

NATÁLIA TOLÊDO SACCHETTO

**RELAÇÃO ENTRE TRAÇOS FUNCIONAIS E O ESTOQUE
DE CARBONO ACIMA DO SOLO DE ESPÉCIES LENHOSAS
NO CERRADO: DESTACANDO O *TRADE-OFF*
CRESCIMENTO-SOBREVIVÊNCIA**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2024

NATÁLIA TOLÊDO SACCHETTO

**RELAÇÃO ENTRE TRAÇOS FUNCIONAIS E O ESTOQUE DE
CARBONO ACIMA DO SOLO DE ESPÉCIES LENHOSAS NO
CERRADO: DESTACANDO O *TRADE-OFF* CRESCIMENTO-
SOBREVIVÊNCIA**

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

Orientador: João Augusto Alves Meira Neto
Coorientador: Pedro Manuel Villa

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2024

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

T

S119r
2024
Sacchetto, Natália Tolêdo, 1996-
Relação entre traços funcionais e o estoque de carbono
acima do solo de espécies lenhosas no Cerrado: destacando o
trade-off crescimento-sobrevivência / Natália Tolêdo Sacchetto. –
Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (43 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: João Augusto Alves Meira Neto.

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

Referências bibliográficas: f. 28-40.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.221>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Plantas dos cerrados - Crescimento. 2. Sementes -
Dispersão. 3. Elementos traços na nutrição vegetal. 4. Plantas
dos cerrados - Pesos e medidas. I. Meira Neto, João Augusto
Alves, 1963-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Botânica. Programa de Pós-Graduação em Botânica.
III. Título.

CDD 22. ed. 582.16

NATÁLIA TOLÊDO SACCHETTO

RELAÇÃO ENTRE TRAÇOS FUNCIONAIS E O ESTOQUE DE CARBONO ACIMA DO SOLO DE ESPÉCIES LENHOSAS NO CERRADO: DESTACANDO O *TRADE-OFF* CRESCIMENTO-SOBREVIVÊNCIA

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

Orientador: João Augusto Alves Meira Neto
Coorientador: Pedro Manuel Villa

APROVADA: 27 de fevereiro de 2024

Assentimento:



Documento assinado digitalmente

NATALIA TOLEDO SACCHETTO

Data: 26/07/2024 14:21:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Natália Tolêdo Sacchetto
Autora



Documento assinado digitalmente

JOAO AUGUSTO ALVES MEIRA NETO

Data: 16/07/2024 17:05:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

João Augusto Alves Meira Neto
Orientador

Dedico esse trabalho a Deus, a minha família e a todas as pessoas que me apoiam, fortalecem e inspiram.

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, Ele me encoraja o tempo todo, colocando desafios e pessoas que me fortalecem. São tantas pessoas e oportunidades que temo ser injusta em minhas manifestações, para tanto, tentarei ser mais generalista, mas saibam que todos vocês que caminharam/caminham comigo estão representados nessa escrita.

Apesar das dificuldades, meus pais, Sônia e Demetrius, sempre valorizaram o ensino e projetaram em mim essa perspectiva. Eles deram muito de si pra eu estar aqui redigindo essa dissertação. É impossível expressar minha gratidão a vocês e aos meus tios, Maria e Carlos, que compartilharam de todas essas lutas. Todos vocês que nutriram a família, juntamente com meus primos, foram grandes motivações para eu seguir. Não obstante, Deus me deu acolhimento em uma família viçosense, Maira, Miriam e família, obrigada por todos os momentos que tivemos juntos, por tanto acolhimento e ternura.

Meus agradecimentos ao meu professor orientador e grande referência, João Meira, que desde o dia em que o procurei, no meu último ano da graduação, ele já agiu como mestre, me mostrando possibilidades a seguir, que me encheram de motivação, conhecimento e me permitiram estar aqui hoje. Obrigada pela confiança e incentivo. O mesmo ao meu coorientador Pedro Villa, também amigo das filosofias de vida, que sempre esteve disposto a compartilhar seus conhecimentos e foi uma fonte de incentivo.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas do Laboratório de Ecologia e Evolução de Plantas (LEEP) pelos momentos festivos de comemoração, de aventuras, aprendizados, mas também de ansiedade e melancolia. Explicito minha gratidão ao doutor Alex Coelho e futuro doutor Valdivino Junior que estão envolvidos na coleta de dados e desenvolvimento desse trabalho, sempre muito solícitos a me ajudar, assim como a Fabia Maria, pelos inúmeros momentos de devaneios, fortalecimento e trocas. A todos os funcionários do laboratório, inclusive ao técnico Celso, que desde antes de eu sonhar em entrar no mestrado já me incentivava a conhecer e a fazer parte do LEEP. Dividir essas emoções com vocês deixou tudo mais leve e possível.

Tenho que destacar o papel da arte nesse trabalho. A Orquestra Sol do Amanhã, sob regência do Maestro Ciro Tabet, me acolheu e teve papel crucial no meu desenvolvimento pessoal e acadêmico, sendo um dos meios que me energizava para

a rotina dedicada de pesquisadora. Meus agradecimentos a todos os meus parceiros de música e amigos. Aos amigos que me acompanham desde a graduação e aos recentes, mesmo que alguns se encontrem um pouco distantes fisicamente. Obrigada Maria de la Paz, Estéfani Santos, Lenice Souza, Rosineia Pires, Elis Mônica e família.

Também agradeço ao governo Lula que democratizou o acesso ao ensino público no País, à graduação e pós-graduação de qualidade, possibilitando tantos jovens em condições econômicas vulneráveis ingressarem e concluírem o ensino. As bolsas de permanência da UFV que me contemplaram com a bolsa alimentação durante toda a graduação e as de fomento, como a FAPEMIG, que possibilitaram a minha permanência no programa da pós-graduação e desenvolvimento da presente dissertação.

Obrigada!

*“Não te deixes destruir...
Ajuntando novas pedras
e construindo novos poemas.
Recria tua vida, sempre, sempre.
Remove pedras e planta roseiras e faz
doces. Recomeça.
Faz de tua vida mesquinha
um poema.
E viverás no coração dos jovens
e na memória das gerações que hão de
vir.
Esta fonte é para uso de todos os
sedentos.
Toma a tua parte.
Vem a estas páginas
e não entres seu uso
aos que têm sede”.*

(Cora Coralina – Aninha e suas pedras)

RESUMO

SACCHETTO, Natália Tolêdo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, 2024. **Relação entre traços funcionais e o estoque de carbono acima do solo de espécies lenhosas no Cerrado: destacando o *trade-off* crescimento-sobrevivência.** Orientador: João Augusto Alves Meira Neto. Coorientador: Pedro Manuel Villa

O dióxido de carbono (CO₂) é responsável por mais da metade da concentração total de gases do efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global e demais problemáticas ambientais. À vista disso, compreender os mecanismos de descarbonização atmosférica é crucial para mitigar seus impactos, sendo as plantas protagonistas nessa mitigação. Portanto, a Savana Brasileira (Cerrado), domínio esse que ocupa 23% do território brasileiro, tem relevante papel na estocagem do carbono e servirá para o entendimento das diferentes estratégias de crescimento de plantas, de acordo com a hipótese do *trade-off* crescimento-sobrevivência. O presente trabalho objetiva (i) compreender as relações entre os traços funcionais vegetativos e reprodutivos como *proxies* de crescimento e de estoque de carbono acima do solo (AGB). Além disso, (ii) avaliar se essas relações são consistentes com o cálculo direto do AGB; e se (iii) as relações encontradas são congruentes às registradas pela literatura, que é majoritariamente de ecossistemas florestais. O estudo foi realizado em espécies lenhosas recenseadas em 129.600m² de Cerrado sentido restrito distribuídas em 25 áreas nos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais, Brasil. As métricas máximas e médias de altura e circunferência (H_{max}, H_{med}, CIRC_{max} e CIRC_{med}, respectivamente) das espécies foram diretamente obtidas de 9.002 indivíduos lenhosos de 226 espécies. As espécies tiveram as medidas das características foliares, reprodutivas, tipos de dispersão e densidade da madeira (WD) adquiridas de várias fontes especializadas. As características funcionais registradas foram comprimento e largura de pecíolos, de folhas e de frutos (respectivamente PL, PW, LL, LW, FL e FW), bem como comprimento, largura, espessura e volume da semente (respectivamente SL, SW, ST, SV). O AGB foi adquirido através da equação alométrica pantropical de Chave et al. (2014). Modelos lineares generalizados (GLM) e modelos globais com seleção de modelos foram realizados no ambiente estatístico R. A altura das espécies não foi explicada significativamente pelos traços reprodutivos analisados, mas foi explicada por traços foliares. Cenário contrário ocorre para as métricas de WD e CIRC onde os traços reprodutivos obtiveram mais significância que os vegetativos. A WD foi positivamente relacionada com frutos longos e estreitos e

com a dispersão anemocórica, enquanto $CIRC_{max}$ teve forte relação positiva com maiores sementes e foi o traço vegetativo de crescimento (*proxy* de AGB) que mais se equiparou com o cálculo do AGB nas relações com os traços vegetativos foliares e reprodutivos. Alguns resultados encontrados reforçam o padrão registrado na literatura nas relações dos traços preditivos e reposta, como a relação dos traços conservativos reprodutivos e o AGB, mas quando as formas de dispersão são analisadas, ocorre o conflito com o *trade-off* crescimento-sobrevivência já registrados na mesma. Tal estudo irá corroborar com o maior entendimento desse fenômeno, levando em consideração outros fatores que modelam as comunidades lenhosas, como as síndromes de dispersão, para assim compreender de forma mais precisa a relação dos traços das plantas com o sequestro de carbono/crescimento.

Palavras-chave: traços funcionais em plantas; altura das plantas; tamanho dos frutos; estratégias ecológicas; síndrome de dispersão.

ABSTRACT

SACCHETTO, Natália Tolêdo, M.Sc., Federal University of Viçosa, 2024. **Relationship between functional traits and above-ground carbon stock of woody species in the Cerrado: highlighting the growth-survival *trade-off*.** Advisor: João Augusto Alves Meira Neto. Co-advisor: Pedro Manuel Villa

Carbon dioxide (CO₂) is responsible for more than half of the total concentration of greenhouse gases, contributing to global warming and other environmental problems. Thus, understanding the mechanisms of atmospheric decarbonization is crucial to mitigating its impacts, with plants being protagonists in this mitigation. Therefore, the Brazilian Savanna (Cerrado), a domain that occupies 23% of the Brazilian territory, plays an important role in carbon storage and will serve to understand the different plant growth strategies, according to the *growth-survival trade-off* hypothesis. This work aim to (i) understand the relationships between vegetative and reproductive functional traits with proxies of growth and aboveground carbon stock (AGB). Furthermore, (ii) evaluating these relationships are consistent with the direct calculation of AGB; and whether (iii) the relationships caused are congruent with those recorded in the literature, which are mostly from forest ecosystems. The study was carried out on woody species surveyed in 129. 600m² of Cerrado restricted to 25 areas in the states of Tocantins, Goiás and Minas Gerais, Brazil. The maximum and average height and circumference metrics (H_{max}, H_{med}, CIRC_{max} and CIRC_{med}, respectively) of the species were directly obtained from 9,002 woody individuals from 226 species. The species had measurements of foliar and reproductive characteristics, types of dispersal and wood density (WD) acquired from several specialized sources. The functional characteristics recorded were length and width of petioles, leaves and fruits (respectively PL, PW, LL, LW, FL and FW), length, width, thickness and volume of the seed (respectively SL, SW, ST, SV). Generalized Linear Models (GLM) and global models with model selection were performed in the R statistical environment. Species height was not significantly explained by the analyzed reproductive traits, but was explained by leaf traits. The opposite scenario occurs for the WD and CIRC metrics where reproductive traits were more significant than vegetative traits. WD was positively related to long and narrow fruits and anemochorous dispersion, on the other hand, CIRC_{max} had a strong positive relationship with larger seeds. Circumference was the vegetative growth trait (AGB proxy) that most closely matched the AGB calculation in relation to foliar and reproductive vegetative traits. Some of the findings

reinforce the patterns documented in the literature regarding the relationships between predictive traits and response traits, such as the relationship between conservative reproductive traits and AGB. However, when dispersal forms are analyzed, conflicts arise with the growth-survival trade-off already documented in the literature. This study will contribute to a better understanding of this phenomenon, taking into account other factors that shape woody communities, such as dispersal syndromes, in order to more accurately comprehend the relationship between plant traits and carbon sequestration/growth.

