RESSALVA

Atendendo solicitação do autor(a) o texto completo será disponibilizado somente a partir de

11/08/2028

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADADE DE CIÊNCIAS E LETRAS – CAMPUS DE ASSIS

PATRÍCIA FERNANDA ROSALEM

ANÁLISE ESTRUTURAL E QUANTIFICAÇÃO DAS RESERVAS DE DEZ ESPÉCIES HERBÁCEAS DO PARQUE NACIONAL DAS EMAS E SUA RELAÇÃO COM O FOGO

ASSIS

2026

PATRÍCIA FERNANDA ROSALEM

ANÁLISE ESTRUTURAL E QUANTIFICAÇÃO DAS RESERVAS DE DEZ ESPÉCIES HERBÁCEAS DO PARQUE NACIONAL DAS EMAS E SUA RELAÇÃO COM O FOGO

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, para obtenção do título de doutora em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica)

Orientadora: Aline Redondo Martins

Bolsista: Patrícia Fernanda Rosalem

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (período: 03/2022 - 05/2024) Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processo Nº 22/12301-4) (período: 06/2024 – 02/2026).

ASSIS

2026

R788a

Rosalem, Patrícia Fernanda
Análise estrutural e quantificação das reservas de dez espécies herbáceas do Parque Nacional das Emas e sua relação com o fogo / Patrícia Fernanda Rosalem. -- Assis, 2026
120 p. : tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis
Orientadora: Aline Redondo Martins

1. Anatomia Vegetal. 2. Órgãos subterrâneos. 3. Estratégias de Persistência vegetal. 4. Compostos de reserva e defesa. 5. Cerrado. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE PATRÍCIA FERNANDA ROSALEM, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS - CÂMPUS DE ASSIS.

Aos 11 de agosto de 2026, às 14h, no(a) Sala de Videoconferência no Campus 1 da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP e sala virtual: meet.google.com/gst-jiby-sjy, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de PATRÍCIA FERNANDA ROSALEM, intitulada "ANÁLISE ESTRUTURAL E QUANTIFICAÇÃO DAS RESERVAS DE DEZ ESPÉCIES HERBÁCEAS DO PARQUE NACIONAL DAS EMAS E SUA RELAÇÃO COM O FOGO". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. ALINE REDONDO MARTINS (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS, Prof.ª Dr.ª ROSANA MARTA KOLB (Participação Virtual) do(a) UNESP / Câmpus de Assis - FCLAs, Profª Drª GRAZIELA CURY GUAPO (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Prof.ª Dr.ª MAKELI GARIBOTTI LUSA (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Profa. Dra. LETICIA SILVA SOUTO (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALINE REDONDO MARTINS
Data: 17/08/2026 10:18:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. ALINE REDONDO MARTINS

Dedico este trabalho aos meus pais Leila S. Fioque Rosalem e José Carlos Rosalem.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, o sustento das horas mais difíceis e por acalmar meu coração inquieto e minha mente turbulenta. Acredito que seja necessário ter alguma fé e esperança para viver e não simplesmente estar vivo.

À Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' – UNESP, por toda a infraestrutura que pude desfrutar ao longo de todos os anos de minha formação. Em especial a Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, onde desenvolvi minha pesquisa e estudei desde 2012. Ao Departamento de Biologia e Zootecnia (DBZ) onde estão localizados os laboratórios de pesquisa. A Faculdade de Ciências e Letras – Campus de Assis e a Faculdade de Ciências – Campus de Bauru pelo suporte acadêmico da Pós-graduação.

À minha orientadora, a Profa. Dra. Aline Redondo Martins, por todos esses anos de instruções, por caminhar comigo e me oferecer direcionamento. Pela paciência com minhas perguntas e pelas vezes que acalmou meu desespero com este projeto.

À Profa. Dra. Liliane Santos de Camargos, pelo auxílio e direcionamento com as análises fisiológicas.

