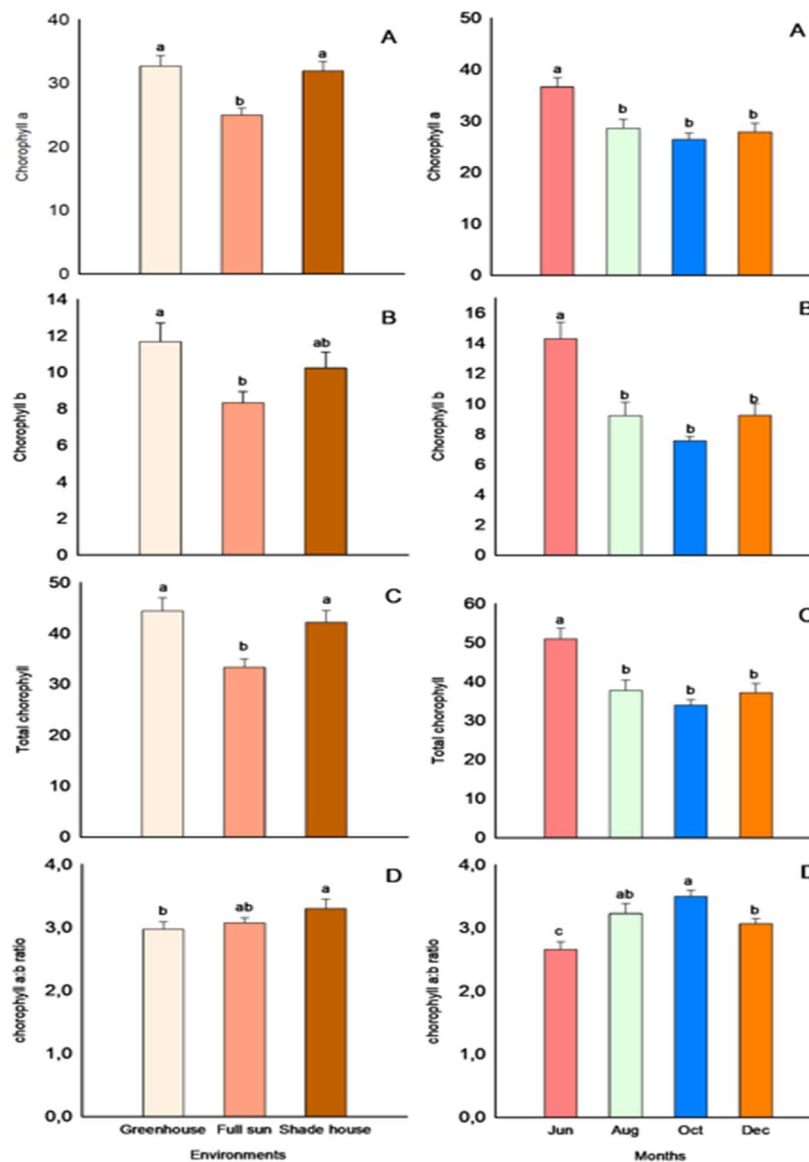


Figura 8. Teores de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C) e relação clorofila a/b (D) de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, pleno sol e telado e avaliadas em junho,

agosto, novembro e dezembro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 20).

Em dezembro, as mudas do pleno sol apresentaram eficiência do uso da água maior do que as mudas da estufa e do telado e as demais épocas de cultivo avaliadas (Figura 9A). Em todos os ambientes a transpiração aumentou entre junho e outubro, com a menor taxa ocorrendo em dezembro no ambiente pleno sol (Figura 9B). Nos ambientes estufa e telado, a condutância estomática foi crescente entre junho e dezembro, enquanto no pleno sol, o mês de dezembro apresentou o menor valor entre os ambientes e épocas (Figura 9C).

A taxa de transporte de elétrons foi maior em agosto e outubro nos ambientes estufa e pleno sol, respectivamente. No ambiente telado as taxas mantiveram-se sem diferença significativa no período avaliado (Figura 9D). Com relação ao rendimento fotossintético quântico do PSII, as mudas do ambiente estufa apresentaram os valores mais baixos em agosto, as do pleno sol em outubro e do telado em junho, indicando comportamentos diferentes em cada época (Figura 9E).

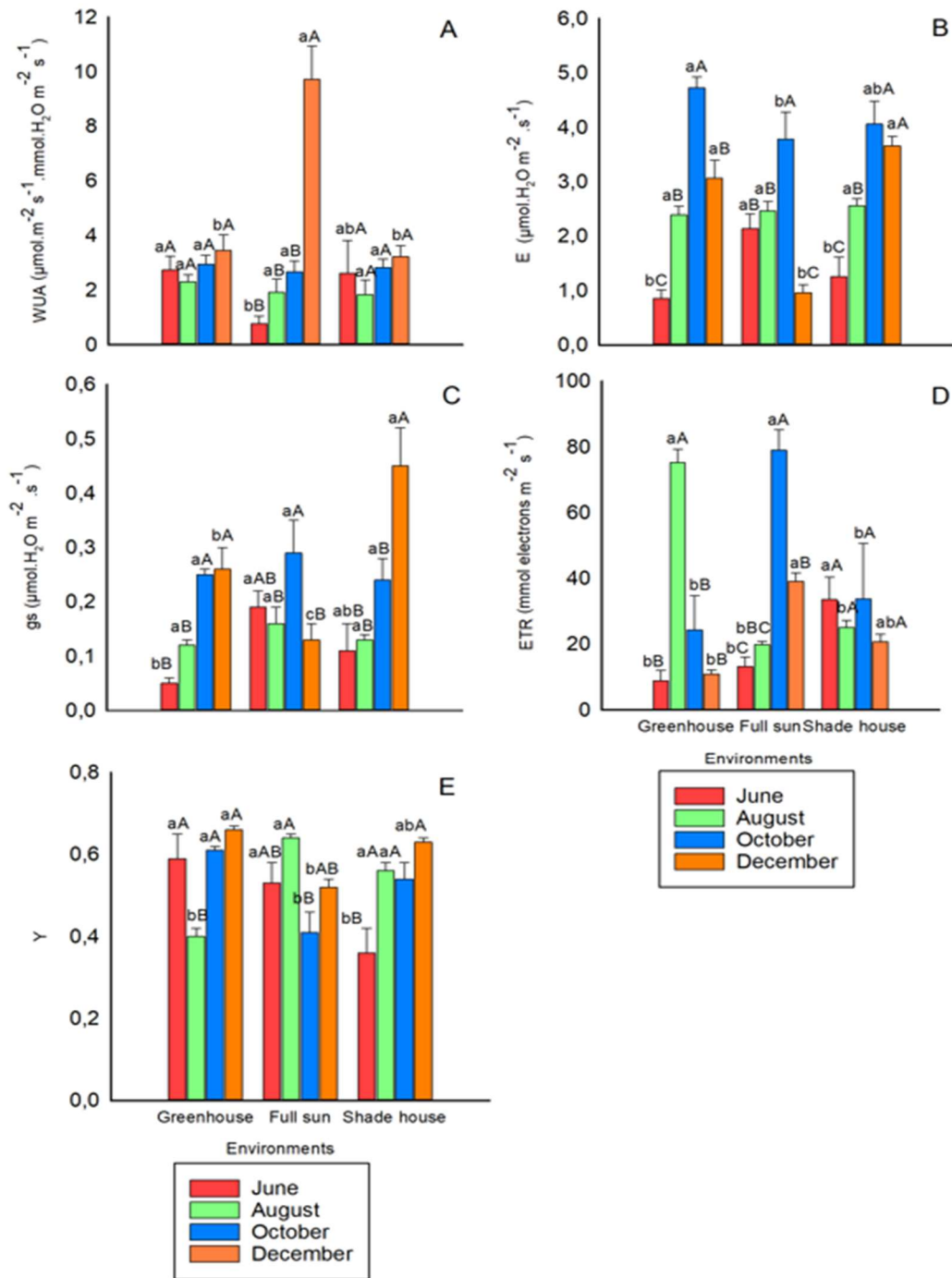


Figura 9. Eficiência do uso da água para folha (A), transpiração (B), condutância estomática (C), taxa de transporte de elétrons (D) e rendimento fotossintético quântico do PSII (E) de mudas de *Caryocar brasiliense* cultivadas nos ambientes de casa de vegetação, pleno sol e telado e avaliadas nos meses de junho, agosto, outubro e dezembro. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não apresentam diferenças entre os ambientes e maiúsculas entre épocas de avaliação pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 20).

4. DISCUSSÃO

4.1. Respostas morfológicas

Mudas de *C. brasiliense* demonstram grande plasticidade foliar em relação ao sombreamento, porém não afeta o crescimento da parte aérea e das raízes. Na estufa, ambiente mais sombreado, as mudas possuem maior valor para as características foliares (Figura 2B-D), enquanto o diâmetro do colo, comprimento da raiz e massas secas da parte aérea e das raízes e sua relação são semelhantes às aquelas a pleno sol, mas superiores às cultivadas no telado (Figura 2A, 2E-I, 2L). Por outro lado, a estrutura de reserva, hipocótilo, é maior em mudas do telado, seguido pela estufa e pleno sol (Figuras 2J).

Estudos com mudas de diferentes espécies arbóreas demonstram que algumas apresentam plasticidade foliar morfológica ao sombreamento, mas que não interfere diretamente no crescimento das plantas. Isso ocorre em *Cyristax antisiphilitica*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Jacaranda mimosifolia* e *Platymiscium floribundum* que apresentaram maior área foliar em ambientes sombreados e maior diâmetro do colo em pleno sol, porém, de forma geral, os níveis de sombreamento extremos não interferiram no crescimento e massa seca da planta (Freitas et al., 2022; Almeida et al., 2023, Oliveira et al., 2018, Alves et al., 2021). Por outro lado, em mudas de *Physocalymma scaberrimum* (Lythraceae), o melhor desenvolvimento ocorre entre 50 e 70% de sombreamento em relação aos níveis extremos (pleno sol e 90% de sombreamento), evidenciando menor plasticidade da espécie à luz (Valadão et al., 2014). Entretanto, níveis intermediários de radiação, como o do telado no presente estudo, pode impactar negativamente o crescimento das mudas, como verificado em *P. floribundum* (Alves et al., 2021).

A qualidade da luz (composição espectral) é de extrema importância, pois fornece energia para a fotossíntese e influencia as vias de sinalização que regulam o desenvolvimento das plantas no complexo processo de fotomorfogênese (Wei et al., 2023). As estufas difundem a luz solar em várias direções, potencializando a fotossíntese das plantas e proporcionando um melhor microclima às plantas (Ahmed et al., 2016; Badji et al. 2022). Já as telas de plástico preto (telado) transmitem luz uniformemente em toda a parte visível do espectro de luz, agindo como filtros de densidade neutra e ajudando a reduzir a incidência de radiação nas plantas, mas sem afetar a qualidade espectral da luz (Oren-Shamir et al., 2001), o que pode explicar o menor crescimento do *C. brasiliense* sob telado. No pleno sol, condição de excesso de radiação, há maior consumo das reservas do

hipocótilo, apesar do crescimento das mudas ser semelhante a estufa. Por fim, para a produção de mudas de *C. brasiliense*, o uso de níveis de sombreamento em estufa com 70% ou em pleno sol são adequados para se obter plantas mais vigorosas e com maior probabilidade para estabelecimento no campo, principalmente, nas condições sazonais do Bioma Cerrado.

De forma geral, o período responsável pelo maior incremento no crescimento das mudas de *C. brasiliense* é a partir de outubro. A maioria das características morfológicas da parte aérea e do sistema subterrâneo (hipocótilo) apresentam crescimento limitado ou nulo até agosto (Figuras 3A, 3D, 3H, 3O) ou até outubro (Figuras 3E-G, 3I-K, 3M-N), a exceção das raízes que acumulam massa seca crescente ao longo do tempo (Figura 3L). No Cerrado, os meses mais frios e secos (abril a setembro, Figura 1) inibem o desenvolvimento de mudas de *C. brasiliense* (Sousa et al., 2017), mesmo que irrigada (Mota et al., 2025), tendência também já observada para outras espécies do bioma (Souza et al., 2019, Matos et al., 2018; Chaib et al., 2023). Por outro lado, o crescimento vegetativo mais significativo das mudas de espécies nativas do Cerrado ocorre na estação quente e chuvosa, principalmente entre os meses de outubro e dezembro (Matos et al., 2018; Chaib et al., 2023; Mota et al., 2025). Portanto, o uso de ambientes que mantenham a temperatura mais elevada (acima de 25 °C) pode contribuir para crescimento mais constante das plantas durante o ano, atingindo o ponto de maturação da muda mais precocemente.