Keywords: functional traits in plants; plant height; fruit size; ecological strategies; dispersal syndrome.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
	2.1 Área de estudos.....	15
	2.2 Coleta e análise dos dados.....	16
3	RESULTADOS.....	18
4	DISCUSSÃO.....	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
6	CITAÇÕES	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
	APÊNDICE.....	43

1 INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono (CO₂), emitido em sua maioria por atividades antrópicas, como na queima de combustível fóssil (Le Quéré et al., 2018), é responsável por aproximadamente 60% da concentração total de gases do efeito estufa (Sims, et al., 2014), contribuindo para o aquecimento global e a acidificação dos oceanos (Archer et al., 2009; Cooley et al., 2011; Fischer et al., 2013). Além disso, as mudanças no uso do solo (exploração madeireira, caça, incêndios florestais e fragmentação florestal) são os principais fatores que ameaçam a região tropical e podem desencadear a liberação de carbono e acentuar ainda mais a mudança climática global (Hubau et al., 2020; Walker et al., 2020). Como efeito, há um grande impacto gerado nos sistemas biológicos (Root et al., 2003; Rosenzweig et al., 2008; Zhu et al., 2016). Por este motivo, integrar o conhecimento e compreender como múltiplos fatores afetam as relações carbono-biodiversidade em comunidades de plantas e os mecanismos de descarbonização atmosférica é crucial para mitigar os impactos negativos das mudanças climáticas (Ferreira et al., 2018; Malhi et al., 1999; Odum, 1969).

A savana brasileira, amplamente conhecida por Cerrado, é relevante para a estocagem do carbono e mitigação das mudanças climáticas (Klink e Machado, 2005; Righi et al., 2023; Terra, et al., 2023). Responsável pela cobertura de aproximadamente 23% do território brasileiro (Ratter et al., 1997; Ribeiro e Walter, 1998), esse domínio é composto por diferentes fitofisionomias que coexistem e se misturam na paisagem do Brasil Central (Oliveira-Filho e Ratter, 2002; Ribeiro e Walter, 2008) onde apresentam mais de 12.000 espécies de plantas vasculares, das quais cerca de 40% são endêmicas (BFG, 2015; Mendonça et al., 2008). Apesar de tamanha importância, o Cerrado vem passando por forte e constante pressão antrópica e já perdeu cerca de 40 a 50% de sua cobertura devido a mudanças no uso do solo, principalmente devido à urbanização e à expansão da fronteira agrícola (Ab'Saber, 2003; Beuchle et al., 2015; Ratter et al., 1997). Portanto, compreender a estocagem de carbono no Cerrado tem consequências na implementação de ações para a redução de gases de efeito estufa na atmosfera, embasando ações com co-benefícios para o manejo e conservação desse domínio, que, apesar de ser *hotspot* de biodiversidade (Myers e Mittermeier, 2000), há poucos estudos considerando uma

abordagem de ecologia funcional embasada nos traços funcionais das comunidades de plantas.

Os traços funcionais são definidos como as características mensuráveis morfológicas ou fisiológicas que governam o crescimento e sobrevivência de um organismo (McGill et al., 2006; Sterck et al., 2011; Violle et al., 2007). De acordo com a teoria de nicho as diferenças de traços funcionais entre espécies determinam as especializações para o uso diferencial de recursos (água, nutrientes, luz, espaço), permitindo a coexistência das plantas (Blundo et al., 2015; Carrijo et al., 2021; Maracahipes et al., 2018; Meira-Neto et al., 2019; Negreiros et al., 2016; Sterck et al., 2011). À vista disso, avaliar as estratégias ecológicas de aquisição ou conservação de recursos ligadas à seleção de traços funcionais é uma forma de compreender melhor como as espécies de plantas coexistem e resistem às pressões ambientais (Maracahipes et al., 2018; McGill et al., 2006).

Duas estratégias que têm sido investigadas são as de espécies aquisitivas, que apresentam crescimento rápido e são bem sucedidas em habitats com muitos recursos; e as de espécies conservativas, com crescimento mais lento e alta taxa de sobrevivência, e que toleram estresse em habitats com poucos recursos (Atkinson, 2008; Diaz et al., 2004; Sterck et al., 2011). O gradiente entre estas estratégias pode determinar diferentes arranjos de traços funcionais que podem ser explicados pela existência de um *trade-off* entre crescimento e sobrevivência (*'growth-survival trade-off'*), onde plantas que possuem maior capacidade de crescimento possuem menor chance de sobrevivência e vice-versa (Maracahipes et al., 2018; Meira-Neto et al., 2019; Sterck et al., 2011). Contudo, também é possível separar traços funcionais mais relacionados ao crescimento (traços aquisitivos) ou à sobrevivência (conservativos) na mesma planta, onde o investimento de recursos energéticos em um conjunto de características diminui o investimento em outros (Li et al., 2015; Shipley et al., 2006; Vitória et al., 2019; Wright et al., 2010).

Estratégias aquisitivas vegetativas estão geralmente relacionadas a maior área foliar e assim maior aquisição de energia pela fotossíntese enquanto as estratégias aquisitivas reprodutivas estão relacionadas com a produção de frutos e sementes menores, geralmente em maiores quantidades, que demandam poucos recursos para sobrevivência e germinação do propágulo (Leishman et al., 2000; Reich et al., 1997, Stahl et al., 2013). Por outro lado, estratégias conservativas vegetativas estão mais relacionadas à espécies com menores áreas foliares evitando perda de água por

transpiração enquanto estratégias conservativas reprodutivas estão mais relacionadas com frutos e sementes maiores, geralmente carnosos e com grande reserva de nutrientes que garantem a sobrevivência dos propágulos em ambientes secos e de com poucos recursos (Almeida-Neto et al., 2008; Alves da Cruz, 2021; Blundo et al., 2015; Jensen and Zwieniecki, 2013; Madani et al., 2018) Esses conhecimentos são mais comuns em florestas tropicais (Aldana et al., 2017; Bello et al., 2015; Meira-Neto et al., 2019; Peres et al., 2016), mas escassos para outros tipos de vegetação como o Cerrado (Marimom e Haridasam, 2005).

As espécies arbóreas de grande porte das florestas tropicais têm uma maior contribuição no estoque de carbono por meio de traços funcionais conservativos, como grandes densidades da madeira e alturas (Poulsen et al., 2020; Wang e Ali, 2021; Yuan et al., 2021). Também foi observado que existe um mercado cobenefício entre o estoque de carbono acima do solo e a riqueza de espécies zoocóricas (Bello et al., 2015; Coelho et al., 2022). No entanto, padrões sobre relações de cobenefícios para estes grupos funcionais relacionados com os traços e as síndromes de dispersão ainda são desconhecidos para o Cerrado.

Compreender como ocorre o *trade-off* crescimento-sobrevivência é importante para explicar respostas ecológicas das espécies e a relação com os gradientes ambientais e com a disponibilidade de recursos (Atkinson 2001; Maracahipes et al., 2018; Meira-Neto et al., 2019), principalmente frente às mudanças climáticas. Cenários climáticos futuros preveem aumento na temperatura e diminuição na quantidade de precipitação (Hamada et al., 2008; Marengo, 2007), logo, explorar essas relações contribuirá com a compreensão das respostas das plantas, em seus traços reprodutivos e vegetativos, em um cenário de alterações climáticas globais.

Sabe-se que a morfologia e a dispersão das sementes estão ligadas às condições ambientais e são dependentes das condições morfológicas, fisiológicas e ecológicas das plantas (Assis et al., 2020; Ramírez, et al., 2021; Silva et al., 2023). A dispersão pelo vento (anemocoria) e por animais (zoocoria) são as síndromes predominantes (Batalha e Mantovani, 2000; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger, 1983; Howe e Smallwood, 1982; Kubitzki, 1983), onde, nas savanas, a anemocoria é maior nos períodos secos, mas a zoocoria depende da atividade dos dispersores, que pode ser maior durante a estação chuvosa (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger, 1983). Alguns autores relataram que quanto maior a aridez, maiores os frutos secos, maior a proporção da síndrome de dispersão anemocórica e maior a densidade da

madeira (Alves da Cruz, 2021; Chave et al., 2006; Gentry 1982; Hacke et al., 2001; Howe e Smallwood, 1982; Kuhlmann, 2016; Meinzer, 2003; Morellato, 1991; Muller-Landau, 2010; Oliveira et al., 2012, 2021; Ribeiro e Walter, 2008), e assim, possivelmente maior o estoque de carbono das espécies nestas regiões.

Cabe ressaltar ainda que há variação nas métricas incluídas para se estimar carbono acima do solo (Baker et al., 2004a; CETEC, 1995; Chambers et al., 2001a; Chave, 2014; Rezende, 2006), onde por vezes a altura ou densidade da madeira são desconsideradas nas equações. Somado a isso, as características específicas de crescimento das espécies lenhosas, como a tortuosidade e irregularidade dos caules da base até a copa, dificulta a coleta de dados para a estimativa de volume e biomassa acima do solo (AGB), resultando no déficit de estudos existentes para as savanas (Nunes e Görgens, 2016; Özçelik et al., 2010). A biomassa seca representa 50% do carbono estocado (Fang et al., 2001; Fukuda et al., 2003; Soares e Oliveira, 2002).

Logo, o presente estudo tem por objetivo (i) compreender as relações entre os traços funcionais vegetativos e reprodutivos com *proxies* de crescimento e AGB. Além disso, (ii) avaliar se essas relações são consistentes com o cálculo direto do AGB; e se (iii) as relações encontradas são congruentes às registradas pela literatura, que é majoritariamente de ecossistemas florestais. Como supracitado, no Cerrado há uma tendência no aumento da densidade da madeira e de frutos secos e da dispersão anemocórica. Posto isso, levantamos as hipóteses de que (i) traços conservativos (frutos e sementes maiores e folhas menores) se relacionam positivamente com AGB, (ii) que a dispersão anemocórica se relaciona positivamente com AGB, (iii) que as relações diretas dos traços funcionais com o AGB são congruentes com as relações desses mesmos traços com os *proxies* de AGB, (iv) que o *trade-off* crescimento-sobrevivência no Cerrado ocorre similarmente ao *trade-off* crescimento-sobrevivência nas florestas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudos

O estudo foi feito em diferentes parcelas de Cerrado savânico (i.e., Cerrado *stricto sensu*), abrangendo um total de aproximadamente 129.600 m², distribuídos em 183 parcelas, 25 áreas nos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais (Fig. 1). O Cerrado *stricto sensu* é a fitofisionomia que ocupa cerca de 65% do Cerrado (Marimom

e Haridasam, 2005). É representado por um ecossistema com arbustos e árvores esparsas, não formando um dossel contínuo (Ribeiro e Walter, 2008; Rizzini, 1963).

O clima da região amostrada, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo AW (tropical chuvoso). A característica principal do clima dessa área é a presença de dois períodos definidos: a) estação seca (inverno), com ausência quase total de chuvas e que se estende de maio a setembro e b) estação chuvosa, entre outubro e abril, quando caem mais de 90% das chuvas (Eiten, 1994; Ribeiro e Walter, 1998).

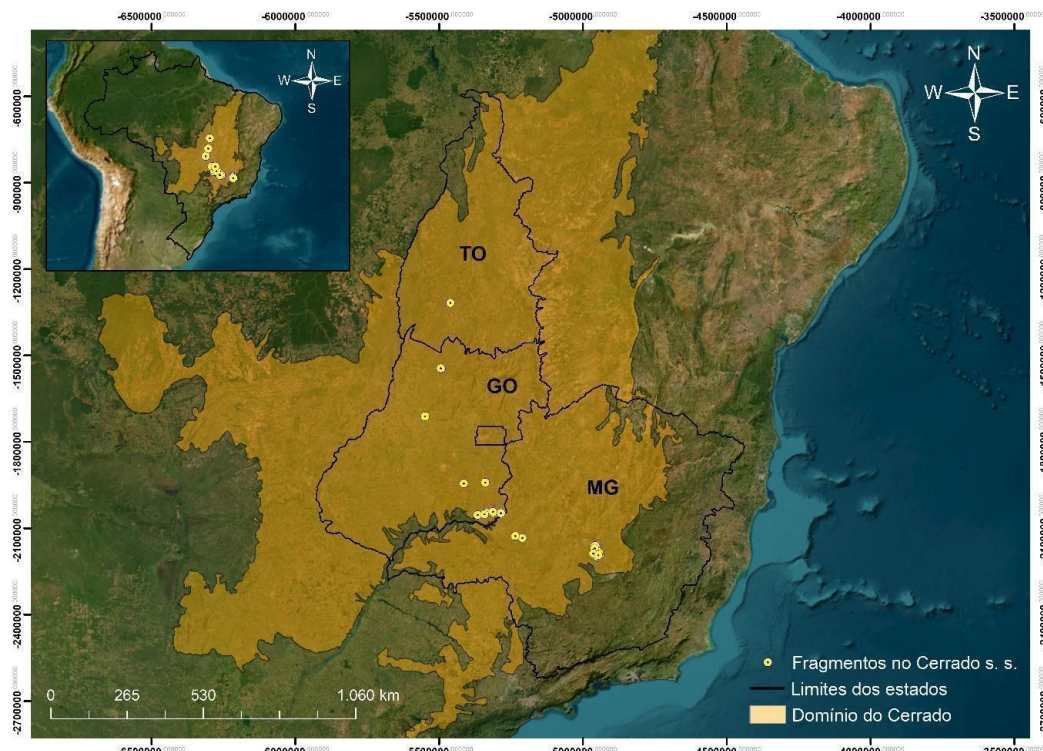


Figura 1. Mapa evidenciando o Domínio do Cerrado e os 25 fragmentos estudados distribuídos no estado de Tocantins, Goiás e Minas Gerais.