Ao programa de Pós-graduação em Biociências – Interunidades pelo suporte acadêmico e por todo apoio financeiro para as saídas de campo. Aos coordenadores do programa Prof. Dr. Rogerio Caetano da Costa e Prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco, e ao secretário José Lino Alves pelo auxílio com todas as documentações.

A todos os professores pelas aulas, apoio e incentivo à pesquisa e aos estudos.

À Profa. Dra. Andreia Alves Rezende, pelo auxílio durante a incorporação de todo o material botânico no herbário de Ilha Solteira e pelo direcionamento para a identificação. E a toda a equipe do Herbário de Ilha (HISA), por me ajudarem a preparar as exsicatas.

Ao Prof. Dr. Leonardo Borges, pela identificação das espécies e pelas sugestões.

Ao diretor do Parque Nacional das Emas, Marcos Cunha pela autorização da coleta. E a toda equipe pelo suporte técnico em todas as nossas coletas.

À Ercilene Freitas Valentim, minha querida Nena. Pela sua ajuda e principalmente por se importar com esta pesquisa. Por nos ajudar a procurar as plantas que eram quase invisíveis de tão pequenas, mas que com seu olhar cuidadoso encontrou com tanto carinho. A senhora e ao Sr. Cabral, meus mais sinceros sentimentos de gratidão por tudo o que fizeram.

A todos os funcionários do Departamento de Biologia e Zootecnia, por todo o auxílio prestado, direta ou indiretamente a mim e à minha pesquisa. Em especial ao corpo técnico Elisângela Medeiros Melo de Lima, Sidival Antunes de Carvalho e Wilder Jordão, pelo suporte à pesquisa ao longo desses anos, auxiliando com reagentes e durante o uso da estufa e do moinho.

Ao Antonio Torrogrosa Junior e a Meiri Sayuri Nishida Máximo da Cruz da secretaria do DBZ, pela ajuda com as documentações.

Aos técnicos do laboratório de solos e ao professor responsável, Dr. Marcelo Andreotti, pelas análises de solo.

Ao Élton José de Souza, técnico responsável por operar o Microscópio Eletrônico de Varredura.

Aos grupos de pesquisa LEMAV e LFMV, com os quais dividi laboratório, bancadas e muitas conversas. E a todos os colegas que me auxiliaram nas coletas em campo e na volta ao laboratório para fixar e separar o material.

As companheiras de pesquisa que se tornaram amigas com quem sei que posso contar, Beatriz Silvério dos Santos, Nayane C. Pires Bonfim, Maiara L. Grigoli Olivio e Tassia Caroline Ferreira. Pelas conversas, pelos cafés, almoços e pelo apoio durante as análises, principalmente as fisiológicas. E por todo o trabalho que desenvolvemos juntas, em equipe durante a escrita dos artigos. Por me deixarem participar e aprender. Em especial quero agradecer à Tassia, que foi uma grata e maravilhosa surpresa do doutorado, desde o começo. Você me ensinou a pedir ajuda quando eu não conseguia resolver sozinha e me ensinou que está tudo bem em fazer isso. Você sempre foi uma incentivadora e sempre vibrou comigo em cada conquista. A você meu mais sincero sentimento de gratidão.

À Mariana Carvalho e ao seu companheiro, pela paciência ao me ensinarem a trabalhar no programa QGIS. Mari, você me ensinou que retribuir muitas vezes não precisa ser uma obrigação, mas sim ato genuíno.

À minha família pelo apoio emocional, me incentivando e sendo o ponto de equilíbrio, quando meu mundo parecia caótico demais. Aos meus pais, Leila e José Carlos que mesmo sem entender no início o que realmente o doutorado significava, ainda assim entenderam que era importante para mim e me incentivaram. Meus sinceros sentimentos de gratidão por apoiarem essa decisão e darem todo o suporte que precisei para seguir em frente. Eu os amo muito.

Aos meus avós paternos Odive e Maria (in memoriam) e aos meus avós maternos José e Flora. Aos meus tios queridos e amados Ana e Jair (in memoriam) pelo carinho e preocupação comigo.