A maior qualidade das mudas de *C. brasiliense* foram obtidas após 240 dias de cultivo na estufa e pleno sol. O IQD, índice que confere qualidade às mudas, é superior na avaliação de dezembro e nos ambientes de estufa e pleno sol (Figura 4A). O equilíbrio da relação parte aérea e raiz é de aproximadamente um em mudas do ambiente estufa e pleno sol, considerado situação fisiológica normal (Yokawa et al., 2011), além do desenvolvimento maior do diâmetro, que torna o IQD ainda maior. Também, em condições de ambientes semelhantes, de menor e maior sombreamento, mudas de plantas lenhosas com maior plasticidade à luz não apresentam diferença na partição de biomassa entre parte aérea e raiz (Freitas et al., 2022; Alves et al., 2021; Almeida et al., 2023), o que proporciona IQD superior. Entretanto, no telado, com baixa radiação e sem os benefícios da reflectância da estufa e da maior radiação do pleno sol, as mudas apresentam menor diâmetro, massa seca da parte aérea e da raiz, o que leva ao menor IQD. A maior qualidade das mudas na última avaliação é resultado do incremento superior nas características de crescimento a partir de outubro. Isso demonstra, que independentemente do local de cultivo, é preciso a mudança

de estação do inverno para primavera (aumento da temperatura) para que a muda atinja a sua máxima qualidade, como já demonstrado para o *C. brasiliense* (Mota et al., 2025). Portanto, mudas de alta qualidade de *C. brasiliense* podem ser obtidas no pleno sol e estufa após 270 dias de cultivo.

4.2 Respostas morfoanatômicas e histoquímica

Mudas de *C. brasiliense* apresentam importantes mudanças morfoanatômicas quando cultivadas a pleno sol e ambientes protegidos. No pleno sol, as mudas possuem mais tricomas na epiderme, camadas do parênquima paliçádico, mucilagem, compostos fenólicos, amido nas células e cutícula do que aquelas cultivadas na estufa e telado (Figura 5D-L, Figura 6 A-L, Figura 7 A-L). *C. brasiliense*, em vegetação natural, tem características morfoanatômicas semelhante às mudas a pleno sol, como quantidade elevada de tricomas multicelulares não glandulares, cutícula espessa, os estômatos na face abaxial, parênquima paliçádico com duas ou três camadas de células compactadas (Ramos et al., 2015). Essas características, típicas de plantas que ocorrem em ambiente de sazonalidade como o Cerrado, visam reduzir a perda de água (Zhao et al., 2012; Wan et al., 2020), mas estão presentes nas mudas irrigadas a pleno sol.

Espécies que demandam mais luz, como o *C. brasiliense*, demonstram maior plasticidade anatômica, como relatado por Poorter et al. (2019). Em ambiente sombreado, essa espécie possui parênquima paliçádico, esponjoso e lâmina foliar menos espessa (Almeida et al., 2023; Mendonça et al., 2020; Moreira et al., 2013). Além disso, o caule é mais herbáceo, com maior conteúdo de compostos fenólicos e xilema com menor desenvolvimento, o que contribui para o diâmetro inferior em plantas de ambiente protegido (Santos et al., 2018). As plantas lenhosas demonstraram uma variedade de respostas adaptativas gerais que aumentam sua resistência a condições ambientais extremas (Zhou et al., 2023; Li et al., 2023; Rowland et al., 2023). Entretanto, há estratégias únicas para enfrentar os desafios ambientais específicos de seus habitats, ampliando a variabilidade anatômica entre as diferentes espécies (Egorova et al., 2019).

4.3. Respostas fisiológicas

Os ambientes mais sombreados e a época de avaliação no mês mais frio levam ao maior conteúdo de clorofilas nas plantas. As mudas, cultivadas na estufa e telado e avaliadas no mês de junho, apresentam quantidades elevadas de clorofila a, b e total, sendo relação entre a e b superior no telado e na época de outubro (Figura 8A-D). Plantas cultivadas em ambientes com luz filtrada ou protegida, como a estufa e telado, utilizados no presente trabalho, tendem a ter teores mais elevados de clorofila em comparação com aquelas expostas a luz solar direta (Morley et al., 2020; Alves et al., 2021). Isso visa compensar baixa radiação e aumentar a capacidade de absorção de luz (Almeida et al., 2023). Porém, em algumas espécies e dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, não é verificadas alterações significativas nos teores de clorofila quando submetida ao sombreamento, como constatado para a *Butia capitata* (Costa et al., 2018).

Também a época da avaliação influencia na quantidade de clorofila, associando-se, principalmente, à maturidade das folhas. O tipo de crescimento e a idade da folha podem afetar a validação da recuperação de características foliares a partir do sinal óptico. Portanto, é viável amostrar ambas as categorias de desenvolvimento foliar - jovem e madura -, especialmente se a amostragem ocorrer apenas uma vez durante a estação de vegetação (Kuusk et al., 2021). As folhas maduras, em bom estado fisiológico, apresentam a máxima quantidade de clorofilas. Por outro lado, folhas recém-formadas ou muito velhas possuem menores teores destes pigmentos, em função, respectivamente, da imaturidade do cloroplasto ou da degradação da estrutura (Dellero et al., 2021). Portanto, na avaliação de junho as folhas estão maduras com teores ainda superiores para as clorofilas, porém, com o passar do tempo, ocorre envelhecimento e queda (agosto e outubro), seguido da formação de novas folhas (novembro), o que determina menor conteúdo destes pigmentos. Esse resultado reforça a relação entre maturidade foliar e alterações estruturais/bioquímicas que impactam a fisiologia da folha, incluindo os níveis de clorofila, como também constatado em *Dimorphandra mollis* (Moreira & Oliveira, 2011).

As mudas, no ambiente de pleno sol e no período de menor crescimento vegetativo (junho e agosto), apresentam melhor desempenho fisiológico do que nos demais locais de cultivo. Entretanto, a partir de outubro, as mudas no telado e estufa possuem troca gasosa e rendimento fotossintético superiores. No pleno sol é detectado menor rendimento fotossintético quântico do PSII e valores inferiores de transpiração e condutância estomática

na última época de avaliação, enquanto em outubro ocorre maior taxa de transporte de elétrons (Figura 9A-E). Em períodos do ano com temperaturas mais amenas e menor intensidade de radiação solar, ambientes sombreados tendem a limitar ainda mais o crescimento das plantas, devido à menor disponibilidade de energia para fotossíntese e desaceleração do metabolismo vegetal, onde a luz regula o crescimento morfológico, mas jamais compensa as restrições impostas pelo frio fora da faixa térmica tolerada pela espécie (Rozendaal et al., 2006; Sullivan et al., 2020). Nessas condições, o desempenho em ambientes sombreados é inferior ao pleno sol, como observado em mudas de *Cabralea canjerana*, que apresentam menor crescimento sob baixa irradiância, principalmente no inverno (Aimi et al., 2020). Paradoxalmente, na época de maior crescimento (como primavera e verão), plantas cultivadas em pleno sol tendem a apresentar menor condutância estomática e rendimento quântico do fotossistema II, o que pode ser atribuído à alta radiação fotossinteticamente ativa e ao estresse por excesso de luz, que provoca fechamento estomático como resposta protetiva (Franco & Lüttge, 2002). Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que o excesso de luz pode provocar estresse oxidativo e fotoinibição, levando as plantas a ativarem mecanismos de proteção, como o fechamento estomático e a dissipação térmica da energia, reduzindo o rendimento quântico da fotossíntese (Demmig-Adams & Adams, 1992).

Nos parâmetros de transpiração e condutância estomática, não há diferença significativa entre os tratamentos com diferentes níveis de sombreamento em *Platymiscium floribundum* (Alves et al., 2021). Já em *Cybistax antisyphilitica*, a eficiência do uso da água e a taxa de transporte de elétrons são maiores em pleno sol, enquanto a condutância estomática e a transpiração, tanto em pleno sol quanto sob sombreamento intermediário, são elevados (Freitas et al., 2022). Em contraste, em *Butia capitata*, essas variáveis não diferem, indicando uma resposta fisiológica pouco sensível ao sombreamento (Costa et al., 2018). Esses resultados reforçam que as respostas fisiológicas às condições de luz são específicas da espécie, e que a qualidade da luz afeta não só o fornecimento de energia para a fotossíntese, mas também a regulação de vias de sinalização no processo de fotomorfogênese (Wei et al., 2023). Espécies lenhosas tropicais possuem mecanismos fisiológicos para lidar com estresses sazonais, como variações de temperatura e disponibilidade hídrica, situações comuns em ambientes savânicos (Franco et al., 2005; Feeley & Kullberg, 2024). Mudanças em pleno sol apresentaram maior eficiência no uso da água e menor condutância estomática aos 9 meses, sugerindo uma resposta adaptativa à

alta incidência de luz, possivelmente como mecanismo de contenção de perda hídrica em condições de alta demanda evaporativa.

5. CONCLUSÕES

C. brasiliense possui grande plasticidade morfoanatômica e fisiológica em resposta às condições de cultivo, otimizando a captação de luz, reduzindo a perda de água e aumentando a resistência ao estresse abiótico. O ambiente da estufa proporciona melhores condições para o crescimento da área foliar, enquanto o pleno sol favorece o aumento do diâmetro do caule e o maior IQD após 270 dias de cultivo das mudas. As mudas cultivadas a pleno sol apresentam mais tricomas na epiderme, camadas do parênquima paliçádico e cutícula do que aquelas cultivadas na estufa e telado. O ambiente a pleno sol proporciona maior eficiência no uso da água e menor condutância estomática em dezembro.

De forma, geral o ambiente da estufa e a pleno sol propiciam as melhores condições para produção de mudas de qualidade de *C. brasiliense*. O maior incremento no crescimento das mudas ocorre entre outubro e dezembro.

6. REFERÊNCIAS

ABDEL-GHANY, A. M.; AL-HELAL, I. M. Analysis of solar radiation transfer: a method to estimate the porosity of a plastic shading net. *Energy Conversion and Management*, v. 52, p. 1755–1762, 2011.

- AIMI, S. C.; ARAUJO, M. M.; TABALDI, L. A.; TONETTO, T. da S.; ZAVISTANOVICZ, T. C.; BERGHETTI, Á. L. P. Shading as a determinant factor for the survival and growth of *Cabralea canjerana* in southern Brazil. *Cerne*, v. 26, n. 3, p. 349–355, 2020.
- AHMED, HESHAM; AL-FARAJ, ABDULELAH; ABDEL-GHANY, A. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review. *Scientia Horticulturae*, v. 201, p. 36–45, 2016.
- ALMEIDA, S. M. Z.; SOUZA, M. C.; MARASCHIN-SILVA, F.; MARCON, A. C.; NASCIMENTO, M. L. *Campomanesia xanthocarpa* (Myrtaceae: Myrtoideae) seedlings reveal morpho-physiological plasticity under shade conditions. *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, p. e276695, 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, M. M.; DE ALBUQUERQUE, M. B.; CRUZ, R. R. P.; PEREIRA, W. E.; DE MEDEIROS, E. C. Initial growth and morpho-anatomical development of “Jacaranda” at different levels of luminosity. *Floresta e Ambiente*, v. 28, n. 4, e20200091, 2021.
- ANDIVIA, E.; VILLAR-SALVADOR, P.; OLIET, J.; PUÉRTOLAS, J.; DUMROESE, R.; IVETIĆ, V.; MOLINA-VENEGAS, R.; ARELLANO, E.; LI, G.; OVALLE, J. Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restoration worldwide. *Ecological Applications*, e2394, 2021.
- AHMAD, P.; PRASAD, M. N. V. (Ed.). *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. New York: Springer, 2012.
- ARAÚJO, F. A. A review of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae)—an economically valuable species of the central Brazilian cerrados. *Economic Botany*, v. 49, p. 40–48, 1995.
- BADJI, AHMED; BENSEDDIK, ABDELOUAHAB; BENSABA, HOCINE; AKKILA, BOUKHELIFA; HASRANE, ISSAM. Design, technology, and management of greenhouse: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 373, 133753, 2022.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013. 237 p.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457–464, out./dez. 2010.
- CASTRO, L. M. R.; VINSON, C. C.; ALMEIDA, A. L.; CURY, N. F.; ANDRÉ, M. S. F.; WILLIAMS, T. C. R.; PEREIRA, L. A. R. *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae) seed reserves and aluminum: usage and mobilization during germination and seedling development. *Plant Species Biology*, v. 39, n. 4, p. 205–219, 2024.