2.2 Coleta e análise dos dados

A composição das espécies, bem como suas alturas e circunferências foram coletadas diretamente no campo. Os inventários foram realizados pela equipe do Laboratório de Inventário Florestal e Ecologia (LIFE) da Universidade Estadual de Goiás (UEG), campus Ipameri e pela equipe do Laboratório de Ecologia e Evolução de Plantas (LEEP). Cada um dos 9.002 indivíduos amostrados foi identificado até o nível de espécie, totalizando 226 espécies.

A altura máxima (H_{max}) e a altura média (H_{med}) foram os valores utilizados para as análises (em metros). Foi considerado que a H_{max} de uma espécie era a registrada do indivíduo mais alta da espécie na área total. H_{med} foi a média aritmética da altura

medida diretamente de todas as lenhosas de cada espécie. A métrica H_{max} é a mais usada para a altura da planta como uma característica funcional porque expressa o potencial de crescimento de plantas como um adulto típico (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013), porém a H_{med} faz-se necessária à nível de comunidade (Manzanera *et al.*, 2016). A circunferência foi registrada em centímetros e mensurada entre 10 cm e 1,30 m de altura. O indivíduo de maior circunferência ($CIRC_{max}$) deu o valor da máxima da espécie e a circunferência média ($CIRC_{med}$) foi a média aritmética de todos os indivíduos da espécie. $CIRC_{max}$ e $CIRC_{med}$ foram logaritmicamente transformadas nas análises com modelos globais.

As 226 espécies tiveram as medidas dos traços reprodutivos (frutos e sementes) e dos traços vegetativos foliares e suas médias aritméticas adquiridas por variadas fontes especializadas, dentre elas estão os artigos científicos, teses e dissertações, sites ou calculadas por consulta à cinco espécimes de diferentes herbários no sistema *Species Link* (CRIA, 2017), priorizando as registradas no domínio. A densidade da madeira (WD) foi adquirida majoritariamente do *Global Wood Density Database – DRYAD* (Zanne *et al.*, 2009), ou de artigos e sites científicos, bem como os tipos de dispersão de cada espécie. Foi feito o cálculo da biomassa acima do solo com as métricas médias (AGB_{med}) e máximas (AGB_{max}) de circunferência (transformada em diâmetro) e altura de cada espécie utilizando a equação alométrica pantropical de Chave *et al.*, (2014).

$$AGB = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976}$$

Onde ρ é a densidade da madeira em g/cm^3 , D é o diâmetro em centímetro e H a altura em metros.

As características funcionais preditivas vegetativas e reprodutivas foram registradas em centímetros, sendo elas comprimento e largura do pecíolo e da folha completa (PL, PW, LL e LW, respectivamente), comprimento e largura do fruto (FL e FW, respectivamente), comprimento, largura, espessura e volume da semente (SL, SW, ST e SV, respectivamente). As síndromes de dispersão foram registradas para 217 espécies, distinguidas entre zoocóricas e anemocóricas. Modelos lineares generalizados (GLM) e modelos globais com seleção de modelos foram realizados no ambiente estatístico R (R Development Core Team, 2015). A função *scale*, do pacote *ggplot2*, foi utilizada para a padronização das variáveis preditoras dos modelos

globais. Os melhores modelos globais foram aqueles de menor AIC e delta AICc < 2, utilizando a função *Dredge* e o pacote *MuMIn* (R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria) com a função GLM e com a família gaussiana e gamma de distribuições. As análises com variáveis categóricas foram feitas utilizando o *Teste-T* ou o *teste de Wilcoxon*. Assumimos significância para valores de $p \leq 0.05$.

3 RESULTADOS

De acordo com os modelos globais selecionados, as métricas de altura das plantas nas parcelas tiveram relação significativa com os traços vegetativos. Hmax se relacionou negativamente com LW (est= - 0.010, $z = 2.197$, $p = 0.028$) e com Hmed (est= - 0.020, $z = 2.754$, $p = 0.006$), mas apresentou relação positiva com PW (est= 0.022, $z = 2.423$, $p = 0.015$) (Fig. 2. A, B). Os traços reprodutivos e de dispersão não explicaram a Hmax e Hmed (Fig. 3. A e B).

Para as métricas de circunferência, somente os preditores reprodutivos foram significativos. O melhor modelo global para CIRCmax é aquele em que o tamanho da semente (SV), é o único que a explica (est= 0.091, $z = 2.079$, $p = 0.038$) e para CIRCmed apenas ST explica (est= 0.050, $z = 2.015$, $p = 0.044$) (Fig. 2. C, D). Os tipos de dispersão não tiveram diferença significativa para as métricas de altura e de circunferência (Fig. 3. C e D).

Dos traços vegetativos, somente PL teve influência, sendo esta negativa, sobre a WD (est= -0.024, $z = 2.462$, $p = 0.014$). Frutos de maiores comprimentos e de menores larguras apresentaram relações significativas e opostas, onde maior FL está relacionado com maiores WD (est= 0.051, $z = 4.715$, $p < 0.001$) e maiores FW com menores WD (est= - 0.030, $z = 2.503$, $p = 0.012$). Também foi significativo a diferença entre as dispersões para explicar a WD, com espécies anemocóricas possuindo maior WD que espécies zoocóricas ($t = 3.3063$, $df = 208$, $p = 0.001$) (Fig. 3. E). Há uma alta relação entre comprimento e largura de frutos e sementes (Apêndice I. A e B), para tanto, espera-se que tanto a espessura como o volume, exclusivamente coletados para sementes, apresentem relação similar dessas dimensões com os frutos. Esses mesmos padrões foram encontrados por alguns autores, como Wright (2007).

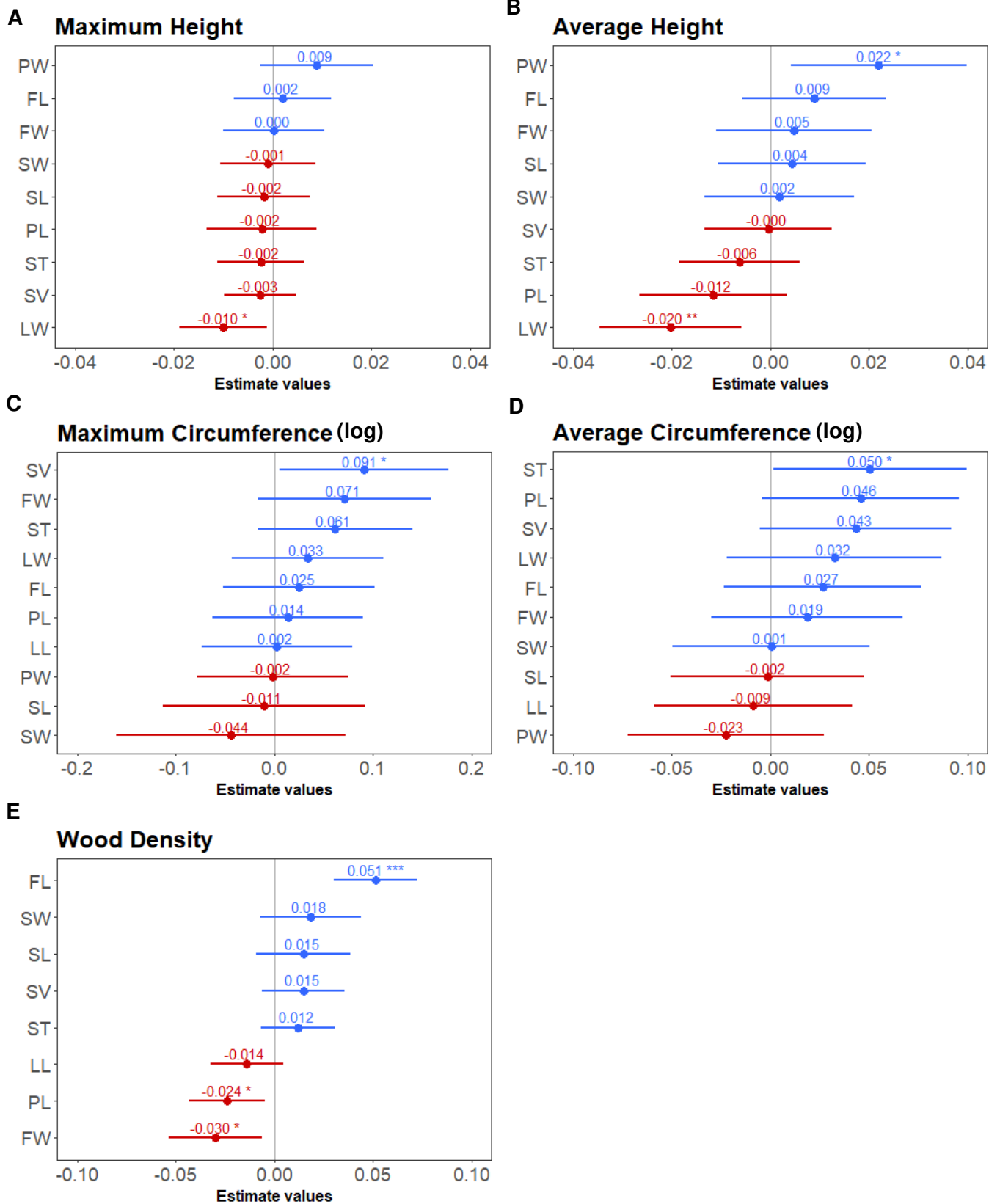


Figura 2. Modelos globais com os traços funcionais foliares e reprodutivos e suas relações positiva (azul) ou negativa (vermelho) com (A) Altura Máxima, (B) Altura Média, (C) Circunferência Máxima (log), (D) Circunferência Média (log), (E) Densidade da Madeira. **** o p valor varia de 0 a 0.001, *** $>0,001$ até 0,1 e ** $>0,1$ até 0.05.