- CHAIB, A. M.; GOMES, A. S.; BORGHETTI, F. Early development of two savanna tree species under simulated dry spells. *Flora*, v. 301, 2023.
- COSTA, I. de J. S.; COSTA, B. N. S.; ASSIS, F. A. de; MARTINS, A. D.; PIO, L. A. S.; PASQUAL, M. Growth and physiology of jelly palm (*Butia capitata*) grown under colored shade nets. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 40, e35332, 2018.
- DELLERO, Y.; JOSSIER, M.; BOUCHEREAU, A.; HODGES, M.; LEPORT, L. Leaf phenological stages of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) have conserved photosynthetic efficiencies but contrasted intrinsic water use efficiencies at high light intensities. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, artigo 659439, 2021.
- DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W. W. III. Carotenoid composition in sun and shade leaves of plants with different life forms. *Plant, Cell & Environment*, v. 15, p. 411–419, 1992.
- DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. *Plant and Soil*, v. 98, p. 303–312, 1987.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, v. 36, p. 10–13, 1960.
- DUPUY, L. X.; MIMAUULT, M.; PATKO, D.; LADMIRAL, V.; AMEDURI, B.; MACDONALD, M. P.; PTASHNYK, M. Micromechanics of root development in soil. *Current Opinion in Genetics & Development*, v. 51, p. 18–25, ago. 2018.
- EGOROVA, N.; KULAGIN, A. Changes in the assimilation apparatus and the conducting of root of woody plants in various environmental conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 226, p. 012060, 2019.
- FRANCO, A. C.; CAMPANELLO, P.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G.; SCHOLZ, F. G.; MEINZER, F. C. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in Neotropical savanna trees. *Trees*, v. 19, p. 296–304, 2005.
- FRANCO, A. C.; LÜTTGE, U. Midday depression in savanna trees: coordinated adjustments in photochemical efficiency, photorespiration, CO₂ assimilation and water use efficiency. *Oecologia*, v. 131, 2002.
- FREITAS, F. M.; NASCIMENTO, A. R. T.; SANCHES, M. C. Can morpho-physiological responses to natural light conditions in *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart. explain its widespread occurrence in Brazilian Savannas? *Flora*, v. 286, 2022.
- GALLEGOS-CEDILLO, V. M.; DIÁNEZ, F.; NÁJERA, C.; SANTOS, M. Plant agronomic features can predict quality and field performance: a bibliometric analysis. *Agronomy*, v. 11, n. 11, p. 2305, 2021.
- GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, v. 49, n. 1, p. 1–34, 2018.

- GUIMARÃES, Z. T. M.; DA SILVA, D. C.; FERREIRA, M. J. Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. *iForest*, v. 17, p. 80–89, 2024.
- HAI-LONG, S. Effect of environmental factors on seed germination of *Physocarpus amurensis*. *China Forestry Science and Technology*, 2011.
- HE, H.; WILLEMS, L.; BATUSHANSKY, A.; FAIT, A.; HANSON, J.; NIJVEEN, H.; HILHORST, H.; BENTSINK, L. Effects of parental temperature and nitrate on seed performance are reflected by partly overlapping genetic and metabolic pathways. *Plant & Cell Physiology*, v. 57, n. 3, p. 473–487, 2016.
- JENSEN, W. A. *Botanical histochemistry: principles and practice*. San Francisco: W.H. Freeman, 1962.
- KARNOVSKY, M. J. A. A formaldehyde-glutaraldehyde fixate of high osmolality for use in electron microscopy. *Journal of Cell Biology*, v. 27, p. 137A–138a, 1965.
- KULLBERG, A. T.; FEELEY, K. J. Seasonal acclimation of photosynthetic thermal tolerances in six woody tropical species along a thermal gradient. *Functional Ecology*, v. 38, p. 2493–2505, 2024.
- KUUSK, A.; HALLIK, L.; KUUSK, J.; ALBRECHTOVÁ, J.; LHOTÁKOVÁ, Z.; NEUWIRTHOVÁ, E. Leaf age matters in remote sensing: taking ground truth for spectroscopic studies in hemiboreal deciduous trees with continuous leaf formation. *Remote Sensing*, v. 13, p. 1353, 2021.
- LI, S.; LU, S.; WANG, J.; CHEN, Z.; ZHANG, Y.; DUAN, J.; LIU, P.; WANG, X.; GUO, J. Responses of physiological, morphological and anatomical traits to abiotic stress in woody plants. *Forests*, v. 14, n. 9, p. 1784, 2023.
- LIU, X.; SHI, R.; GAO, M.; HE, R.; LI, Y.; LIU, H. Growth of tomato and cucumber seedlings under different light environments and their development after transplanting. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023.
- MATOS, F. S.; FREITAS, I. A. S.; SANTOS, L. V. B. D.; VENANCIO, D. G.; SILVEIRA, P. S. D. Initial growth of *Dipteryx alata* plants under water deficit. *Revista Árvore*, v. 42, p. 1–8, 2018.
- MENDONÇA, A. M. das C.; LIRA, J. M. S.; RODRIGUES, M.; MONTEIRO, V. da F. C.; SIMÃO, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Anatomical, physiological and allometric contrasts of the Cerrado tree *Dalbergia miscolobium* in full sun and shade environments. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, v. 82, n. 2, p. 104–111, 2020.
- MISHRA, S.; CHATURVEDI, M. Effect of different environmental conditions on growth and production of mustard (*Brassica juncea*) in semi-arid zone of Rajasthan. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 8, n. 3, p. 69–71, 2019.

- MONTEIRO NETO, J. L. L.; DE ANCHIETA ALVES DE ALBUQUERQUE, J.; TIAGO DE OLIVEIRA, A.; SAKAZAKI, R. T.; SILVA, E. S.; CARMO, I. L.; MAIA, S. D.; SBOROWSKI, L. G.; MONTEIRO, B. J.; AMAYA, J. Z. Environments and substrates for “pimenta-de-cheiro” (*Capsicum chinense* Jacq.) seedling production in the Amazon savanna. *Revista Agro@ambiente on-line*, 2022.
- MOREIRA, A. S.; QUEIROZ, A.; BARROS, F.; GOULART, M.; LEMOS-FILHO, J. P. Do leaf traits in two *Dalbergia* species present differential plasticity in relation to light according to their habitat of origin? *Australian Journal of Botany*, v. 61, p. 592–599, 2013.
- MOREIRA, P. A.; OLIVEIRA, D. A. Leaf age affects the quality of DNA extracted from *Dimorphandra mollis* (Fabaceae), a tropical tree species from the Cerrado region of Brazil. *Genetics and Molecular Research*, v. 10, n. 1, p. 353–358, 2011.
- MORLEY, P.; JUMP, A.; WEST, M. D.; DONOGHUE, D. Spectral response of chlorophyll content during leaf senescence in European beech trees. *Environmental Research Communications*, v. 2, 2020.
- MOTA, VALÉRIA; RIBEIRO, LEONARDO; FIGUEIREDO, MARIA; MERCADANTE-SIMÕES, M.; MOTA, MAURO; TRINDADE, DANILO; LOPES, PAULO. Impact of water availability on *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) seedling establishment. *Journal of Arid Environments*, v. 229, p. 105379, 2025.
- O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; McCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, v. 59, p. 368–373, 1964.
- OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in Cerrado savannas of central Brazil. *Functional Ecology*, v. 19, p. 574–581, 2005.
- OREN-SHAMIR, M.; GUSSAKOVSKY, E.; SHPIEGEL, E.; NISSIM-LEVI, A.; RATNER, K.; OVADIA, R.; GILLER, Y. Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, v. 76, 2001.
- OLIVEIRA, J. R. de; DA COSTA, C. A. S.; BEZERRA, A. M. E.; ABUD, H. F.; DE LUCENA, E. M. P. Characterization of seeds, seedlings and initial growth of *Jacaranda mimosifolia* D. Don. (Bignoniaceae). *Revista Árvore*, v. 42, n. 4, e420403, 2018.
- PAIVA, E. A. S.; PINHO, S. Z.; OLIVEIRA, D. M. T. Large plant samples: how to process for GMA embedding? In: MELO, R. C. N.; CHOARINI-GARCIA, H. (ed.). *Methods and Protocols*. Totowa: Humana Press, Light Microscopy, p. 37–49, 2011.
- PANDEY, G.; PARKS, S.; THOMAS, R. G. Polymer and photo-selective covers on plant and fruit development: A review. *Agronomy Journal*, v. 115, p. 3074–3091, 2023.
- PEARSE, A. G. E. *Histochemistry: theoretical and applied*. 3rd ed. Baltimore, USA: Williams and Wilkins, 1972.

- PELLIZZARO, K. F.; CORDEIRO, A. O.; ALVES, M.; MOTTA, C. P.; REZENDE, G. M.; SILVA, R. R.; SCHMIDT, I. B. “Cerrado” restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 40, p. 681–693, 2017.
- POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; NTAGKAS, N.; SIEBENKÄS, A.; MÄENPÄÄ, M.; MATSUBARA, S.; PONS, T. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *The New Phytologist*, v. 223, p. 1073–1105, 2019.
- PUGLIELLI, GIACOMO; LAANISTO, LAURI; GORI, ANTONELLA; CARDOSO, AMANDA. Woody plant adaptations to multiple abiotic stressors: Where are we? *Flora*, v. 299, 2023.
- RAMOS, B.; SILVA, K.; COIMBRA, R.; CHAGAS, D.; FERREIRA, W. Anatomy and micromorphometry of *Caryocar brasiliense* leaves. *Rodriguésia*, v. 66, p. 87–94, 2015.
- RABBI, BARKAT; CHEN, ZHONG-HUA; SETHUVENKATRAMAN, SUBBU. Protected cropping in warm climates: A review of humidity control and cooling methods. *Energies*, v. 12, n. 14, p. 2737, 2019.
- ROBONEN, E.; et al. Morphometric criteria for assessing the containerized conifers seedlings quality. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*, n. 5, p. 42–57, 2023.
- RONGA, D.; VITTI, A.; ZACCARDELLI, M.; PANE, C.; CARADONIA, F.; CARDARELLI, M.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Root zone management for improving seedling quality of organically produced horticultural crops. *Agronomy*, v. 11, 2021.
- ROWLAND, L.; RAMIREZ-VALIENTE, JOSE; HARTLEY, Iain; MENCUCCINI, MAURIZIO. How woody plants adjust above- and below-ground traits in response to sustained drought. *New Phytologist*, v. 239, 2023.
- ROZENDAAL, D. M. A.; HURTADO, V. H.; POORTER, L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light: relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology*, v. 20, p. 207–216, 2006.
- SANTOS, K. D. G.; DE MELO FERREIRA, W.; SILVA, K. L. F.; et al. Germination and initial development of *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) in two “Cerrado” areas: a step toward its use in reforestation programs. *Brazilian Journal of Botany*, v. 41, p. 415–424, 2018.
- SCALON, S. de P. Q.; KODAMA, F. M.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, L. Q. Gas exchange in *Caryocar brasiliense* Cambess seedlings in water deficit conditions. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 2, 2020.
- SILK, W. K.; WAGNER, K. K. Growth-sustaining water potential distributions in the primary corn root: a noncompartmented continuum model. *Plant Physiology*, v. 66, n. 5, p. 859–863, 1980.

- SILVA, R. R.; OLIVEIRA, D. R.; ROCHA, G. P. da; VIEIRA, D. L. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. *Restoration Ecology*, v. 23, p. 393–401, 2015.
- SALAZAR, A.; GOLDSTEIN, G. Effects of fire on seedling diversity and plant reproduction (sexual vs. vegetative) in neotropical savannas differing in tree density. *Biotropica*, v. 46, p. 139–147, 2014.
- SOUSA, A. M. S.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; SANTIAGO, T. A.; LACERDA, V. R.; MARTINS, C. P. S. Germination and storage of *Caryocar brasiliense* seeds. *Seed Science and Technology*, v. 45, p. 1–13, 2017.
- SOUZA, J. N.; AGOSTINHO, C. O.; RIBEIRO, L. M.; AZEVEDO, A. M.; LOPES, P. S. N. Edaphic and climatic control of macaúba palm seed bank dynamics. *Industrial Crops and Products*, v. 141, 2019.
- SULLIVAN, M. J. P. et al. Long term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science*, v. 368, n. 6493, p. 869–874, 2020.
- SUKHBAATAR, G.; GANBAATAR, B.; JAMSRAN, T.; et al. Assessment of early survival and growth of planted Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings under extreme continental climate conditions of northern Mongolia. *Journal of Forestry Research*, v. 31, p. 13–26, 2019.
- VALADÃO, M.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MORANDI, P.; REIS, S.; DE OLIVEIRA, B.; ALMEIDA DE OLIVEIRA, E.; MARIMON, B. Initial development and biomass partitioning of *Physocalymma scaberrimum* Pohl. (Lythraceae) under different shading levels. *Scientia Forestalis*, v. 42, 2014.
- WAN, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, M.; HONG, A.; YANG, H.; LIU, Y. Shade effects on growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of three *Paeonia* species. *PeerJ*, v. 8, e9316, 2020.
- WATANABE, H.; KUSAGAYA, Y.; SAIGUSA, M. Environmental factors affecting germination of apple of Peru. *Weed Biology and Management*, v. 2, n. 2, p. 152–156, 2002.
- WEI, Y.; WANG, S.; YU, D. The role of light quality in regulating early seedling development. *Plants*, v. 12, n. 2746, 2023.
- YOKAWA, K.; KAGENISHI, T.; KAWANO, T.; MANCUSO, S.; BALUŠKA, F. Illumination of *Arabidopsis* roots induces immediate burst of ROS production. *Plant Signaling & Behavior*, v. 6, n. 10, p. 1460–1464, 2011.
- YU, W.; LIU, Y.; SONG, L.; JACOBS, D.; DU, X.; YING, Y.; SHAO, Q.; WU, J. Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 36, p. 148–160, 2017.

ZHAO, D.; HAO, Z.; TAO, J. Effects of shade on plant growth and flower quality in the herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 61, p. 187–196, 2012.

ZHOU, C.; WU, S.; LI, C.; QUAN, W.; WANG, A. Response mechanisms of woody plants to high-temperature stress. *Plants*, v. 12, n. 20, p. 3643, 2023.

ARTIGO 2

Atributos das mudas e uso da irrigação na sobrevivência e desenvolvimento de plantas de *Caryocar brasiliense* no campo

RESUMO

Caryocar brasiliense, o pequi, é uma fruta nativa do Cerrado e possui grande valor econômico e social. O cultivo dessa espécie apresenta alguns desafios, principalmente, em relação à fase de sobrevivência e desenvolvimento das mudas no campo. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar tipos de mudas de *C. brasiliense* e uso da irrigação na sua sobrevivência e crescimento no campo. O experimento foi montado em delineamento de blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com irrigação e sequeiro na parcela e três ambientes de produção de mudas (estufa, pleno sol e telado) na subparcela, quatro blocos e nove mudas por unidade experimental. As mudas foram avaliadas aos seis, 12 e 24 meses para características de sobrevivência, morfológicas e fisiológicas. As mudas de pleno sol tiveram maior crescimento em altura, diâmetro e produção de folhas, ao longo de dois anos pós-plantio, do que aquelas produzidas em ambiente protegido. O uso da irrigação favorece em mais de 80% a sobrevivência das plantas no campo, no primeiro ano pós-plantio. O local de produção da muda interfere nos seus atributos, conseqüentemente, no seu desempenho no campo.

Palavras-Chave: Qualidade de mudas; pleno sol, estufa, telado, irrigado, sequeiro.

ARTICLE 2

Seedling attributes and use of irrigation on the survival and development of *Caryocar brasiliense* plants in the field

ABSTRACT

Caryocar brasiliense, the pequi, is a fruit native to the Cerrado and has great economic and social value. Cultivating this species presents some challenges, mainly regarding the survival and development phase of seedlings in the field. Therefore, the objective of the study was to evaluate the types of *C. brasiliense* seedlings and the use of irrigation in their survival and growth in the field. The experiment was set up in a randomized block design, in split plots, with irrigation and dryland in the plot and three seedling production environments (greenhouse, full sun, and screened) in the subplot, four blocks and nine seedlings per experimental unit. The seedlings were evaluated at six, 12, and 24 months for survival, morphological, and physiological characteristics. Seedlings grown in full sun showed greater growth in height, diameter, and leaf production over two years post-planting than those grown in a protected environment. The use of irrigation favors plant survival in the field by more than 80% in the first year post-planting. The seedling production location affects its attributes and, consequently, its performance in the field.

Keywords: Seedling quality; full sun, greenhouse, shade house, irrigated, rainfed.

1. INTRODUÇÃO

Os locais de produção de mudas apresentam diferentes condições abióticas, como temperatura, umidade relativa, radiação, entre outras, as quais, interferem diretamente nas características morfoanatômicas e fisiológicas das plantas, alterando seu desenvolvimento no viveiro (Monteiro Neto et al., 2022; Huber et al., 2021). Quando as mudas estão prontas para o plantio, essas características são denominadas atributos e estes são capazes de prever o desempenho das plantas no campo (Gallegos-Cedillo, et al. 2021). Altura, diâmetro do colo e biomassa da parte aérea e radicular são exemplos de atributos morfológicos da qualidade das mudas, bem como, as relações entre a parte aérea e o sistema radicular e o índice de qualidade de Dickson – IQD (Guimarães, et al. 2024; Gallegos-Cedillo, et al. 2021).

Atualmente, têm sido bastante utilizados os atributos associados ao sistema radicular, tamanho ou massa das raízes, relação raiz e parte aérea e IQD, uma vez que, mudas de qualidade apresentam boa capacidade de crescimento radicular, fator importante para o sucesso do estabelecimento das plantas no campo (Grossnickle e Ivetić, 2021). Ademais, como têm sido detectados em diversos estudos, esses atributos podem ser positivamente influenciados pelo ambiente de produção da muda (Gallegos-Cedillo, et al. 2021; Grossnickle e Ivetić, 202; Toca et al., 2022). No viveiro, de forma geral, a disponibilidade de nutrientes, a radiação plena, o estresse hídrico e a temperatura mais elevada promovem o crescimento radicular e uma relação mais equilibrada com a parte aérea (Grossnickle e Ivetić, 202; Toca et al., 2022), aumentando, dessa forma, a capacidade de absorção de água e nutrientes e resistência às condições consideradas estressantes pós-plantio no campo (Robonen et al., 2023).

Assim como os atributos morfológicos, os anatômicos e fisiológicos são passíveis de favorecer a sobrevivência e o crescimento das mudas em ambientes estressantes, como alta radiação solar, seca ou fogo. Mudas de *Astronium fraxinifolium* desenvolvem, desde cedo, estruturas anatômicas como vasos condutores amplos, tecidos de reserva de amido no caule e raízes e canais secretores com compostos fenólicos, que lhes conferem resistência à seca e à herbivoria — estratégias adaptativas que favorecem seu estabelecimento em áreas degradadas do Cerrado (Leite et al., 2021). Em outra espécie desse bioma, *Mauritia flexuosa*, associada a áreas úmidas (veredas), o acúmulo de ABA, controle estomático e a modulação de genes de aquaporinas permitem sua sobrevivência

em ambientes mais secos (Almeida et al., 2024). Ainda em ambientes savânicos, as espécies *Byrsonima coccolobifolia* e *Curatella americana* combinam casca espessa e estruturas subterrâneas de reserva (xilopódios), o que lhes garante alta capacidade de rebrota após o fogo (Chiminazzo et al., 2023). Essas estratégias convergentes permitem que plantas deste bioma maximizem a captação de recursos e minimizem perdas, assegurando desempenho superior após o plantio e maior resiliência ecológica.

As condições de cultivo no campo, de forma especial a disponibilidade hídrica, são determinantes para o sucesso das mudas lenhosas do Cerrado após o plantio (Scalon et al., 2020). Neste cenário, a irrigação tem se mostrado uma ferramenta eficaz para aumentar a sobrevivência, o desempenho fisiológico e o crescimento das mudas nesse bioma, que é marcado por solos pobres e estações secas prolongadas, como constado para *M. flexuosa* (Almeida et al., 2024) e *C. brasiliense* (Mota et al., 2025). Em outras áreas áridas, sabe-se que para mais de 100 espécies a irrigação tem promovido ganhos expressivos em biomassa, eficiência fotossintética e desenvolvimento radicular (Belozarov et al., 2024). Dessa forma, práticas de irrigação bem planejadas, em complementariedade ou durante determinado período, podem ser decisivas em projetos de plantio comercial ou de restauração florestal no bioma Cerrado.

O pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) é uma planta nativa frutífera do Cerrado brasileiro que comporta grande importância ecológica e econômica. O cultivo e a conservação do *C. brasiliense* são práticas essenciais para a manutenção da biodiversidade, sustentabilidade dos ecossistemas locais e geração de renda e empregos (Demolin-Leite et al., 2024; Geöcze et al., 2021; Ferreira et al., 2019). A implantação de projetos comerciais e de revegetação ambiental demandam mudas de alta qualidade, com sobrevivência e crescimento elevados no campo (Kijowska-Oberc et al., 2021; MMA, 2017). Entretanto, ainda é restrito, para a *C. brasiliense*, as informações sobre a qualidade da muda e seu comportamento nas condições de campo, o que limita a implantação desses projetos. Dessa forma, o uso de mudas de qualidade, associado a práticas de manejo adequadas no campo, torna possível maximizar o crescimento e a produção do *C. brasiliense* em plantios, beneficiando tanto a conservação ambiental quanto a economia local (Guimarães et al., 2019a; 2024b).

O presente estudo visa avaliar, no campo, o comportamento de mudas de *C. brasiliense* produzidas em três ambientes no viveiro e irrigadas e de sequeiro. Procurou-se responder às seguintes perguntas: (i) Mudas produzidas em diferentes condições no viveiro

apresentam atributos que influenciam sua sobrevivência e desenvolvimento no campo? (ii) Como a condição de sequeiro e irrigada interfere no desempenho das mudas cultivadas no campo?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Origem do material vegetal

As mudas de *C. brasiliense*, utilizadas no estudo, foram produzidas durante nove meses no setor de Fruticultura do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), situado na cidade de Montes Claros-MG (16°68'20"S; 43°83'96"W), Brasil. Utilizou-se três ambientes, estufa, pleno sol e telado, para obtenção das mudas. A estufa possui suas laterais com tela branca antiafídeos e cobertura polipropileno transparente de 150 µm e tela de sombreamento de 70%, enquanto o telado é revestido com tela preta de 50% de sombreamento. Isso determinou que a intensidade de radiação fosse maior no pleno sol, seguido do telado, e, depois estufa, o que, conseqüentemente alterou a temperatura e umidade dos ambientes.

A alteração no microclima dos ambientes modificou os atributos das mudas, propiciando que a estufa e pleno sol apresentassem plantas com o maior crescimento. As mudas cultivadas a pleno sol tiveram quantidade superior de tricomas na epiderme e camadas do parênquima paliçádico e cutícula mais espessa do que aquelas cultivadas na estufa e telado. Também, plantas a pleno sol possuem maior eficiência no uso da água, enquanto as da estufa e telado contêm elevado de clorofilas. *C. brasiliense* apresentou grande plasticidade morfoanatômica em função dos ambientes de cultivo.

2.2 Local e monitoramento do experimento

O experimento foi instalado em local com solo típico do Cerrado, sem adubação, com as seguintes características físico e química na camada de 0 a 20 cm: solo de textura média (26 dag kg⁻¹ de argila), baixo teor de matéria orgânica (2,2 dag kg⁻¹), cálcio (1,3 cmolc dm⁻³) e magnésio (0,4 cmolc dm⁻³), alto teor de potássio (209,1 cmolc dm⁻³) e acidez média (5,8 de pH em água). A área fica localizada na zona rural do município de Bocaiúva-MG, na localidade denominada Morro Alto (16°57'06"S; 43°52'41"W), com altitude de 990 m.

Segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013) a região é caracterizada como tropical Aw, com estação seca bem definida, precipitação média anual de 1029 mm e temperatura média anual de 23° C.

As covas foram abertas com perfurador de solo (VULCAN-56402, modelo VPS520 52CC, Brasil), nas dimensões de 20 cm de diâmetro e 40 cm de profundidade. O plantio foi feito em seguida, em dia nublado e tomando-se todo o cuidado para que não houvesse danos ao sistema radicular da muda. Logo após o plantio, ocorreu precipitação e foi instalado sistema de gotejamento (4L/h de vazão dos gotejadores) para irrigar metade das mudas. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com o fator irrigação na parcela (2 – com e sem irrigação) e o local de produção das mudas (3 - estufa, pleno sol e telado) na subparcela, com quatro blocos e nove mudas por unidade experimental.

Após a instalação do experimento, com seis dias, para a caracterização das mudas utilizadas, foi realizada a avaliação biométrica para altura, diâmetro do colo e número de folíolos. A altura das plantas foi medida do colo até o seu ápice, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. O diâmetro do colo, medido ao nível do solo, por meio de paquímetro digital eletrônico, 0-150mm, 6"x0,01 mm, de aço inoxidável (Stainless Hardened, China). De forma direta, foram contados o número de folíolos totalmente abertos. A média da altura, diâmetro do caule e número de folíolos foi, respectivamente, de 27,81 cm, 7,0 mm e 10,88 para a estufa, 21,79 cm, 7,0 mm e 9,92 para pleno sol e 21,16 cm, 6,2 mm e 8,50 para telado.

Ao longo do experimento, foram registradas as precipitações com auxílio do pluviômetro e do banco de dados do INMET, estação 83437 (a mais próxima do local do experimento, cerca de 20 Km), obtendo-se as temperaturas e umidades máxima e mínima do mês, bem como a precipitação mensal. Pela base de dados do INMET, no período, a temperatura máxima atingiu próximo dos 42 °C (mês de setembro/2023), enquanto a mínima de 10 °C (mês de julho/2023 e 2024). Já a umidade relativa variou entre 99% e 18% (Figuras 1A-D). Quanto à precipitação, houve menor quantidade total de chuvas no primeiro ano no local do experimento (780 mm) em relação a estação do INMET (901 mm), porém, no segundo ano foi o inverso, local do experimento (1256 mm) e estação do INMET (1.184 mm). Entretanto, em ambos os locais as chuvas se concentraram entre os meses de outubro e fevereiro, com precipitação quase nula entre abril e setembro (Figuras 1C-F).

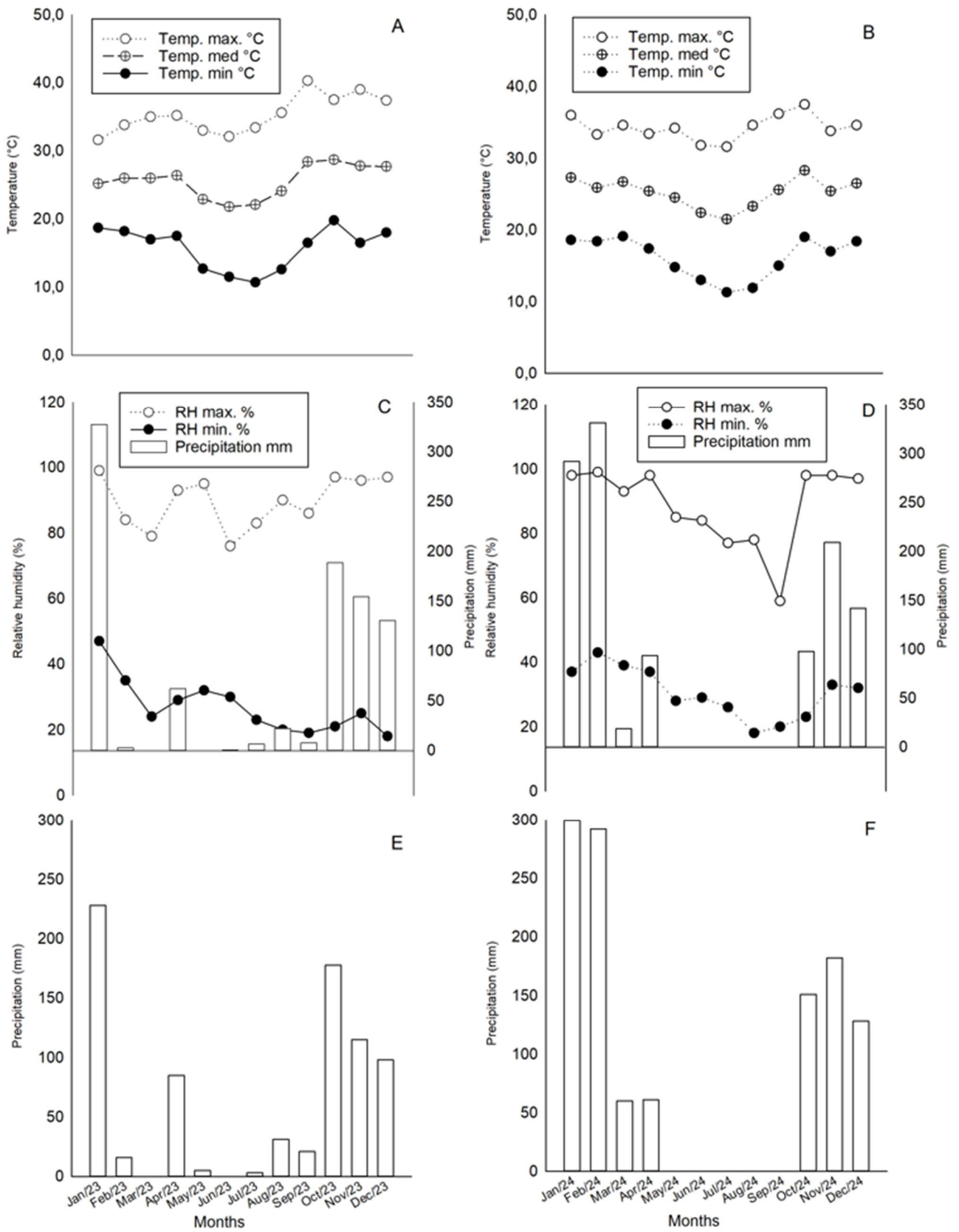


Figura 1. Temperaturas (A, B), umidades relativas e precipitação (C, D) da base de dados do INMET e precipitação (E, F) do local do experimento ao longo do tempo de cultivo das plantas de *Caryocar brasiliense*.

A umidade do solo foi monitorada por meio de sensor TDR (reflectometria no domínio do tempo) de alta precisão instalado na área do experimento. Durante todo o período, para os tratamentos com irrigação, manteve-se condição de água facilmente disponível no solo às plantas, por meio do monitoramento com o TDR e das condições climáticas diárias. Isso permitiu o ajuste frequente do turno de rega e do volume de água aplicado, obtendo-se uma lâmina de água diária média de 7 mm ao longo do experimento. Também, foram realizadas inspeções periódicas quanto ao funcionamento da irrigação, sanidade e à necessidade de tratamentos culturais (capinas, tutoramento e aplicação de defensivos agrícolas) nas mudas de *C. brasiliense*.

2.3 Condução do experimento e características avaliadas

Ao longo do experimento, aos seis (junho/23), um ano (dezembro/23) e dois anos pós-plantio (dezembro/24), foram avaliados a sobrevivência das mudas, a mortalidade entre o primeiro e segundo ano pós-plantio, os atributos morfológicos e fisiológicos das plantas oriundas de cada ambiente. A porcentagem de sobrevivência foi determinada pela avaliação visual do número de plantas vivas dividido pelo número de mudas da parcela e multiplicado por 100. A porcentagem de mortalidade foi determinada com a subtração do número de plantas vivas do final do ano 1 pelas plantas vivas do final do ano 2 dividido pelo número de mudas da parcela e multiplicado por 100. A altura das plantas, o diâmetro do colo e o número de folíolos por planta foram determinados conforme descrito acima. O número de nós com folhas no caule foi contado diretamente, independente se o nó possuía folhas, com um, dois ou três folíolos. A porcentagem de plantas com folhas completas foi obtida pela contagem de plantas que apresentavam pelo menos uma folha com três folíolos dividido pelo número mudas da repetição e multiplicado por 100. A área foliar foi estimada a partir da equação geral $Af_m = 2,2842 ** SC + 6,9754 **$, $R = 0.81$, onde “SC” é o somatório dos comprimentos dos folíolos. Nas duas últimas folhas plenamente abertas, o comprimento da nervura central de cada folíolo foi mensurado, desde o ponto de inserção do pecíolo no limbo até o ápice da folha, com o auxílio de régua milimetrada. O índice de robustez foi medido pela fórmula $IR = \text{Altura (cm)} / \text{Diâmetro do caule (mm)}$ (Carneiro, 1995).

Para os atributos fisiológicos, foram feitas avaliações pela manhã, a partir das 8h até às 11h, em cada época de avaliação do experimento. Foram avaliadas, amostras de folíolos da última folha plenamente aberta, em quatro plantas de cada parcela e em triplicata para cada leitura. O “Analisador de Gás Infravermelho (IRGA)” (modelo ADC LCpro-SD, Hoddesdon, Inglaterra) foi utilizado para determinação da condutância estomática (g_s , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a transpiração (E , $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e taxa fotossintética foliar (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), utilizando fonte de luz artificial, simulando radiação fotossinteticamente ativa equivalente a $1.200 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$, além do carbono interno (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que foi determinado somente aos dois anos pós-plantio. A eficiência do uso da água ($EUA - A/E$, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para folha foi obtida pela relação da taxa de assimilação de carbono pela taxa de transpiração. A taxa de transporte de elétrons – ETR ($\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência quântica do PSII – Y foram determinados com a utilização do aparelho “Fluorômetro Modular Portátil”, na versão “claro” e “escuro” (Opti-Sciences - Y(II) meter or

Plant Stress Kit, USA). A clorofila “a”, “b” e a total foram determinadas com a utilização do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG”, modelo CFL1030, Brasil), utilizando as mesmas folhas e condições das avaliações das trocas gasosas.

2.4 Análise estatística

Em cada época de avaliação, os dados foram submetidos à ANOVA e as médias quando significativas comparadas pelo teste TUKEY a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R, versão 4.3.0.

3. RESULTADOS

3.1 Desempenho das mudas aos seis meses pós-plantio

Somente as características morfológicas, aos seis meses, foram alteradas pelo local de produção das mudas e pelo uso da irrigação, a exceção da área foliar ($50,48 \pm 2,07 \text{ cm}^2$). As mudas oriundas da estufa apresentaram maior altura inicial, índice de robustez e diâmetro (Figura 2A-B, 2F), porém esta última característica foi semelhante a condição de pleno sol e superior ao telado. O ambiente pleno sol apresentou plantas com desempenho superior para o número de nós com folhas, número de folíolos e plantas com folhas completas (Figuras 2C-E). O uso da irrigação proporcionou maior diâmetro do caule, número de nós com folhas e folíolos por planta (Figura 3A-C). Já a sobrevivência ($86,11 \pm 1,96 \%$) e as características fisiológicas não foram influenciadas pelos tratamentos, apresentando, em média, para fotossíntese $2,22 \pm 0,21 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, condutância estomática $0,02 \pm 0,002 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, transpiração $0,58 \pm 0,06 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, eficiência do uso da água $5,21 \pm 0,66 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mmol} \cdot \text{H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, taxa de transporte de elétrons $48,93 \pm 3,18 \text{ mmol electrons m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, eficiência quântica do fotossistema II $0,46 \pm 0,01$, clorofila a $30,07 \pm 1,09$, b $12,07 \pm 0,60$, total $42,14 \pm 1,66$ e relação a:b $2,55 \pm 0,05$.