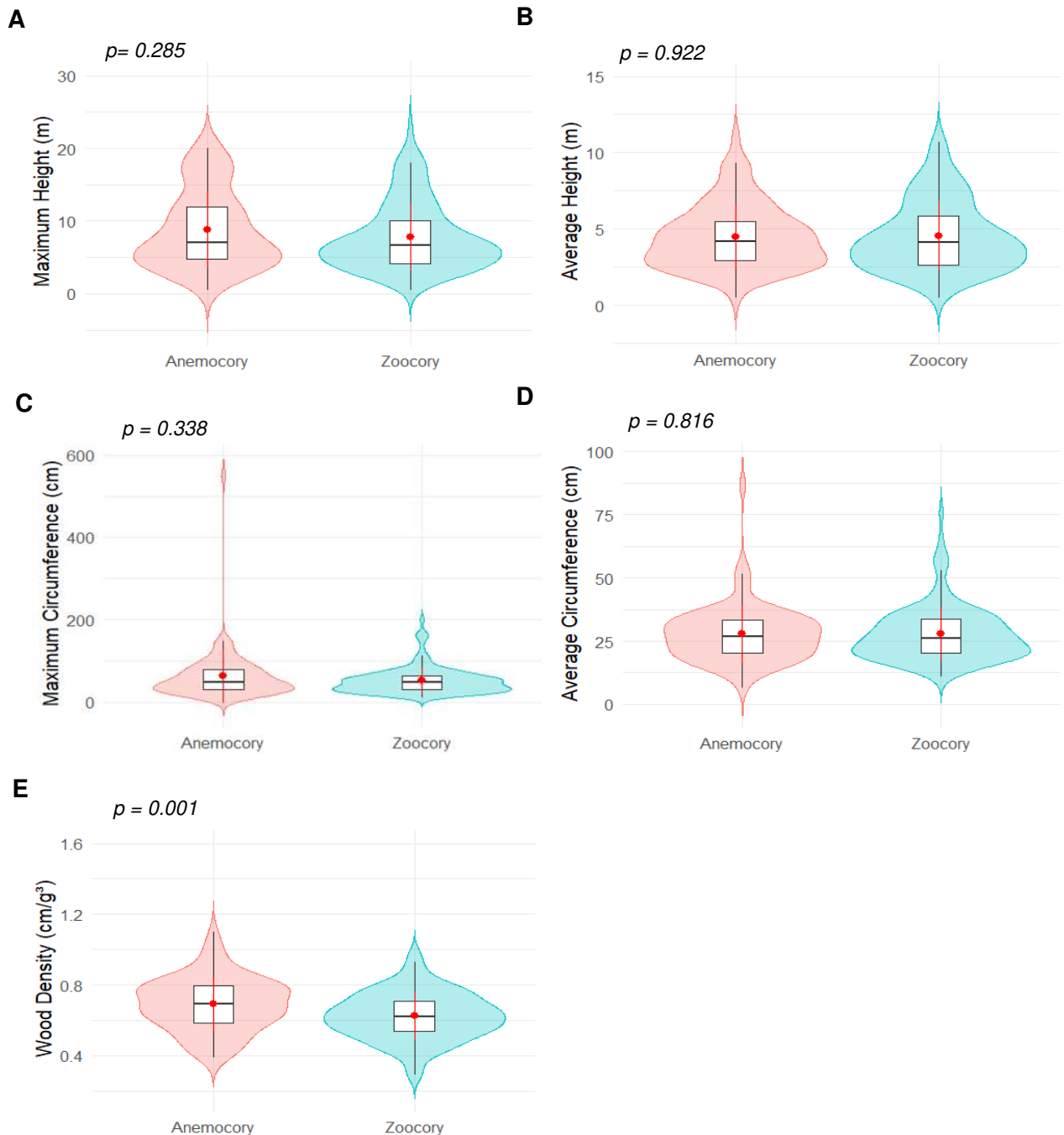


Figura 3. Representações tipo violino para as síndromes de dispersão com (A) Altura Máxima, (B) Altura Média, (C) Circunferência Máxima, (D) Circunferência Média, (E) Densidade da Madeira. Wilcoxon-test de A a D, T-test para densidade da madeira (E).

O melhor modelo global para AGB_{max} foi aquele em que houve uma relação significativamente positiva com SV ($\text{est} = 0.212$, $z = 2.945$, $p = 0.032$) e para AGB_{med} o melhor modelo foi aquele que nenhum dos preditores o explicou significativamente (Fig 4. A e B). Através da Figura 5. A e B, pode-se perceber que não houve diferença

significativa entre os tipos de dispersão para explicar o AGB_{max} ($t = 1.855$, $df = 138.53$, $p = 0.066$) e AGB_{med} ($t = 1.041$, $df = 149.72$, $p = 0.299$).

Foram feitas relações das dimensões dos frutos e das sementes com os tipos de dispersão (anemocórizo x zoocórizo), podendo-se perceber que houve diferença significativa entre as médias de dispersão e os traços reprodutivos (Apêndice II). A anemocoria se relacionou com frutos e sementes maiores em comprimento e largura, porém de menor espessura de semente do que as espécies zoocóricas, motivo pelo qual o volume pode não ter apresentado diferença significativa entre as estratégias de dispersão, uma vez que ele é adquirido pela multiplicação dos três traços (comprimento x largura x espessura).

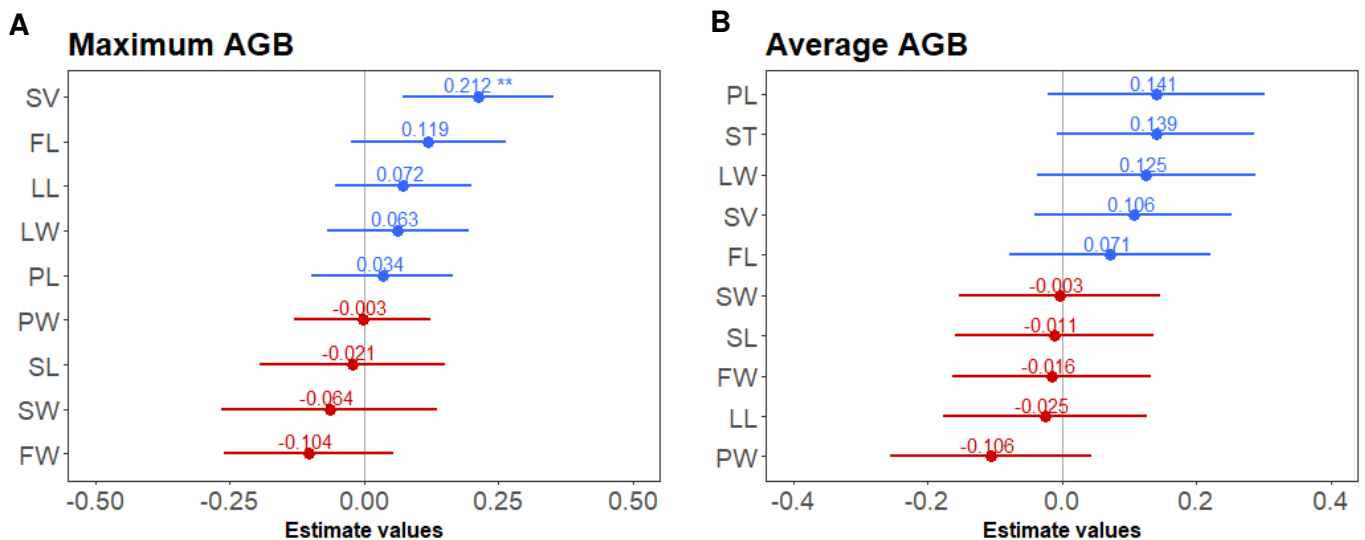


Figura 4. Melhores modelos globais com os traços funcionais foliares e reprodutivos e suas relações positiva (azul) ou negativa (vermelho) com (A) AGB_{max} (métricas máximas de diâmetro e altura das espécies) e (B) AGB_{med} (métricas médias das espécies). '****' o p valor varia de 0 a 0.001, '***' >0,001 até 0,1 e '*' > 0,1 até 0.05.



Figura 5. Representações tipo violino para as síndromes de dispersão testadas pelo teste-t (**A**) AGBmax e (**B**) AGBmed.

4 DISCUSSÃO

Os traços funcionais vegetativos e reprodutivos são determinantes do *trade-off* crescimento-sobrevivência em diferentes ecossistemas, principalmente no que tange os ecossistemas florestais (Alves da Cruz et al., 2021; Carrijo et al., 2021; Díaz et al., 2016; Meira-Neto et al., 2019). Através desse estudo, que compreende ampla área amostral (129.600 ha), esses traços também se mostraram suficientes para a separação das estratégias de aquisição e conservação de recursos no domínio do Cerrado.

Os traços foliares se mostraram bons preditores das alturas das espécies. É amplamente reconhecido que a área foliar das plantas afeta diretamente a exposição à luz solar e a evapotranspiração, consequentemente, promovem a regulação da temperatura foliar (Chen et al., 2021; Kibler et al., 2023; Wright et al., 2017) promovendo também a assimilação fotossintética e controlando o risco de falha hidráulica (Medlyn et al., 2002; Mencuccini et al., 2019; Roden e Pearcy, 1993; Sperry et al., 2017; Wolf et al., 2016). Os pecíolos mais largos se relacionaram com maiores alturas no presente estudo e em registros literários para florestas (Meira-Neto et al., 2019), e a largura foliar total mostrou relação inversa: quanto mais largo o pecíolo e mais estreita a folha (estratégia foliar conservativa), maior a altura das espécies.

Quanto maior a altura da planta, maior se torna a exposição ao sol e a dificuldade para o transporte hídrico até as folhas, principalmente se aliado a ambientes áridos, implicando em uma maior vascularização das folhas, paredes celulares mais espessas e muitas vezes fortemente lignificadas (Eschrich, 1996; Mendes et al., 2022; Niinemets, 2001; Niinemets e Sack, 2006), acarretando em pecíolos mais largos. Uma vez que a luz não é um fator limitante nessa fitofisionomia, plantas com menor área foliar são beneficiadas em seu crescimento, pois são menos afetadas com as consequências da alta incidência luminosa aliada à escassez hídrica (Ding et al., 2020; Wright et al., 2017). Contudo, o tamanho dos frutos e das sementes foram indiferentes à altura neste domínio.

Apesar dos nossos resultados de folha serem congruentes com muitos resultados da literatura para florestas, os traços reprodutivos e sua relação com a altura foram contrastantes, não apresentando relação com a altura. Os registros mostram que a altura, densidade da madeira e diâmetro se relacionam negativamente com a área foliar (Wright et al., 2007, 2010) e positivamente com os tamanhos de frutos e sementes (Aldana et al., 2017; Bello et al., 2015; Díaz et al., 2016; Leslie et al., 2014; Hodgson et al., 2017; Moles et al., 2004; Peres et al., 2016; Rabinowitz, 1989; Thompson e van Gelder et al., 2006; Wright et al., 2007;). Esse padrão é encontrado em plantas de estratégia conservativas, que investem muito na sobrevivência de suas sementes (maiores frutos e sementes) e demoram mais tempo para crescer, porém acumulam mais biomassa, por atingirem maiores alturas, densidade da madeira e diâmetro (Bello et al., 2015; Chave et al., 2009; Díaz et al., 2004; Díaz et al., 2016; Falster e Westoby, 2005; Peres e Roosmalen, 2002). O padrão inverso ocorre em florestas jovens, onde se tem o predomínio de espécies pioneiras e as tardias ainda estão pouco desenvolvidas (Meira-Neto et al., 2019; Poorter, et al., 2008; Valladares e Niinemets, 2008).

As estratégias já descritas para as plantas de Cerrado se relacionam com fogo e outras condições extremas. Os traços funcionais das espécies de savanas estão relacionados principalmente com a proteção contra incêndios (Dantas et al., 2013a; Hoffmann et al., 2009), contra seca, com maiores densidades da madeira (Hacke et al., 2001; Ibanez et al., 2017) e contra a alta irradiância solar (Ariano, et al., 2022; Dantas et al., 2013a; Da Yang, 2023). Rüger, et al (2012) mostra que a densidade da madeira é o traço mais importante para determinar o crescimento em savanas tropicais enquanto as maiores alturas (competição por luz) não se mostram tão

cruciais como nas florestas (Eduardo e Wiegand, 2020; Hoffmann e Franco, 2003; Oliveras e Mahli, 2016; Ratnam et al., 2011; Sterck et al., 2003). Ademais, é sabido que o crescimento lento confere resistência ao estresse, permitindo a maior alocação de carbono para outros processos (Chapin et al., 1990; Wyka, 2000). Outro fator que pode explicar a ausência de relação entre altura e tamanho de frutos encontrado se dá pelo aumento do risco de embolismo em plantas mais altas (Olson et al., 2018).

Ao contrário das relações estabelecidas com a altura, os traços vegetativos foliares perdem poder de explicação e reprodutivos ganham nas relações com WD e CIRC. Somente o PL se relacionou inversamente à WD, ou seja, maiores densidades da madeira estão alinhadas com pecíolos menores. Pecíolos maiores possibilitam que as folhas não se sombreiem, aumentando a área foliar exposta ao sol, o que pode não ser vantajoso no Cerrado (Ding et al., 2020; Pearcy e Yang 1998; Takenaka 1994). Porém, essa relação com o pecíolo é enfraquecida quando se é analisado modelos somente com os traços vegetativos (Apêndice III), onde nenhum traço foliar se relaciona às métricas de CIRC e WD.

A WD teve relação negativa com FW, mas fortemente positiva com FL (Fig. 2. E). Sabe-se que em geral há aumento da WD com o aumento da aridez (Alonzo et al., 2012; Méndez- Ibanez et al., 2017). Maiores valores de WD conferem maior sobrevivência às espécies em face a perturbações naturais (Chave et al., 2009; Muller-Landau, 2004; Poorter et al., 2008), como a seca (Greenwood et al., 2017; Hacke et al., 2001; Liang et al., 2021). Adicionalmente, maior densidade de madeira confere maior depósito de nutrientes, carboidratos, lipídios, compostos químicos secundários e água (Harmon et al., 1986; Kozłowski 1992), aumentando a alocação de recursos para frutos e sementes. Porém, apesar de serem grandes em comprimento, os frutos tendem a ser mais estreitos (Fig. 2. E), típico de frutos anemocóricos, principalmente da família Fabaceae, mais abundante no domínio (Heringer et al., 1977; Lima et al., 2015; Mendonça et al., 2008; Rizzini, 1963), relação essa comprovada pela Figura 3. E, que evidencia que maiores WD no cerrado s.s. estão associadas à anemocoria e as de menores WD à zoocoria.