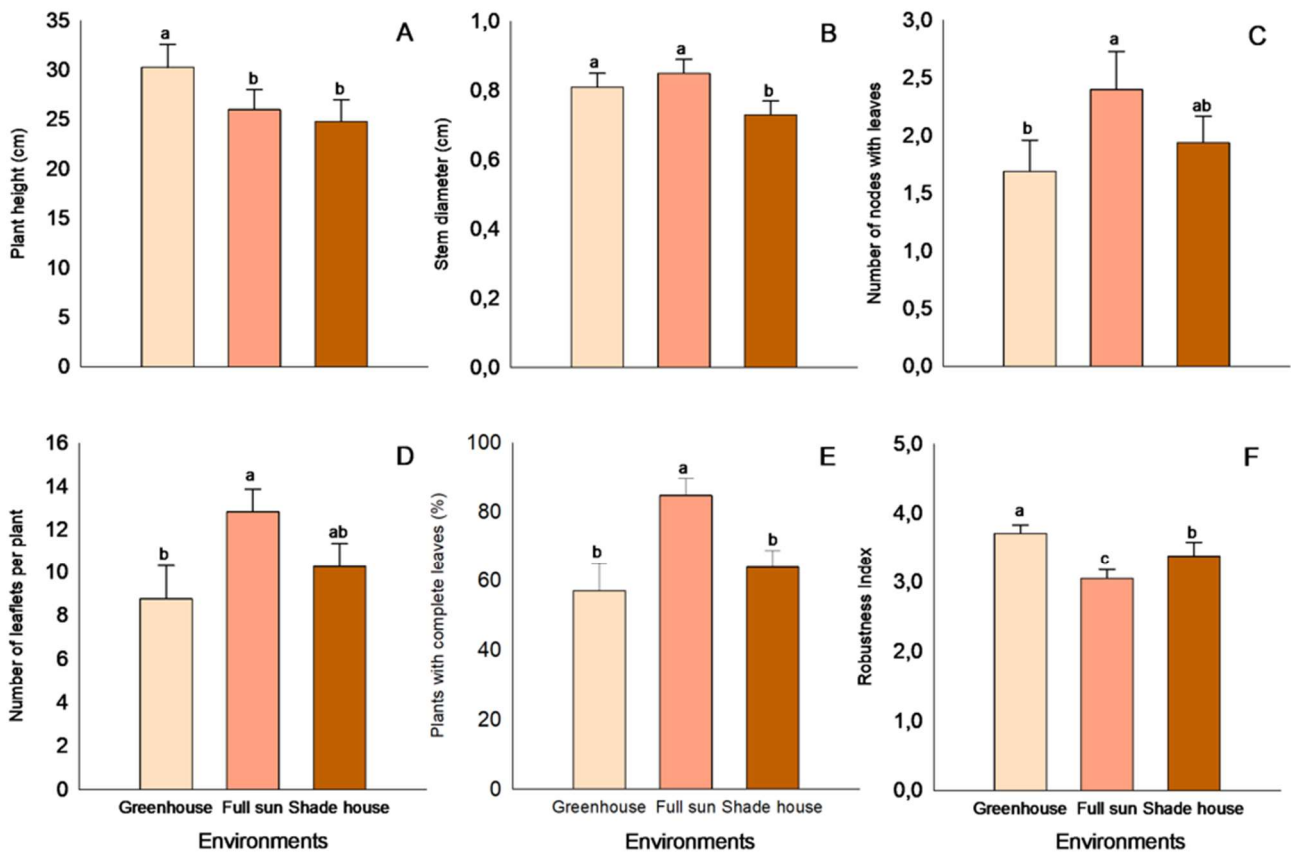


Figura 2. Altura da planta (A), Diâmetro do colo (B), número de nós com folhas (C), número de folíolos por planta (D), número de plantas com folhas completas (E) e índice de robustez (F) de *Caryocar brasiliense* avaliadas no mês de junho. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 8).

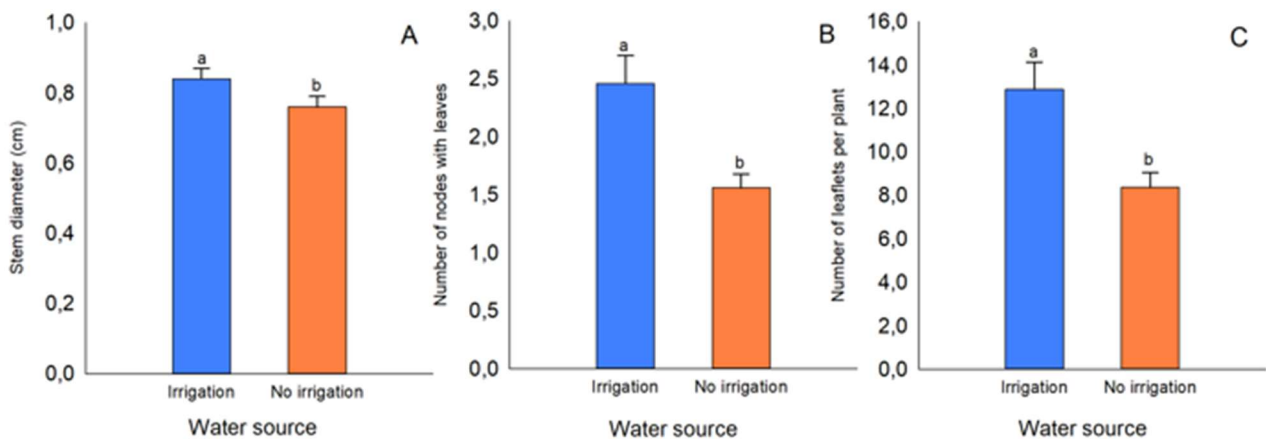


Figura 3. Diâmetro do caule (A), número de nós com folhas (B) e número de folíolos por planta (C) de *Caryocar brasiliense* avaliadas no mês de junho. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 12).

3.2 Desempenho das mudas um ano pós-plantio

Somente as características altura de plantas, diâmetro do caule, área foliar foram alteradas pela origem da muda e a taxa de sobrevivência de plantas pelo uso da irrigação. O ambiente pleno sol ocasionou comportamento superior das plantas para esses atributos, enquanto a estufa intermediário e o telado inferior (Figuras 4A-C). O uso da irrigação garantiu maior sobrevivência de planta vivas após o primeiro período de estiagem (Figura 5). Em média, verificou-se o número de nós com folhas de $3,02 \pm 0,19$, número de folíolos por planta de $16,54 \pm 1,06$, percentual de plantas com folhas completas $63,47 \pm 4,57\%$, índice de robustez de $4,07 \pm 0,04$, fotossíntese de $2,21 \pm 0,22 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, condutância estomática de $0,03 \pm 0,004 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, transpiração de $0,85 \pm 0,06 \mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, eficiência do uso da água de $3,85 \pm 0,61 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mmol} \cdot \text{H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, taxa de transporte de elétrons $42,10 \pm 1,78 \text{ mmol electrons m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, eficiência quântica do fotossistema II de $0,30 \pm 0,01$, clorofila a de $24,48 \pm 0,21$, b de $8,67 \pm 0,1$, total de $33,15 \pm 0,32$ e relação a e b de $2,86 \pm 0,01$.

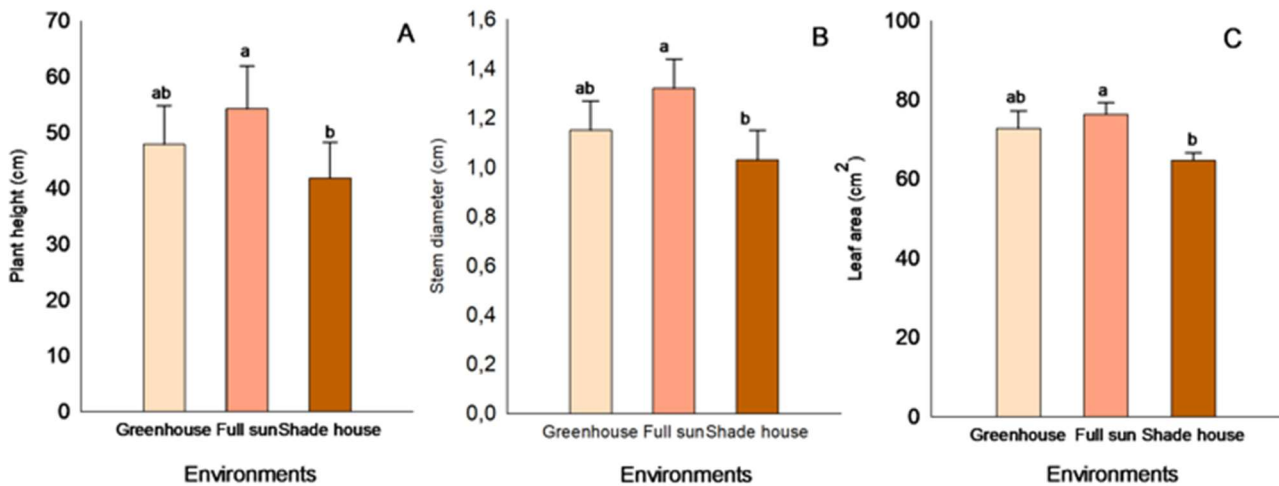


Figura 4. Altura da planta (A), diâmetro do caule (B) e área foliar amostrada (C) de *Caryocar brasiliense* avaliadas no mês de dezembro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 8).

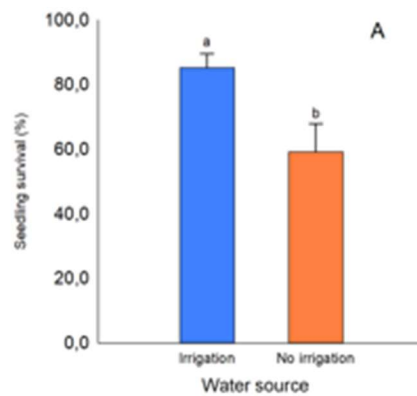


Figura 5. Taxa de sobrevivência (A) das plantas de *C. brasiliense* avaliadas no mês de dezembro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 12).

3.3 Desempenho das mudas dois anos pós-plantio

A altura de plantas, diâmetro do caule e número de folíolos por planta foram alterados somente pelo ambiente de origem da muda, enquanto apenas a concentração de carbono interno, condutância estomática e transpiração pelo uso da irrigação. As mudas do ambiente pleno sol obtiveram a maior altura, diâmetro do caule e número de folíolos por planta (Figura 6A-C), enquanto a irrigação trocas gasosas superiores (Figura 7A-C). A sobrevivência ($54,18 \pm 5,46$), mortalidade entre o primeiro e segundo ano pós-plantio ($18,06 \pm 2,17$), número de plantas com folhas completas ($47,76 \pm 4,42$), índice de robustez ($4,07 \pm 0,04$), fotossíntese ($2,91 \pm 0,10 \mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática ($0,10 \pm 0,01 \mu\text{mol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), transpiração ($1,90 \pm 0,08 \mu\text{mol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água ($1,65 \pm 0,03 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{mmol}.\text{H}_2\text{O} \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), clorofila a ($41,92 \pm 0,47$), b ($15,94 \pm 0,31$), total ($57,86 \pm 0,66$), relação clorofila a:b ($2,69 \pm 0,05$), não apresentaram efeito dos tratamentos.

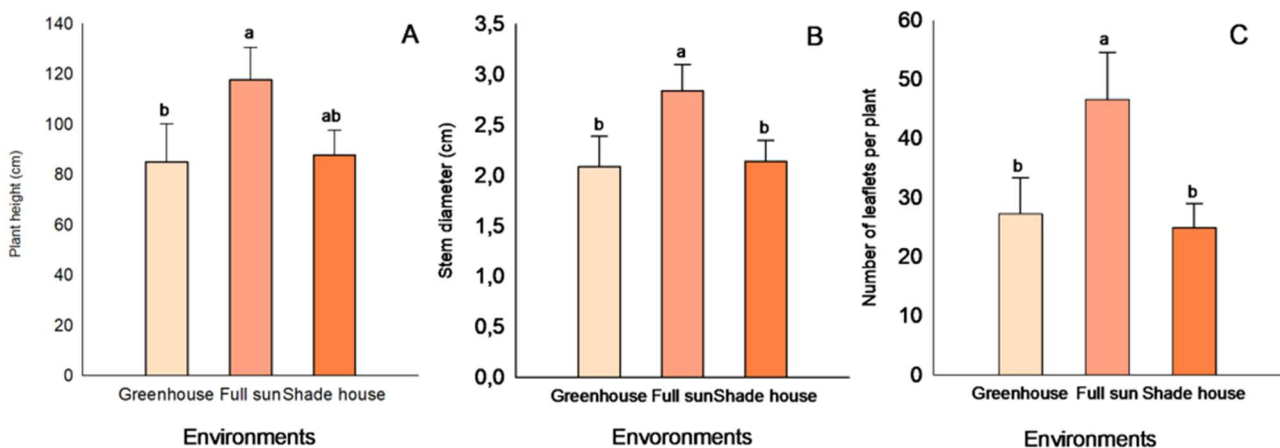


Figura 6. Altura da planta (A), diâmetro do colo (B) e número de folíolos por planta (C) de *Caryocar brasiliense* avaliadas aos 24 meses. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 8).