Em florestas, frutos anemocóricos tendem a ser mais leves e necessitam de menor alocação de recursos, quando comparados com os grandes frutos zoocóricos, estando mais ligados à estratégia aquisitiva das plantas, de rápido crescimento (Hammond e Brown, 1995; Ramirez, 2021). No Cerrado essa relação não foi encontrada (Apêndice II. F.), apesar de SV (*proxy* de massa da semente), não explicar

a WD (FIG. 2 E), para se fazer uma relação direta do tamanho do traço reprodutivo com traços conservativos de crescimento, a anemocoria se relacionou com maiores WD, estando mais alinhada então a estratégia conservativa.

Essa não relação da zoocoria com a maior estocagem de carbono no Cerrado pode ocorrer porque houve mudança nas características vegetacionais em decorrência da perda de grandes dispersores das savanas brasileiras (Dantas e Pausas, 2020, 2022; Guimarães et al., 2008; Hansen e Galetti, 2009; Pires et al., 2018). Tal fato pode também nos indicar que possivelmente as savanas brasileiras estocavam mais carbono no passado, com o cobenefício entre os grandes dispersores e a flora dispersa. Frutos zoocóricos, que geralmente demandam mais energia e estão ligados a plantas de estratégia conservativa, que tendem a ter os traços reprodutivos maiores em florestas (Bello, et al., 2015), apresentaram menores comprimentos e larguras de semente e o volume similar às sementes de dispersão anemocórica no Cerrado (Apêndice II. A, B, C, D e F), porém são mais ovais, percebido através da maior espessura (Apêndice II. E), o que facilita o consumo dos mesmos pela fauna (Kuhlmann e Ribeiro, 2016). Tal fato corrobora alguns estudos que ressaltaram a importância de diásporos dispersos pelo vento e por aves nas savanas (Kubitzki, 1983; Kuhlmann, 2016; Kutschenko, 2009).

O tamanho e espessura da semente também se relacionaram positivamente com as métricas de circunferência (FIG. 2. C e D). Isso pode ser explicado porque há o aumento da resistência hidráulica com o maior investimento em estruturas de suporte mecânico, como a maior deposição de fibras (Ellen et al., 2022), que também acarretam na maior espessura do tronco e cujos benefícios mecânicos e hidráulicos são compensados ao longo de muitos anos (Niklas, 1993), assim como acarreta no aumento do armazenamento e transporte de água e nutrientes (Forrester, 2022; Kumar et al., 2019) que tem relação direta com o investimento reprodutivo (Niklas e Enquist, 2003) e com a produtividade (Fauset et al., 2015). Sabe-se que há uma significativa e positiva relação de tamanho da semente e do fruto, indiretamente presumimos que o volume dos frutos apresente a mesma relação (Apêndice I. A e B).

As métricas de crescimento reforçaram a importância dos traços reprodutivos e vegetativos na predição da estocagem de carbono. Abaixo foram esquematizadas as relações fortes encontradas (Fig. 6), isto é, que foram significativas tanto nos modelos globais com todos os traços (reprodutivos e vegetativos) como naqueles separados (Apêndice III e IV). A relação da WD, $CIRC_{max}$ e AGB_{max} com as dimensões das

características reprodutivas reforçam o padrão existente a respeito do acúmulo de carbono acima do solo, de que traços conservativos estão relacionado com a maior estocagem do carbono a nível de espécie, mas quando as formas de dispersão são analisadas, ocorre o conflito com os registros literários, majoritariamente para florestas, uma vez que frutos anemocóricos tendem a ser mais leves e característico de espécies aquisitivas (Bello, et al., 2015; Hammond e Brown, 1995; Ramirez, 2021), ou seja, aquelas que estocam significativamente menos carbono.

Quando as dimensões foliares perdem poder de explicação das variáveis, as dimensões de frutos e sementes aparecem explicando-as, não ficando marcado a existência de um *trade-off* entre os diferentes traços foliares e reprodutivos. Essa não relação direta pode ser explicada pela estratégia de dispersão anemocórica, que necessita de menor gasto energético direcionado a seus frutos do que a zoocórica, não influenciando assim a redução do tamanho foliar em decorrência do aumento do tamanho dos traços reprodutivos.

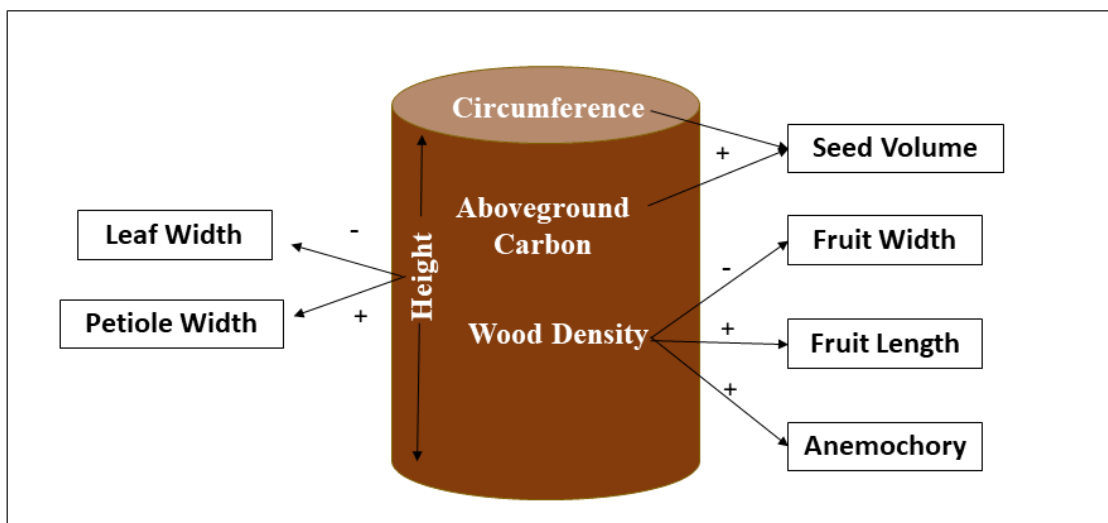


Figura 6. Representação esquemática das relações fortes estabelecidas entre traços foliares e reprodutivos com proxies de crescimento e armazenamento de carbono (dentro do cilindro) encontradas para as métricas de altura, circunferência, densidade da madeira e estoque de carbono acima do solo no Cerrado stricto sensu. Os sinais positivos (+) denotam relações positivas e os sinais negativos (-) denotam relações inversas/negativas.

Nossos resultados evidenciam que as métricas de circunferência responderam de forma próximas as métricas de AGB na relação com os traços (Fig. 2. C e D; Fig. 4. A e B) e com as dispersões (Fig. 3. C e D; Fig. 5. A e B), podendo a circunferência ser utilizado como um *proxy* para AGB no cerrado s. s.. Tal relação permitirá que mais trabalhos nessas linhas ocorram, visto que o déficit dos estudos nesse domínio

também é ocasionado pelas características específicas de crescimento das espécies lenhosas, como a tortuosidade e irregularidade dos caules da base até a copa, o que dificulta a coleta de dados e a estimativa de volume e biomassa (Nunes e Görgens, 2016; Özçelik et al., 2010). Enfatizamos ainda que as métricas médias devem ser usadas com cuidado nas análises que se referem ao estudo das estratégias das plantas, preferencialmente junto com as métricas máximas que expressam indivíduos adultos em seu máximo potencial (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013).

A tendência encontrada entre maiores volumes e a maior estocagem do carbono no Cerrado, permitirá aplicações no manejo para a restauração de áreas que se almejam a maior estocagem do carbono por m². Com isso, a seleção das espécies poderia ocorrer diretamente em campo por organizações/empresas que têm menos recursos financeiros, selecionando maiores proporções de espécies para o reflorestamento exclusivamente pelo maior tamanho de frutos e sementes. Contudo, salientamos a importância de se seguirem mais estudos averiguando essas relações, com o maior número de espécies possível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O observado é congruente com argumentos teóricos de que os diferentes traços das plantas devem responder diferentemente às condições ambientais (Han, et al., 2019; Jacquemyn et al., 2012). Quando os traços reprodutivos explicam os *proxies* de crescimento e estoque de carbono, os traços foliares perdem poder de explicação, provavelmente pela notável relevância da anemocoria no Cerrado, relacionada à estratégia aquisitiva das plantas, mascarando o *trade-off* entre crescimento-sobrevivência dos traços foliares e reprodutivos. Ainda assim, os traços conservativos reprodutivos se relacionaram com espécies que estocam mais carbono, assim como nas florestas, sendo a circunferência a medida mais fidedigna ao AGB.

Tal estudo irá corroborar com o maior entendimento desse fenômeno em escalas espaciais maiores, levando em consideração outros fatores que modelam as comunidades lenhosas, como as síndromes de dispersão, para assim compreender de forma mais precisa a relação dos traços das plantas com o sequestro de carbono/crescimento. Também esperamos potencializar o desenvolvimento de outros trabalhos no âmbito funcional e de estocagem de carbono nessa fitofisionomia, uma vez que foi comprovada a eficácia na utilização somente da circunferência como *proxy*

do AGB para essas relações funcionais. A construção continuada desse conhecimento nos permitirá prever a estruturação de comunidades, bem como implementar técnicas mais adequadas de manejo e conservação, principalmente no que tange a estocagem de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALDANA, A. M., et al. Drivers of biomass stocks in Northwestern South American forests: Contributing new information on the Neotropics. **Forest Ecology and Management**, v. 389, p. 86-95, 2017. DOI:10.1016/j.foreco.2016.12.023
- ALMEIDA-NETO, M. et al. Vertebrate dispersal syndromes along the Atlantic forest: broad-scale patterns and macroecological correlates. **Glob. Ecol. Biogeogr.** V. 17, p. 503–513, 2008. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2008.00386.x.
- ALVES DA CRUZ, W. J. et al. Functional diversity and regeneration traits of tree communities in the Amazon-Cerrado transition. **Flora**, v. 285, 151952, 2021. DOI:10.1016/j.flora.2021.151952.
- ATKINSON, R. Grow fast???die young: Exploring the growth-survival trade-off in plants. **New Scientist**, 169:14, 2001. DOI: 10.1016/j.cbpa.2008.04.039.
- ANTONOVICS, J. Concept of resource allocation and partitioning in plants. In: Staddon JER (ed), Limits to Action. The Allocation of Individual Behavior. **Academic Press**, N.Y. p. 1-25. 1980.
- ARCHER, D. et al. Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 37, p.117-134, 2009. DOI:10.1146/annurev.earth.031208.100206.
- ARIANO, A. P. R. et al. Structural leaf attributes indicate different degrees of xeromorphism: New discoveries in co-occurring species of savanna and forest formations. **Flora**. v. 286, 2022. DOI: 10.1016/j.flora.2021.151972.
- ASSIS, A.P.A. et al. Genetic correlations and ecological networks shape coevolving mutualisms. **Ecol. Lett**, 2020.DOI:10.1111/ele.13605.
- BAKER, T. R. et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, v.10, p.545–562, 2004a.
- BATALHA, M.A. e MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé de Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, p.129-145, 2000.

- BELLO, C. et al. "Defaunation Affects Carbon Storage in Tropical Forests". **Science Advances**, v. 1 (11): e1501105, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1501105.
- BEUCHLE, R., et al. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Appl. Geogr.* v. 58, p. 116–127, 2015. DOI:10.1016/j.apgeog.2015.01.017
- BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *rodriguesia*, v. 66, n. 4, 2015. DOI: 10.1590/2175-7860201566411.
- BLUNDO, C., MALIZIA, L. R. e GONZÁLEZ-ESPINOSA, M. Distribution of functional traits in subtropical trees across environmental and forest use gradients. **Acta Oecologica**, v. 69, p. 96–104, 2015. DOI:10.1016/j.actao.2015.09.008.
- BURT, R. L. Carbohydrate utilization as a factor in plant growth. *Austr J Biol Science*, 7 p. 867-877, 1964.
- CARRIJO, J.N. et al. Functional traits as indicators of ecological strategies of savanna woody species under contrasting substrate conditions. **Flora**, v. 284, 151925, 2021. ISSN 0367-2530, DOI: 10.1016/j.flora.2021.151925.
- CETEC. Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas no estado de Minas Gerais e outras regiões do país. Belo Horizonte, p. 295, 1995. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=72776>. Acesso em 5 jun. 2022
- CHAMBERS, J. Q., SANTOS, J., RIBEIRO, R. J. e HIGUCHI, N. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 73-84, 2001a.
- CHAPIN III, F S; SCHULZE, E. e MOONEY, H. A. The Ecology and Economics of Storage in Plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 21, p 423-447, 1990. DOI: 10.1146/annurev.es.21.110190.002231
- CHAVE, J. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, v.16, p. 2356–2367, 2006.
- CHAVE, J., et al. Towards a Worldwide Wood Economics, *Spectrum*. **Ecology letters**, v. 12, p. 351-66, 2009. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x.
- CHAVE, J., et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20(10), 3177–3190, 2014. DOI:10.1111/gcb.12629
- CHEN et al. Exploring the long-term vegetation dynamics of different ecological zones in the farming-pastoral ecotone in northern China. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 28 (22), p. 27914-27932, 2021.
- COELHO, A. J. P. et al. Effects of anthropogenic disturbances on biodiversity and biomass stock of Cerrado, the Brazilian savanna. **Biodiversity And Conservation**, v. 29, p. 1-11, 2020.