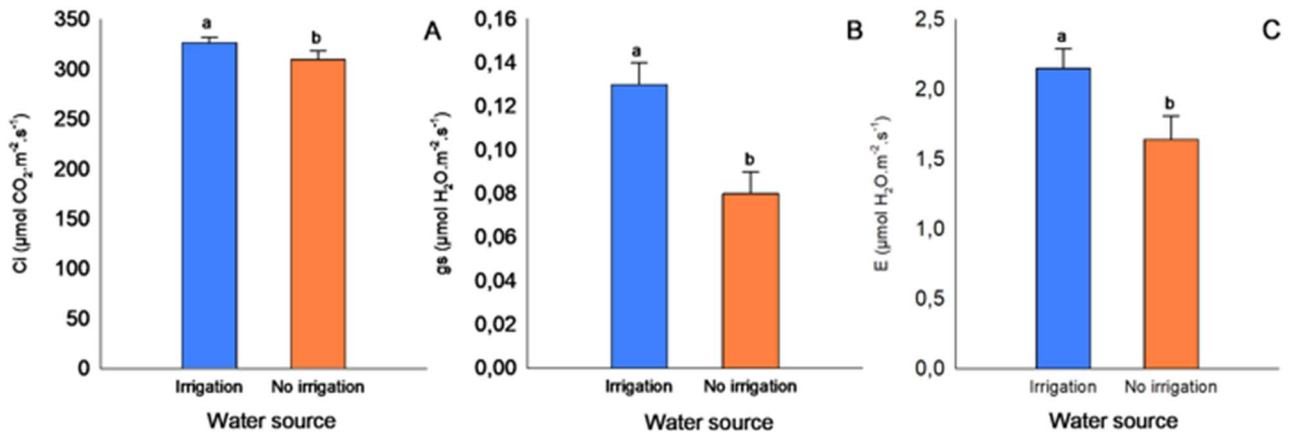


Figura 7. Carbono interno (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) de *Caryocar brasiliense* avaliadas aos 24 meses. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão (n = 12).

4. DISCUSSÃO

4.1 Condições ambientais para produção de mudas e o desempenho destas no campo ao longo do tempo

O cultivo de mudas na estufa determina maior comprimento, largura e robustez das plantas no campo, após seis meses de plantio. As mudas oriundas do ambiente estufa tem comportamento no campo superior para altura, diâmetro e da relação altura/diâmetro do caule, apesar do diâmetro não diferir do tratamento a pleno sol (Figuras 2A-B, F). Condições mais sombreadas para produção de mudas, de menor estresse abiótico, como a estufa utilizada no estudo, geram plantas estioladas com maior comprimento do caule, como constatado em outros estudos (Mendonça et al., 2020). Dessa forma, a altura inicial da muda, apesar de ter transcorrido seis meses do plantio, pode ter contribuído de forma significativa para o melhor comportamento dessa característica. O diâmetro, mesmo que menor ou igual na condição sombreado em relação ao pleno sol (Mendonça et al., 2020), numa situação de estresse, como após o plantio na área de Cerrado, a muda promove intensamente o crescimento secundário, com a formação de súber (periderme) para proteger contra a perda excessiva de água e funcionar como isolante térmico (Milanez et al., 2021). O índice de robustez foi maior nas mudas oriundas da estufa, em função da altura das plantas ser mais elevada neste ambiente.

O pleno sol ocasionou mudas, após seis meses de plantio, com elevada quantidade de folhas, e, completas. Esse ambiente proporciona maior número de nós com folhas, folíolos por planta e plantas com folhas completas (Figuras 2C-E). Condição a pleno sol para produção de mudas, de maior radiação e estresse abiótico, geram plantas com inferior número de folhas, menores e todos os folíolos desenvolvidos, como constatado em diversos estudos (Freitas et al., 2022; Mendonça et al., 2020; Santos et al., 2020). Mudas rustificadas ou mais aclimatadas ao ambiente de plantio, como as cultivadas a pleno sol, tem apresentado melhor desempenho pós-plantio, como verificado para diversas espécies lenhosas do Cerrado logo após o plantio (Lima et al., 2022; Mendonça et al., 2020). Isso é resultado de que as plantas aclimatadas sofrem menos com estresse pós-plantio, retomando seu crescimento e a produção de folhas mais rápido do que aquelas cultivadas em ambientes protegidos, onde os fatores abióticos estão na faixa ótima para o crescimento das mudas (Gallegos-Cedillo, et al. 2021; Grossnickle e Ivetić, 2021; Toca et al., 2022). Vários atributos morfoanatômicos e fisiológicos contribuem para o melhor desempenho inicial de mudas rustificadas em campo, incluindo maior desenvolvimento radicular e

arquitetura de raízes favorável (Toca et al., 2022), crescimento inicial equilibrado entre parte aérea e raiz (Leite et al., 2021) e estruturas anatômicas protetoras, como súber espesso e tecidos de reserva, típicas de espécies lenhosas do Cerrado (Chiminazzo et al., 2023). Portanto, mudas de *C. brasiliense* cultivadas a pleno sol tem maior capacidade de produção de folhas, logo após o plantio, do que aquelas cultivadas em ambiente protegido.

Após a estação seca e no meio da chuvosa (um ano pós-plantio), mudas oriundas do pleno sol possuem maior crescimento da parte aérea. Mudas, cultivadas nesse ambiente, apresentam, após o plantio, altura, diâmetro e área foliar superiores (Figura 4A-C). Alguns estudos com espécies lenhosas crescem mais no campo, quando submetidas a condições de elevada radiação (rustificação ou aclimatação) no viveiro (Ronquim et al., 2018; Grossnickle e Ivetić, 2021; Toca et al., 2022), como as do pleno sol. Essas condições geram atributos nas mudas, como já relatado, que conferem desempenho superior pós-plantio. Além disso, como neste trabalho, houve maior produção foliar nos primeiros seis meses pós-plantio, o que sugere maior fotossíntese e acúmulo de reservas no hipocótilo (Mota et al., 2025; Ayres et al., 2025) e, por consequência, crescimento superior da parte aérea após o início das chuvas, em outubro (Figura 1). Nesse sentido, mudas de *C. brasiliense* aclimatadas nas condições de campo possuem potencial elevado da parte aérea após um ano do plantio.

As mudas produzidas em pleno sol, mesmo com dois anos pós-plantio, apresentam melhor desenvolvimento em campo. As plantas procedentes dessa condição apresentam maior altura, diâmetro do caule e número de folíolos por planta. Além disso, aumenta os valores das diferenças, ao longo do tempo, do tratamento pleno sol em relação aos demais, principalmente para altura e diâmetro (Figura 6A-C). Mudas de espécies nativas do Cerrado, ao longo do tempo pós-plantio, possuem comportamento vegetativo superior no campo, em função dos atributos obtidos após a condição de estresse, como o cultivo a pleno sol ou a processos rustificação e aclimatação (Ronquim et al., 2018; Santos et al., 2018; Melo et al., 2018; Puértolas et al., 2024; Saiki et al., 2020). Portanto, o processo de submissão da muda a elevada radiação e ao maior estresse ambiental, com elevadas variações nos fatores ambientais, é o que permite o maior crescimento da planta de *C. brasiliense* após dois anos do plantio.

4.2 Uso da irrigação no desempenho de mudas no campo ao longo do tempo

O uso da irrigação, até seis meses de plantio, não influencia a sobrevivência das plantas, porém promove o crescimento em largura e a produção foliar nas mudas de *C. brasiliense*. A condição irrigada aumenta o diâmetro, o número de nós com folhas e o número de folíolos por planta (Figuras 3A-C). Também, em *C. brasiliense* só foi constatado o efeito da irrigação sobre a parte aérea, nos seis primeiros meses do ano (até julho), para o diâmetro e número de folhas (Mota et al., 2025). Nesses primeiros seis meses, na área do experimento, em pelo menos quatro meses houve precipitação e temperatura média igual ou superior a 25 °C, o que favorece, em geral, a sobrevivência e o crescimento de mudas (Badji et al., 2022), inclusive de *C. brasiliense* (Mota et al., 2025; Ayres et al., 2025). Dessa forma, a disponibilidade hídrica, aliado a outros fatores abióticos, justificam a ausência do efeito da irrigação sobre a sobrevivência e a maioria das características morfológicas. Por outro lado, a avaliação feita aos seis meses, coincide o período de estiagem e de baixa temperatura no local do experimento (Figura 1). Nessa época, as mudas de *C. brasiliense* reduzem o seu crescimento e começam a deiscência de folhas, sendo que a irrigação poderia retardar estes processos, como verificado na espécie (Mota et al., 2025).

Após atravessar o período de estiagem, um ano pós-plantio, a irrigação propicia maior sobrevivência das mudas (Figura 5). O período de seca, compreende maio até meados de outubro, quando as chuvas se iniciam. Entretanto, a seca associada a altas temperaturas, entre os meses de agosto e meados de outubro, potencializa ainda mais seus efeitos (Figura 1). As mudas de *C. brasiliense* apresentam algumas estratégias para tolerar o déficit hídrico, como sistema radicular profundo, presença de estrutura de reserva (hipocótilo), folha escleromorfa, deiscência de folhas e morte da parte aérea (Mota et al., 2025; Ayres et al., 2025; Sousa et al. 2017), porém, ainda assim, não são suficientes para enfrentar a mortalidade durante a seca mais severa, entre agosto e outubro (Mota et al., 2025). Dessa forma, o uso da irrigação no primeiro ano pós-plantio é uma prática importante para manter a sobrevivência de mudas de *C. brasiliense*.

No segundo ano pós-plantio, a sobrevivência de mudas de *C. brasiliense* não é influenciada pela irrigação. Somente o carbono interno, condutância estomática e transpiração são alterados positivamente pela suplementação de água (Figuras 7A-C). No segundo ano, as estratégias de tolerância a seca das mudas de *C. brasiliense* são eficientes na condição climática do local do experimento. Entretanto, em situações de seca mais

severa, é possível que mortalidade de mudas no segundo ano seja significativa e necessite do uso da irrigação, como observado para outras espécies lenhosas de clima sazonal (Alves et al., 2020; Prestes et al., 2024). Algumas características fisiológicas de trocas gasosas sofreram interferência pelo uso da água suplementar, diferente das outras épocas. Essa avaliação depende muito das condições edafoclimáticas momentâneas, ou seja, apesar de ser em mês chuvoso (dezembro), na época da avaliação houve vários dias consecutivos sem chuva (veranico), por isto o efeito da irrigação. Portanto, esse efeito é explicado pelo fornecimento adequado de água que promove o alongamento celular, o acúmulo de biomassa e o pleno funcionamento estomático, favorecendo taxas fotossintéticas elevadas (Yaebiyo et al., 2023). Desse modo, podemos concluir, nas condições de precipitação do local do experimento, que é dispensável o uso da irrigação para mudas de *C. brasiliense* no segundo ano pós-plantio.

Os dados permitem inferir que o ambiente de produção da muda interfere em sua qualidade (atributos) e desempenho no campo. Isso reforça, ainda mais, a importância da definição de quais atributos são de maior importância como preditores para comportamento da muda pós-plantio. Além disso, aprofundar em estudos que investiguem a interação entre diferentes níveis de estresses abióticos (rustificação) e estratégias de manejo hídrico. Portanto, as informações sobre qualidade de mudas e irrigação contribuem para ajustar protocolos de produção no viveiro e manejo da espécie no campo, o que subsidia de forma a domesticação do *C. brasiliense*.

5. CONCLUSÕES

As mudas de *C. brasiliense* produzidas a pleno sol, inicialmente, proporcionam maior crescimento do diâmetro e produção de folhas. Além desses, a partir do primeiro ano até o segundo, as mudas crescem mais em altura do que mudas oriundas de ambiente protegido. As mudas a pleno sol possuem atributos, como sistema radicular mais desenvolvido que a parte aérea, folha escleromorfa, caule suberoso e maior acúmulo de reservas, que toleram mais o estresse pós-plantio e asseguram melhor desenvolvimento no campo.

O uso da irrigação aumenta a sobrevivência das mudas de *C. brasiliense* no primeiro ano, mas não interfere no segundo. O crescimento em diâmetro e a produção de folhas é maior nos primeiros seis meses com o uso da irrigação.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Da Silva T.; RIBEIRO, L.; DE PAULA SANTOS MARTINS, C.; BARBOSA, T.; MERCADANTE-SIMÕES, M.; DE OLIVEIRA VIEIRA, E.; NUNES, Y.; LOPES, P. Structural and physiological responses to water availability provide insights into the maintenance of *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) seedling banks. *Forest Ecology and Management*, 2024.

ALMEIDA, S. M. Z. et al. *Campomanesia xanthocarpa* (Myrtaceae: Myrtoideae) seedlings reveal morpho-physiological plasticity under shade conditions. *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, p. e276695, 2023.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, R., MENEZES-SILVA, P., SOUSA, L., LORAM-LOURENÇO, L., SILVA, M., ALMEIDA, S., SILVA, F., DE SOUZA, L., FERNIE, A., & FARNESE, F. Evidence of drought memory in *Dipteryx alata* indicates differential acclimation of plants to savanna conditions. *Scientific Reports*. 10, 2020.

BELOZEROV, I.; TOLEP, N.; UMIRBAYEVA, F.; NAZAROVA, A.; BERGENKULOVA, S. Main direction of optimization of agrotechnics of growing seedlings of woody plants with closed root system in Mangistau desert. *Bulletin of the Karaganda University – Biology, Medicine, Geography Series*, 2024.

BORELLA, D.; SOUZA, A.; SILVA, A.; PIZZATTO, M.; KEFFER, J.; LIMA, D. Water requirements of *Dipteryx alata* Vogel seedlings at different solar radiation levels in Cerrado-Amazon transition. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2020.

- CARNEIRO, J. G. A. *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CHIMINAZZO, M.; BOMBO, A.; CHARLES-DOMINIQUE, T.; FIDELIS, A. To protect or to hide: why not both? An investigation of fire-related strategies in Cerrado woody species. *Flora*, 2023.
- CREMON, T.; SCALON, S. de P. Q.; ROSA, D. B. C. J.; DRESCH, D. M. How does *Copaifera langsdorffii* respond to flooding under different irradiance levels? *Plant Biosystems*, v. 156, p. 68–78, 2020.
- DA PONTE, G.; HUTH, F.; WAGNER, S. Ensuring future regeneration success of *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae) in neotropical savanna (Cerrado) biomes by reviewing the available information and identifying research gaps. *iForest*, v. 13, p. 154–164, 2020.
- DEMOLIN-LEITE, G. L.; VELOSO, R.; AZEVEDO, A. M.; SILVA, J. L.; SILVA, L. F.; GUANÃBENS, P. F. S.; GOMES, J. B.; PEREIRA, W. R.; SILVA, R. S.; ZANUNCIO, J. S. Sucking insects and their predators on tree canopies of a monocultural stand of *Caryocar brasiliense*. *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, e253598, 2024.
- FAGUNDES, M.; CUEVAS REYES, P.; ARAÚJO, W. S.; FARIA, M. L.; VALÉRIO, H. M.; PIMENTA, M. A.; FALCÃO, L. A. D.; REIS JUNIOR, R.; AGUILAR PERALTA, J. S.; SANTOS, H. T. Effects of light availability and seed size on germination and initial growth of two congeneric species of Fabaceae. *Acta Botanica Mexicana*, 2020.
- FERREIRA, M.; DE OLIVEIRA, M.; SILVA, G.; MATHIONI, S.; MAFIA, R. *Capillaureum caryovora* gen. sp. nov. (Cryphonectriaceae) pathogenic to pequi (*Caryocar brasiliense*) in Brazil. *Mycological Progress*, v. 18, p. 385–403, 2019.
- FREITAS, F. M.; NASCIMENTO, A. R. T.; SANCHES, M. C. Can morpho-physiological responses to natural light conditions in *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart. explain its widespread occurrence in Brazilian Savannas? *Flora*, v. 286, 2022.
- GARRETT, A. T. de A.; PERES, F. S. B.; INOUE, M. T.; GARCIA, F. A. de O. Adaptation of Cedro-Vermelha, Tarumã-Azeitona, Ingá-Doce, Branquilha-Bravo and Ocotea-Guaicá seedlings to shading levels. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 3, p. e20170059, 2020.
- GEÖCZE, K.; BARBOSA, L.; LIMA, C.; FERRUZZI, M.; FIDÊNCIO, P.; SANT'ANA, H.; SILVÉRIO, F. *Caryocar brasiliense* Camb. fruits from the Brazilian Cerrado as a rich source of carotenoids with pro-vitamin A activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021. Art. 103943.
- GUIMARÃES, R. N.; SOUZA, E. R.; NAVES, R. V.; MELO, A. P. C. D.; RÚBIO NETO, A. Vegetative propagation of pequi (souari nut) by cutting. *Ciência Rural*, 2019.
- GUIMARÃES, Z. T. M.; DA SILVA, D. C.; FERREIRA, M. J. Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. *iForest*, v. 17, p. 80–89, 2024.

- HUBER, B.; LOUWS, F.; HERNÁNDEZ, R. Impact of different daily light integrals and carbon dioxide concentrations on the growth, morphology, and production efficiency of tomato seedlings. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, 2021.
- KIJOWSKA-OBERC, J.; STASZAK, A.; RATAJCZAK, E. Climate change affects seed aging? Initiation mechanism and consequences of loss of forest tree seed viability. *Trees*, v. 35, p. 1099–1108, 2021.
- LI, S.; LU, S.; WANG, J.; CHEN, Z.; ZHANG, Y.; DUAN, J.; LIU, P.; WANG, X.; GUO, J. Responses of physiological, morphological and anatomical traits to abiotic stress in woody plants. *Forests*, Basel, v. 14, n. 9, p. 1784, 2023.
- LIMA, I. L.; SCARIOT, A.; GIROLDO, A. Direct seeding of native fruit tree species with economic benefits in a Brazilian Cerrado managed landscape. *Brazilian Journal of Botany*, v. 45, p. 1067-1080, 2022.
- LEITE, M.; LEAL, A.; PEREIRA, T.; MARTINS, A. Development of *Astronium fraxinifolium* Schott seedlings: a native tree from Cerrado. *Flora*, 2021.
- MELO, N.; ROSA, R.; PEREIRA, E.; SOUZA, J. Rising [CO₂] changes competition relationships between native woody and alien herbaceous Cerrado species. *Functional Plant Biology*, v. 45, n. 8, p. 854–864, 2018.
- MENDONÇA, A.; LIRA, J.; RODRIGUES, M.; DA FONTOURA CUSTÓDIO MONTEIRO, V.; SIMÃO, E.; BARBOSA, J. Anatomical, physiological and allometric contrasts of the Cerrado tree *Dalbergia miscolobium* in full sun and shade environments. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, v. 82, p. 104–111, 2020.
- MILANEZ, C., MARCATI, C., & MACHADO, S. Bark anatomy of Melastomataceae species in the Brazilian Cerrado, a neotropical savanna. *Australian Journal of Botany*. 2021.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). *Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Educação, 2017. 73 p.
- MONTEIRO NETO, J. L. L.; DE ANCHIETA ALVES DE ALBUQUERQUE, J.; TIAGO DE OLIVEIRA, A.; SAKAZAKI, R. T.; SILVA, E. S.; CARMO, I. L.; MAIA, S. D.; SBOROWSKI, L. G.; MONTEIRO, B. J.; AMAYA, J. Z. Environments and substrates for “pimenta-de-cheiro” (*Capsicum chinense* Jacq.) seedling production in the Amazon savanna. *Revista Agro@mbiente On-line*, 2022.
- PRESTES, N., MARIMON, B., MORANDI, P., DE A. REIS, S., MARIMON, B., CRUZ, W., OLIVEIRA, E., MARIANO, L., ELIAS, F., SANTOS, D., ESQUÍVEL-MUELBERT, A., & PHILLIPS, O. Impact of the extreme 2015-16 El Niño climate event on forest and savanna tree species of the Amazonia-Cerrado transition. *Flora*, volume 319, 2024.
- PUÉRTOLAS, J.; VILLAR-SALVADOR, P.; ANDIVIA, E.; AHUJA, I.; COCOZZA, C.; CVJETKOVIĆ, B.; DEVETAKOVIĆ, J.; DIEZ, J.; FLØISTAD, I.; GANATSAS, P.; MARIOTTI, B.; TSAKALDIMI, M.; VILAGROSA, A.; WITZELL, J.; IVETIĆ, V. Die-hard seedlings: a global

meta-analysis on the factors determining the effectiveness of drought hardening on growth and survival of forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 2024.

RODRIGUES, T.; BUARQUE, P.; CONEGLIAN, A.; REIS, D. Light and temperature induce variations in the density and ultrastructure of the secretory spaces in the diesel tree (*Copaifera langsdorffii* Desf.—Leguminosae). *Trees*, v. 28, p. 613–623, 2014.

RONQUIM, C.; PRADO, C.; SOUZA, J. Irradiance availability and growth of leguminous trees of cerrado. *Scientia Forestalis*, v. 46, 2018.

RONQUIM, C.; PRADO, C.; SOUZA, J. Growth, photosynthesis and leaf water potential in young plants of *Copaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinaceae) under contrasting irradiances. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 21, p. 197–208, 2009.

SANTOS, C., BERNARDES, R., GOELZER, A., SCALON, S., & VIEIRA, M. Chicken manure and luminous availability influence gas exchange and photochemical processes in *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich SEEDLINGS. *Engenharia Agrícola*. 2020.

SCALON, S. de P. Q.; KODAMA, F. M.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, L. Q. Gas exchange in *Caryocar brasiliense* Cambess seedlings in water deficit conditions. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 2, e20170520, 2020.

SANTOS, K.; FERREIRA, W.; SILVA, K.; COIMBRA, R.; SOUZA, C. Germination and initial development of *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) in two “Cerrado” areas: a step toward its use in reforestation programs. *Brazilian Journal of Botany*, v. 41, p. 415–424, 2018.

SANTOS, C. C.; JORGE, H. P. G.; DIAS, L. G. F.; VIEIRA, M. do C. Shading levels and substrates affect morphophysiological responses and quality of *Anadenanthera peregrina* (L.) Speng seedlings. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 2, p. e20190119, 2020.

SAIKI, S.; ANDO, Y.; YAZAKI, K.; TOBITA, H. Drought hardening contributes to the maintenance of proportions of non-embolized xylem and cambium status during consecutive dry treatment in container-grown seedling of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). *Forests*, 2020.

SILVA, L.; MOURA, A.; GIL, B.; ROHR, A.; ALMEIDA, S.; DONAZZOLO, J.; PERBONI, A.; OLIVEIRA, F.; SANT'ANNA-SANTOS, B.; GALON, L.; DANNER, M. Morphophysiological changes of *Acca sellowiana* (Myrtaceae: Myrtoideae) saplings under shade gradient. *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, 2024.

TOCA, A., MOLER, E., NELSON, A., & JACOBS, D. Environmental conditions in the nursery regulate root system development and architecture of forest tree seedlings: a systematic review. *New Forests*, 53, 1113 – 1143, 2022.

VIEIRA, T.; SANTIAGO, L.; PESTANA, I.; ÁVILA-LOVERA, E.; SILVA, J.; VITÓRIA, A. Species-specific performance and trade-off between growth and survival in the early-successional light-demanding group. *Photosynthetica*, v. 59, p. 203–214, 2021.

YAEBIYO, G.; BIRHANE, E.; TADESSE, T.; KIROS, S.; HADGU, K.; G. EGZIABHER, Y.; HABTU, S. Using biochar and deficit irrigation enhanced the growth of commercial agroforestry woody species seedlings in drylands (a case study in Saz, northern Ethiopia). *Agroforestry Systems*, v. 98, p. 61–79, 2023.