COOLEY, S.R., et al. Nutrition and income from molluscs today imply vulnerability to ocean acidification tomorrow. **Fish and Fisheries**, p. 182–215, 2011. DOI:10.1111/j.1467-2979.2011.00424.x.

CRIA (Centro de Referência e Informação Ambiental). Specieslink - simple search. 2011. Disponível em <http://www.splink.org.br/index>. Acesso em 01/05/2023.

DANTAS, V. L., BATALHA, M.A. e PAUSAS, J.G. Fire drives functional thresholds on the savanna– forest transition. **Ecology**, v. 94, p. 2454–2463, 2013a. DOI:10.1890/12-1629.1.

DANTAS, V.L. e PAUSAS, J. G. Megafauna biogeography explains plant functional trait variability in the tropics. **Global Ecol Biogeogr.**, v. 29, p. 1288– 1298, 2020. DOI:10.1111/geb.13111.

DANTAS, V. L. e PAUSAS, J. G. The legacy of the extinct Neotropical megafauna on plants and biomes. **Nat Commun**, v. 13(1), p. 129, 2022. DOI: 10.1038/s41467-021-27749-9.

DA YANG, et al. Physiological response and photosynthetic recovery to an extreme drought: Evidence from plants in a dry-hot valley savanna of Southwest China, **Science of The Total Environment**, v. 868, 2023. ISSN 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.161711.

DÍAZ, S. e CABIDO, M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 16, p. 646–655, 2001. DOI:10.1016/S0169-5347(01)02283-2.

DÍAZ, S., et al. The plant traits that drive ecosystems: evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, v. 15, p. 295–304, 2004. DOI:10.1111/j.1654-1103.2004.tb02266.x

DÍAZ, S., et al. The global spectrum of plant form and function. **Nature**, v. 529: p. 167–171, 2016. doi:10.1038/nature16489.

DING J., JOHNSON, E. A. e MARTIN, Y.E. Optimization of leaf morphology in relation to leaf water status: **A theory. Ecol Evol.**, v. 10(3), p. 1510-1525, 2020. DOI: 10.1002/ece3.6004. PMID: 32076530; PMCID: PMC7029057.

EDUARDO, V. e WIEGAND, T. Competition for light and persistence of rare light-demanding species within tree-fall gaps in a moist tropical forest. **Ecology**, 2020. DOI:10.1002/ecy.3034

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (coord.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. (2a ed.) Brasília: **UnB/Sematec**. p.9-65, 1994.

ELLEN C.D. CARVALHO, et al. Xylem anatomical traits determine the variation in wood density and water storage of plants in tropical semiarid climate, **Flora**, v. 298, 152185, 2022. ISSN 0367-2530, DOI:10.1016/j.flora.2022.152185.

ESCHRICH, W. Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, ISBN 3-540-59131-1, 388 S., 428 Abbildungen, Broschiert DM 78.

Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde, v. 159(3), p. 314–314, 1996.
DOI:10.1002/jpln.1996.3581590316

FALSTER, D.S. e WESTOBY, M. Alternative height strategies among 45 dicot rain forest species from tropical Queensland, Australia. **J. Ecol.**, v. 93, p. 521–535, 2005.

FAUSET, S, ET AL. Hyperdominance in Amazonian forest carbon cycling. **Nat Commun**, v. 6:6857, 2015. PMID: 25919449; DOI: 10.1038/ncomms7857

FANG, J. et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. **Science**, v. 292, n.5.525, p.2.320-2.322, 2001.

FERREIRA, J., et al. Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. **Nature Climate Change**, v. 8, p. 744-749, 2018.
DOI:10.1038/s41558-018-0225-7

FISCHER, E. M., BEYERLE, U. e KNUTTI, R. “Robust spatially aggregated projections of climate extremes”. **Nature Climate Change**, nov. 2013. DOI:10.1038/nclimate2051.

FORRESTER, D. I., LIMOUSIN, J. M. e PFAUTSCH, S. The relationship between tree size and tree water-use: is competition for water size-symmetric or size-asymmetric? **Tree Physiol. Oct**, v. 42(10), p. 1916-1927, 2022. DOI: 10.1093/treephys/tpac018.

FUKUDA, M.; IEHARA, T.; MATSUMOTO, M. Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. **Forest ecology and management**, v.184, n.1-3, p.1-16, 2003.

GENTRY, A.H. Patterns of neotropical plant species diversity. **Evolution Biology**, v. 15, p. 1-84, 1982.

GREENWOOD, S, et al. Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. **Ecol Lett.** v. 20(4), p. 539-553, 2017.
DOI: 10.1111/ele.12748. PMID: 28220612.

GOTTSBERGER, G. e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. Dispersal and distribution in the cerrado vegetation of Brazil. **Sonderbänd des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg**, v.7, p. 315-352, 1983.

GUIMARÃES, P .R., GALETTI, M., JORDANO, P. Seed dispersal anachronisms: rethinking the fruits extinct megafauna ate. **PLoS One**. v. 5;3(3):e1745, mar. 2008.
DOI: 10.1371/journal.pone.0001745. PMID: 18320062; PMCID: PMC2258420.

HACKE, U. et al. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia**, v. 126, p. 457–461, 2001.
DOI:10.1007/s004420100628

HAMADA, E., GONÇALVES, R. R. V., ORSINI, J. A. M. e GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: Ghini, R.; Hamada, E. (ed.) Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, p.25-73, 2008.

HAMMOND, D.S. e BROWN, V.K. Seed size of woody plants in relation to disturbance, dispersal, soil type in wet neotropical forests. **Ecology**, v. 76, p. 2544–2561, 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242083352_The_Evolutionary_Ecology_of_Seed_Size. Acesso em 12 jul. 2023.

HAN, T., et al. Are reproductive traits of dominant species associated with specific resource allocation strategies during forest succession in southern China?. **Ecological Indicators**, v. 102, p. 538-546, 2019. ISSN 1470-160X, DOI:10.1016/j.ecolind.2019.03.007.

HANSEN, D. M. e GALETTI, M. The Forgotten Megafauna. *Science*. Washington: Amer Assoc Advancement Science, v. 324, n. 5923, p. 42-43, 2009.

HARMON, M.E., et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Adv. Ecol. Res.**, v. 15, p. 133–302, 1986.

HARPER, J. L. Population Biology of Plants. **Academic Press**, London. p. 892, 1977.

HERINGER, E. P., et al. A flora do Cerrado. In: FERRI, M. G. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., São Paulo. **Anais**, São Paulo: Universidade de São Paulo, p.303-316, 1977. Disponível em: http://mobot.mobot.org/W3T/search_vast.html.

HODGSON, J.G., et al. Trade-offs between seed and leaf size (seed–phytomer–leaf theory): functional glue linking regenerative with life history strategies ... and taxonomy with ecology? *Annals of Botany* v. 120, p. 633–652, 2017.

HOFFMANN, W. A. e FRANCO, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. **J. Ecol.** v. 91, p. 475–484, 2003. DOI:10.1046/j.1365-2745.2003.00777.x.

HOFFMANN, W.A., et al. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savannaforest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, v. 90, p. 1326–37, 2009. DOI:10.1890/08-0741.1.

HOWE, H.F. e SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 13, p. 201-228, 1982.

HUBAU, W., et al. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature**, v. 579, p. 80-87, 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-2035-0.

IBANEZ, T., et al. Community variation in wood density along a bioclimatic gradient on a hyper-diverse tropical island. **Journal of Vegetation Science**, v. 28, p. 19-33, 2017. DOI:10.1111/jvs.12456

SIMS, R. et al. Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. doi: 10.1017/CBO9781107415416.005.

JACQUEMYN, H., DE MEESTER, L., JONGEJANS, E. e HONNAY, O. Evolutionary changes in plant reproductive traits following habitat fragmentation and their

consequences for population fitness. **Journal of Ecology**, v. 100, p. 76-87, 2012. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2011.01919.x

JENSEN, K.H. e ZWIENIECKI, M.A. Physical limits to leaf size in tall trees. **Phys. Rev. Lett.** 110, 018104, 2013. DOI:10.1103/PhysRevLett.110.018104.

KIBLER, C.L., et al. Evapotranspiration regulates leaf temperature and respiration in dryland vegetation, **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 339, 109560, 2023. ISSN 0168-1923. DOI: 10.1016/j.agrformet.2023.109560.

KLINK, C. A., e MACHADO, R. B. A. Conservação do cerrado brasileiro. Belo Horizonte. **Megadiversidade**, v. 1(1), p. 148–155, 2005.

KRAFT, N. J. B., M. R. METZ, R. S. CONDIT, e J. CHAVE. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set. **New Phytologist**, v. 188, p. 1124–1136, 2010.

KOZLOWSKI, T.T. Carbohydrate sources and sinks in woodyplants. **Bot. Rev.**, v. 58, p. 107–122, 1992.

KUBITZKI, K. Dissemination biology in the savanna vegetation of Amazonia. **Sonderbänd des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg**, v. 7, p. 353-357, 1983.

KUHLMANN, M., e RIBEIRO, J. F. Fruits and frugivores of the Brazilian Cerrado: ecological and phylogenetic considerations. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30(3), p. 495–507, 1992. DOI:10.1590/0102-33062016abb0192

KUMAR, D., SRIVASTAVA, K. K., e SINGH, S. R. Correlation of trunk cross sectional area with fruit yield, quality and leaf nutrient status in plum under North West Himalayan region of India. **Journal of Horticultural Sciences**, v. 14(1), p. 26–32, 2019. DOI:10.24154/JHS.2019.v14i01.006

KUTSCHENKO, D. C. **Fenologia e caracterização de frutos e sementes de um cerrado sensu stricto, Jardim Botânico de Brasília, Distrito Federal, Brasil, com ênfase nas espécies com síndrome ornitocórica**. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade de Brasília, Brasília, 101 p., 2009. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/19230?locale=en>, Acesso em: 21 ago. 2023.

LARJAVAARA, M., e H. C. MULLER-LANDAU. Rethinking the value of high wood density. **Functional Ecology**, v. 24, p. 701–705, 2010.

LE QUÉRÉ, C., et al. “Global Carbon Budget 2017”. **Earth System Science Data**, v. 10 (1), p. 405–48, 2018. DOI:10.5194/essd-10-405-2018.

LEISHMAN, M., WRIGHT, I., MOLES, A., WESTOBY, M. The Evolutionary Ecology of Seed Size. Seeds: **The Ecology of Regeneration in Plant Communities**, cap. 2, 2000. DOI: 10.1079/9780851994321.0031.

- LI, L., MC CORMACK, M. L., MA, C. et al. Leaf economics and hydraulic traits are decoupled in five species-rich tropical subtropical forests. **Ecol Lett**, v. 18, p. 899–906, 2015. DOI:10.1111/ele.12466.
- LIANG, X., YE, Q., LIU, H. e BRODRIBB, T. J. Wood Density Predicts Mortality Threshold for Diverse Trees. **New Phytologist**, v. 229 (6), p. 3053–57, 2021. DOI:10.1111/nph.17117.
- LIMA, R. A. F., RANDO, J. G., BARRETTO, K. D. Composição e diversidade no cerrado do leste de Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, v. 39(1), p. 9-24, 2015. DOI: 10.1590/0100-67622015000100002.
- MADANI, N., et al. Future global productivity will be affected by plant trait response to climate. **Sci. Rep.** 8, 2870, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-21172-9.
- MALHI, Y., BALDOCCHI, D.D. e JARVIS, P.G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. **Plant, Cell e Environment**, v. 22, p. 715-740, 1999. DOI:10.1046/j.1365-3040.1999.00453.x.
- MANZANERA, J. A., et al. Fusion of airborne LiDAR and multispectral sensors reveals synergic capabilities in forest structure characterization. **GIScience e Remote Sensing**, v. 53, p. 723–738, 2016. DOI:10.1080/15481603.2016.1231605
- MARACAHIPES, L., LENZA, E. e MARIMON, B. S., et al. Estrutura e composição florística da vegetação lenhosa em cerrado rupestre na transição Cerrado-Floresta Amazônica, Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 133–141, 2011. DOI:10.1590/s167606032011000100013.
- MARACAHIPES, L., et al. How to live in contrasting habitats? Acquisitive and conservative strategies emerge at inter- and intraspecific levels in savanna and forest woody plants. *Perspectives in Plant Ecology*, **Evolution and Systematics**, v. 34, p. 17–25, 2018. DOI:10.1016/j.ppees.2018.07.006.
- MARENCO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade – caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**. v.1, p.214, 2007. ISBN 85-7738-038-6.
- MARIMON-JÚNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v.19, n.4, p.913-926, 2005.
- MCDOWELL, N., et al. The relationship between tree height and leaf area: sapwood area ratio. **Oecologia**. v. 132(1), p. 12-20, 2002. DOI: 10.1007/s00442-002-0904-x.
- MCGILL, B. J., ENQUIST, B. J., WEIHER, E., WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology and Evolution**, V. 21, P. 178–185, 2006. DOI:10.1016/j.tree.2006.02.002.
- MEDLYN B.E., et al. Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. II. A review of experimental data: Temperature response of

photosynthetic parameters – **Review. Plant Cell Environ.**, v. 25 (9), p. 1167-1179, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2002.00891.x

MEIRA-NETO, J.A. A., et al. Drivers of the growth-survival trade-off in a tropical forest. **Journal of Vegetation Science**, p. 1184–1194, 2019. doi:10.1111/jvs.12810.

MENCUCCINI M., MANZONI S. e CHRISTOFFERSEN B. Modelling water fluxes in plants: From tissues to biosphere. **New Phytol.**, v. 222 (3), p. 1207-1222, 2019. DOI: 10.1111/nph.15681.

MENDES, K.R., et al. Leaf plasticity across wet and dry seasons in *Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae) at a tropical dry forest. **Sci Rep** 12, 954, 2022. DOI:10.1038/s41598-022-04958-w.

MÉNDEZ-ALONZO, R., et al. Coordinated evolution of leaf and stem economics in tropical dry forest trees. **Ecology**, v. 93, p. 397–406, 2012. DOI:10.1890/11-1213.1.

MENDONÇA, R. C. et al. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, v2, p. 421-1279, 2008.

MEINZER, F. C. Functional convergence in plant response to the environment. **Oecologia**, v. 134, p. 1–11, 2003.

MOLES, A.T., FALSTER, D.S., LEISHMAN, M.R. e WESTOBY, M. Small-seeded species produce more seeds per square metre of canopy per year, but not per individual per lifetime. **Journal of Ecology**, v. 92, p. 384-396, 2004. DOI:10.1111/j.0022-0477.2004.00880.x

MOLES, A. T., et al. A Brief History of Seed Size. **Science**, v. 307(5709), p. 576-80, 2005. doi: 10.1126/science.1104863. PMID: 15681384.

MOLES, A. T. e WESTOBY, M. Seed size and plant strategy across the whole life cycle. **Oikos**, v. 113, p. 91–105, 2006. DOI:10.1111/j.0030-1299.2006.14194.x.

MORELLATO, L.P.C. **Fenologia de árvores, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil**. Tese de doutorado, Universidade de Campinas, Campinas, 1991.

MULLER-LANDAU, H.C. Interspecific and Intersite Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees. **Biotropica**, v. 36, p. 20-32, 2004. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2004.tb00292.x

MULLER-LANDAU, H. C. The tolerance-fecundity trade-off and the maintenance of diversity in seed size. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, p. 4242–4247, 2010. DOI:10.1073/pnas.0911637107.

MYERS, N., et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000. DOI:10.1038/35002501

NEALES, T. F. e INCOLL, L. O. The control of leaf photosynthesis rate by the level of assimilate concentration in the leaf: A review of the hypothesis. **Botan Rev**, v. 34, p. 107-125, 1968.

NEGREIROS, D., et al. Growth-survival trade-off in shrub saplings from Neotropical mountain grasslands. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 17–22, 2016. DOI:10.1016/j.sajb.2016.05.015.

NIKLAS, K. J. The Allometry of Plant Reproductive Biomass and Stem Diameter. **American Journal of Botany**, v.80(4), p. 461, 1993. DOI:10.2307/2445392

NIKLAS, K. J. e ENQUIST, B. J. An allometric model for seed plant reproduction. **Evolutionary Ecology Research**, v. 5, p. 79– 88, 2003.

NIINEMETS Ü. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. **Ecology**, v. 82, p. 453–469, 2001. DOI: 10.2307/2679872

NIINEMETS Ü, SACK L. Structural determinants of leaf light-harvesting capacity and photosynthetic potentials. In: Esser K, Lüttge UE, Beyschlag W, Murata J, editors. **Progress in botany**. Berlin: Springer-Verlag; p. 385–419, 2006. DOI: 10.1007/3-540-27998-9_17

NUNES, M. H. e GÖRGENS, E. B. Artificial intelligence procedures for tree taper estimation with in a complex vegetation mosaic in Brazil. **PLoS ONE** , v. 11, n. 5, e0154738, 2016..

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v. 164, p. 262–270, 1969.

OLIVEIRA-FILHO, A.T., RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: Oliveira, P.S., Marquis, R.J. (Eds.), *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. **Columbia University Press**, New York, p. 91e120, 2002.

OLIVEIRA, G. M. V., et al. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitosionomias do Estado de Minas Gerais. **CERNE**, v. 18(2), p. 345–352, 2012. DOI:10.1590/S0104-77602012000200020.

OLIVEIRA, G. M. V., et al. Behavior of wood basic density according to environmental variables. **Journal of Forestry Research**, 2021. doi:10.1007/s11676-021-01372-2

OLIVERAS I e MALHI Y. Many shades of green: the dynamic tropical forest –savannah transition zones. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 20150308, 2016. DOI: 10.1098/rstb.2015.0308.

OLSON, M., et al. Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115, 2018. 201721728. DOI: 10.1073/pnas.1721728115.

ÖZÇELİK, R., DIAMANTOPOULOU, M. J., BROOKS, J. R. e WIANT, H. V. Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 3, p. 742-753, 2010.

PERES, Carlos e ROOSMALEN, Marc. 27 Primate Frugivory in Two Species-rich Neotropical Forests: Implications for the Demography of Large-seeded Plants in Overhunted Areas. **Seed dispersal and frugivory: Ecology, evolution and conservation**, 2002.

PERES, C. A., EMILIO, T., SCHIETTI, J., DESMOULIÈRE, S.J.M. e LEVI, T. Dispersal limitation induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 113, p. 892–897, 2016. DOI: 10.1073/pnas.1516525113.

KUHLMANN, P. M. **Estratégias de dispersão de sementes no bioma Cerrado: considerações ecológicas e filogenéticas**. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade de Brasília, Brasília, p. 353, 2016.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61(3), p. 167–234, 2013. DOI: 10.1071/BT12225_CO.

PEARCY, R.W. e YANG, W. The functional morphology of light capture and carbon gain in the redwood forest understorey plant, *Adenocaulon bicolor* Hook. **Funct Ecol** v. 12, p. 543–552, 1998. <http://www.jstor.org/stable/2390437>.

PIRES, M.M., GUIMARÃES, P.R., GALETTI, M. e JORDANO, P. Pleistocene megafaunal extinctions and the functional loss of long-distance seed-dispersal services. **Ecography**, v. 41, p. 153-163, 2018. DOI:10.1111/ecog.03163.

POORTER, L., et al. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. **Ecology**. V. 89(7), p. 1908-20, 2008. DOI: 10.1890/07-0207.1. PMID: 18705377.

POULSEN JR, et al. Old growth Afrotropical forests critical for maintaining forest carbon. **Glob Ecol Biog**, 2020. DOI: 10.1111/geb.13150.

RAMIREZ, N. 1993. Production and cost of fruits and seeds among life forms. **Biotropica**, 25: 46–60

RAMÍREZ, N., BARRIOS, Y. e BRICEÑO, H. Correlations between morphological fruit types, fruit and seed colors, and functional groups. **Biota Neotrop**, v. 21(4):e20211238, 2021. Available from: DOI:10.1590/1676-0611-BN-2021-1238

R Development Core Team. 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

RATTER, J. A., RIBEIRO, J. F., BRIDGEWATER, S. The brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**. v.80, p. 223-230, 1997.

RATNAM, J., et al. When is a “forest” a savanna, and why does it matter? **Global Ecology and Biogeography**, v. 20(5), p. 653–660, 2011. DOI:10.1111/j.1466-8238.2010.00634.x.

- REEKIE, E.G. e BAZZAZ, F.A. Reproductive effort in plants. 1. Carbon allocation to reproduction. **Am Natural**, v. 129, p. 876-896, 1987a.
- REEKIE, E.G. e BAZZAZ, F. A. Reproductive effort in plants. 3. Effect of reproduction on vegetative activity. **Am Natural**, v. 129, p. 907-919.
- REICH, P. B., WALTERS, M. B. e ELLSWORTH, D.S. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. **PNAS**, v. 94(25), p. 13730– 13734, 1997. DOI:10.1073/pnas.94.25.13730.
- REZENDE, A. V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n.71, p.65-73, 2006.
- RODEN J.S. e PEARCY R.W. The effect of flutter on the temperature of poplar leaves and its implications for carbon gain. **Plant Cell Environ.**, v. 16 (5), p. 571-577, 1993. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1993.tb00905.x
- RIBEIRO, J. F., WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M., ALMEIDA, S. P. de. (ed.) **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC.. p. 89-166, 1998.
- RIBEIRO, J.F. E WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In **Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida e J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, p.151-212, 2008.
- RIGHI, C.A., et al. Biodiversity and biomass relationships in a cerrado stricto sensu in Southeastern Brazil. **Environ Monit Assess**, v. 195, p. 492, 2023. DOI:10.1007/s10661-023-11051-w
- RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florístico-sociológica) do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 25. n. 1, p:31, 1963.
- ROOT, T. L., PRICE, J.T., HALL, K.R., SCHNEIDER, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J. A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, v. 2;421(6918), p. 57-60, 2003. DOI: 10.1038/nature01333.
- ROSENZWEIG, C., KAROLY, D., VICARELLI, M. et al. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature**, v. 453, p. 353–357, 2008. DOI:10.1038/nature06937.
- RÜGER, N., WIRTH, C., WRIGHT, S.J. e CONDIT, R. Functional traits explain light and size response of growth rates in tropical tree species. **Ecology**, v.93, p. 2626–2636, 2012. DOI: 0.1890/12-0622.1.
- SHIPLEY, B. et al. Fundamental tradeoffs generating the worldwide leaf economics spectrum. **Ecology**, v. 87, p. 535–541, 2006. DOI:10.1890/05-1051.
- SILVA, N., COELHO, A. J. P., MEIRA-NETO, J. A. A. Functional traits patterns along an altitudinal gradient in a large tropical forest region. **Flora**, vol: 308, 152403, 2023. ISSN 0367-2530, DOI: 10.1016/j.flora.2023.152403.

SIMPSON, M.G. Plant systematics. **Elsevier**, Academic press, 2019.

SPERRY J.S., et al. Predicting stomatal responses to the environment from the optimization of photosynthetic gain and hydraulic cost: A stomatal optimization model. **Plant Cell Environ.**, v. 40 (6), p. 816-830, 2017. DOI: 10.1111/pce.12852.

STAHL, U., et al. Whole-plant trait spectra of North American woody plant species reflect fundamental ecological strategies. **Ecosphere**, v. 4(10), p. 1–28, 2013. DOI:10.1890/ES13-00143.1.

STERCK, F., MARKESTEIJN, L., SCHIEVING, F. e POORTER, L. Functional traits determine trade-offs and niches in a tropical forest community. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, p. 20627–20632, 2011. DOI:10.1073/pnas.1106950108.

STERCK, F.J.; et al. The consequences of crown traits for the growth and survival of tree saplings in a Mexican lowland rainforest. **Functional Ecology**, v. 17, p. 194-200, 2003.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

SONG, G., et al. Changes in plant functional traits and their relationships with environmental factors along an urban-rural gradient in Guangzhou, China. **Ecological Indicators**, v. 106:105558, 2019. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105558.

TAKENAKA, A. Effects of leaf blade narrowness and petiole length on the light capture efficiency of a shoot. **Ecol Res**, v. 9, p.109–114, 1994. DOI: 10.1007/BF02347485

TERRA, M. C. N. S. et al. The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas. **Sci Total Environ.** v. 867: 161320, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.161320. Epub 2023 Jan 2. PMID: 36603629.

THOMPSON, K. e RABINOWITZ, D. Do Big Plants Have Big Seeds? **The American Naturalist**, v. 133(5), p. 722–728, 1989. DOI:10.1086/284947.

VAN GELDER, H.A., POORTER, L. e STERCK, F.J. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. **New Phytol.**, v. 171, p. 367–378, 2006.

VALLADARES, F., e NIINEMETS, Ü. Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39(1), p. 237–257, 2008. DOI:10.1146/annurev.ecolsys.39.11.

VILELA, A. E., GONZÁLEZ-PALEO, L. Changes in resource-use strategy and phenotypic plasticity associated with selection for yield in wild species native to arid environments. **Journal of Arid Environments**, v.113, p. 51–58, 2015. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.09.005.

VIOLLE, C., et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, p. 882–892, 2007. DOI:10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x.

VITÓRIA, A. P., ALVES, L. F. e SANTIAGO, L.S. Atlantic forest and leaf traits: an overview. **Trees**, v. 33, p. 1535–1547, 2019. DOI:10.1007/s00468-019-01864-z.

WALKER, W. S., et al. The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **Proc Natl Acad Sci U.S.A** 201913321, 2020. DOI:10.1073/pnas.1913321117.

WANG, Y., et al. Geographic variation in seed traits within and among forty-two species of *Rhododendron* (Ericaceae) on the Tibetan plateau: relationships with altitude, habitat, plant height, and phylogeny. **Ecol Evol.** v. 4(10), p. 1913-1923, 2014. DOI:10.1002/ece3.1067.

WANG LQ e ALI A. Climate regulates the functional traits – aboveground biomass relationships at a community-level in forests: A global meta-analysis. **Sci Total Environ**, 761, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143238.

WYKA, T. Effect of nutrients on growth rate and carbohydrate storage in *Oxytropis sericea*: a test of the carbon accumulation hypothesis. **Int. J. Plant Sci.**, v. 161, p. 381e386, 2000.

WOLF, A., ANDEREGG, W.R.L., PACALA, S.W. Optimal stomatal behavior with competition for water and risk of hydraulic impairment. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 113 (46), 2016. DOI: 10.1073/pnas.1615144113.

WRIGHT, S. J., et al. Relationships Among Ecologically Important Dimensions of Plant Trait Variation in Seven Neotropical Forests. **Annals of Botany**, v. 99 (5), p. 1003–15, 2007. DOI:10.1093/aob/mcl066.

WRIGHT, S. J., et al. Functional traits and the growth-mortality trade-off in tropical trees. **Ecology**, v. 91(12), p. 3664-74, 2010. DOI: 10.1890/09-2335.1. PMID: 21302837.

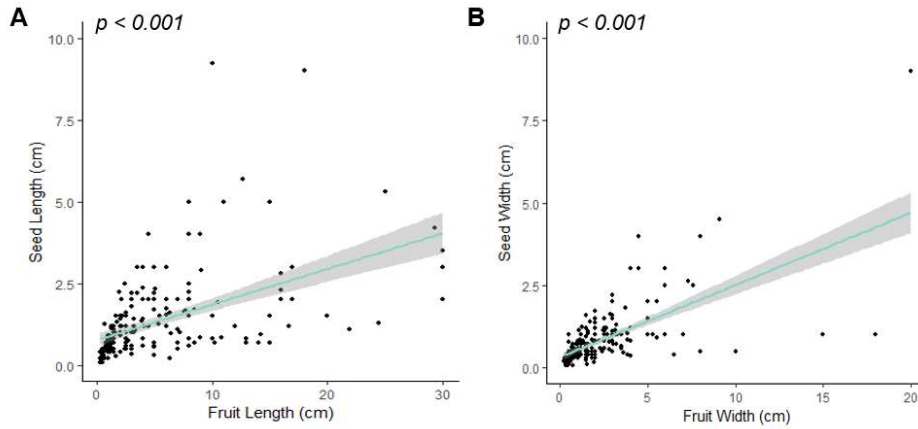
WRIGHT, S.J., et al. Global climatic drivers of leaf size. **Science**, v. 357, p. 917–921, 2017. DOI:10.1126/science.aal4760.

YUAN Z, ALI A, et al. Few large trees, rather than plant diversity and composition, drive the above-ground biomass stock and dynamics of temperate forests in northeast China. **For Ecol Manag** 481:118698, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118698.

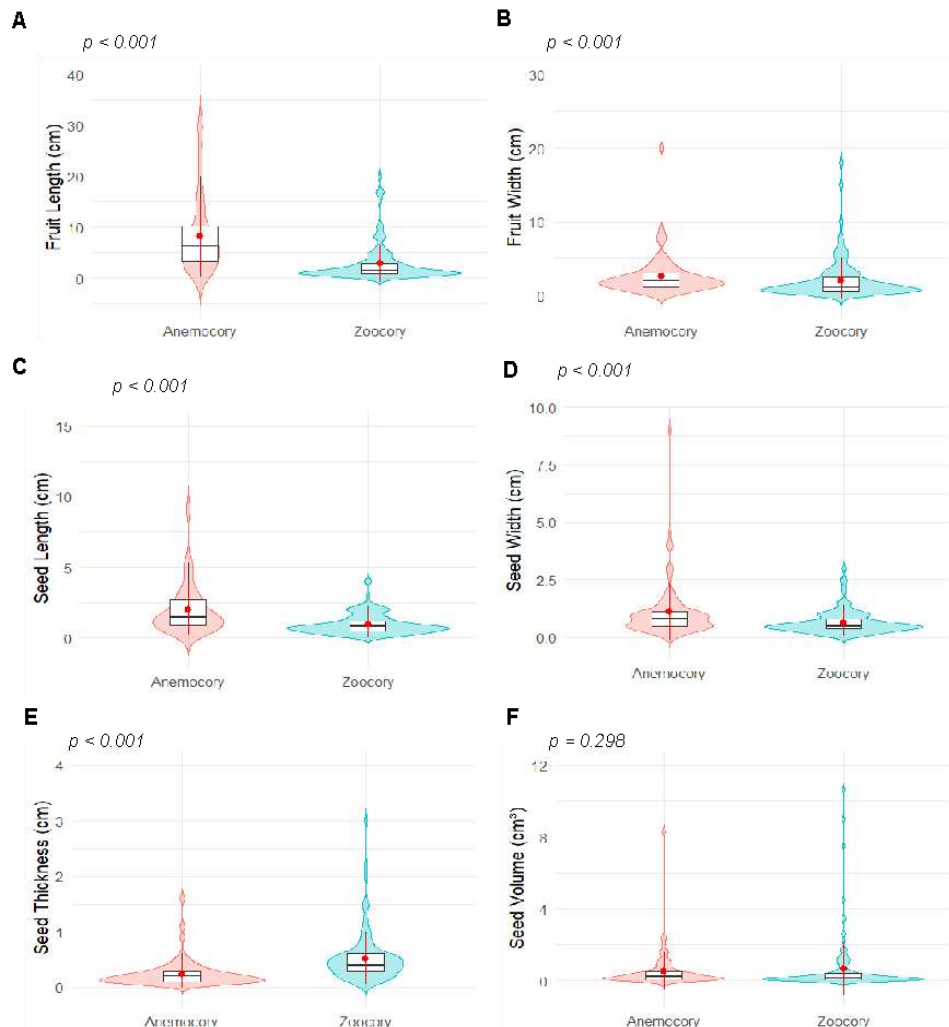
ZANNE, A.E., et al. Global wood density database. **Dryad**, 2009. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

ZHU Z., et al., Greening of the Earth and its drivers. **Nature Climate Change**, v. 6(8): 1064, p. 791-795, 2016.

APÊNDICE



Apêndice I - Modelos lineares simples mostrando a relação positiva e significativa (p valor) entre (A) Comprimento do fruto x Comprimento da semente (B) Largura do fruto x Largura da semente.



APÊNDICE II - Representações tipo violino para as síndromes de dispersão testadas pelo teste Wilcoxon (A) Comprimento do fruto, (B) Largura do fruto, (C) Comprimento da semente, (D) Largura da semente, (E) Espessura da semente (F) Volume da semente.

APÊNDICE III - Melhores modelos globais com os traços funcionais vegetativos como variáveis explicativas das métricas de altura, circunferência, densidade da madeira e estoque de carbono acima do solo a nível de espécie com dados máximos e médios. ****' o *p* valor varia de 0 a 0.001, ***' >0,001 até 0,1 e '**' > 0,1 até 0.05.

Global Model Selection Analyses for vegetative Traits only			
Maximum Height			
Variables	estimate value	z-value	p-value
Leaf Width	-0.009	2.096	0.036*
Petiole Width	0.008	1.518	0.129
Petiole Length	-0.002	0.387	0.669
Average Height			
Leaf Width	-0.004	2.802	0.005**
Petiole Length	-0.003	1.472	0.141
Petiole Width	0.292	2.431	0.015*
Maximum Circumference			
Leaf Width	-0.001	1.262	0.207
Petiole Length	-0.000	0.502	0.616
Leaf Length	-0.001	0.781	0.435
Petiole Width	-0.000	0.389	0.697
Average Circumference			
Leaf Width	-0.002	1.709	0.087
Petiole Length	-0.001	1.131	0.258
Petiole Width	0.000	0.822	0.411
Wood Density			
Leaf Length	-0.016	1.551	0.121
Petiole Length	-0.013	1.333	0.183
Petiole Width	-0.009	0.980	0.327
Maximum Aboveground Carbon Stock			
Leaf Width	0.140	1.280	0.200
Petiole Length	0.062	0.562	0.574
Petiole Width	0.369	0.334	0.738
Leaf Length	0.013	0.117	0.907
Average Aboveground Carbon Stock			
Leaf Width	0.138	1.672	0.095
Petiole Length	0.133	1.566	0.117
Petiole Width	-0.099	1.300	0.193

APÊNDICE IV - Melhores modelos globais com os traços funcionais reprodutivos como variáveis explicativas das métricas de altura, circunferência, densidade da madeira e estoque de carbono acima do solo a nível de espécie com dados máximos e médios. ****' o *p* valor varia de 0 a 0.001, ***' >0,001 até 0,1 e '**' > 0,1 até 0.05.

Global Model Selection Analyses for reproductive traits only			
Maximum Height			
Variables	estimate value	z-value	p-value
Seed Volume	-0.000	0.271	0.786
Seed Thickness	-0.000	0.214	0.831
Seed Length	-0.000	0.123	0.902
Seed Width	-0.000	0.073	0.942
Fruit Width	0.000	0.043	0.966
Fruit Length	-0.000	0.031	0.975
Average Height			
Seed Thickness	-0.008	1.297	0.195
Fruit Width	0.007	0.813	0.416
Seed Length	0.005	0.645	0.519
Fruit Length	-0.002	0.300	0.764
Seed Volume	-0.002	0.231	0.817
Seed Width	0.001	0.194	0.846

Maximum Circumference (log)			
Seed Volume	7.438	3.131	0.002**
Fruit Length	2.131	0.955	0.339
Fruit Width	2.005	0.822	0.411
Seed Length	0.197	0.076	0.939
Average Circumference (log)			
Seed Thickness	0.140	1.860	0.063
Seed Volume	1.460	1.755	0.079
Fruit Length	0.994	1.206	0.228
Fruit Width	0.549	0.702	0.483
Seed Length	-0.698	0.689	0.491
Seed Width	0.124	0.163	0.871
Wood Density			
Fruit Length	0.004	4.106	> 0.001*
Fruit Width	-0.031	2.486	0.013*
Seed Width	0.018	1.382	0.167
Seed Volume	0.012	1.108	0.268
Seed Length	0.012	0.982	0.326
Seed Thickness	0.008	0.903	0.366
Maximum Aboveground Carbon Stock (log)			
Seed Volume	0.249	2.149	0.031*
Fruit Length	0.077	0.702	0.482
Fruit Width	0.057	0.476	0.634
Seed Length	0.009	0.074	0.941
Average Aboveground Carbon Stock (log)			
Seed Thickness	0.155	2.031	0.042*
Fruit Length	0.121	1.472	0.142
Seed Length	-0.053	0.579	0.563
Fruit Width	-0.048	0.561	0.576
Seed Volume	0.116	1.550	0.121
Seed Width	-0.039	0.445	0.657