À minha amiga Isabela pelo companheirismo de sempre e por me lembrar que existe vida fora da pós-graduação. Junto também quero agradecer meus amigos Kauan, Guido e Diego que me lembram constantemente de estar rodeada por pessoas que deixam meu coração quentinho. Enchendo-me com suas risadas e conversas malucas, cantando Madona e todas as divas pops, o que deixa meus dias melhores e me faz lembrar o quanto eu amo estar viva.

À minha psicóloga Lais, por conduzir o processo terapêutico, que foi essencial para essa trajetória. Meus mais sinceros sentimentos de gratidão a você.

À banca examinadora da qualificação e defesa, pelas valiosas contribuições e por terem disponibilizado seu tempo para avaliar este trabalho.

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

À FAPESP, processo nº 22/12301-4, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

A cada um aqui mencionado, e a todos que estiveram presentes nessa trajetória mesmo que como um encontro rápido, muito obrigada!

APRESENTAÇÃO

A presente tese está organizada em 3 capítulos que foram redigidos em formato de artigos. Portanto eles estão formatados de acordo com as normas de cada uma das revistas as quais foram submetidos ou pretende-se futuramente submetê-los. Todos os capítulos abordam análises feitas em espécies de Fabaceae coletadas em campo limpo do Cerrado.

O primeiro capítulo aborda a quantificação de compostos de reservas (amido, carboidratos solúveis totais, aminoácidos e proteínas totais) e junto a essas análises ele traz os testes histoquímicos que foram feitos em folíolos, caules aéreos e raízes de cinco espécies analisadas. Tais análises tiveram como objetivo entender as estratégias de persistência relacionadas ao armazenamento de reservas e compostos de defesa. O trabalho foi submetido na revista científica e os pareceres dos revisores foram considerados para submetê-lo em revista científica novamente.

O segundo capítulo aborda a anatomia das partes aéreas vegetativas dessas espécies. Trazendo aspectos anatômicos que foram observados com o auxílio de Microscopia Eletrônica de Varredura e Microscopia de Luz. A finalidade desse capítulo foi entender as estratégias utilizadas para manter esses órgãos aéreos que são importantes no processo da fotossíntese, mas que são perdidos sazonalmente ou pela perturbação do fogo no Cerrado. O trabalho está em revisão em uma revista científica.

Por fim, o terceiro capítulo aborda a anatomia dos sistemas subterrâneos. A caracterização desses órgãos teve por objetivo a descrição e tentativa de compreender as estratégias relacionadas a biomassa subterrânea. O trabalho gerado a partir desse capítulo será submetido em revista cientifica.

RESUMO

A fitofisionomia do campo limpo é um importante constituinte do domínio fitogeográfico do Cerrado brasileiro. Nele as espécies de porte herbáceo e algumas arbustivas são a maioria das formas de crescimento e essas espécies apresentam diferentes estratégias de persistência para sobreviverem no Cerrado. Sabendo disso, o presente estudo teve como objetivo investigar algumas estratégias de persistência, usando como objeto de estudo dez espécies da família Fabaceae de porte herbáceo-arbustivo. Foram quantificados os compostos de reservas de algumas espécies para descrever quais eram os mais abundantes e buscou-se entender, se esses compostos estavam mais concentrados nas partes aéreas ou subterrâneas. Utilizou-se a anatomia para procurar características que mostrassem estratégias de proteção das partes aéreas. E analisou-se anatomicamente os órgãos subterrâneos dessas espécies para classificá-los quanto a seus tipos e para entender suas funções. Para tanto, os materiais foram coletados no Parque Nacional das Emas, Goiás, na região Central do Brasil. As metologias foram seguidas de acordo com os métodos de extração e quantificação dos compostos e os métodos padrões usados para análises anatômicas. Os resultados mostraram que as reservas estão distribuídas em ambos os compartimentos aéreos e subterrâneos e que a concentração em determinado compartimento depende tanto do composto, quanto da espécie, e de forma geral o amido foi o composto mais abundante entre as reservas estudadas. Quanto a anatomia das partes aéreas, os resultados mostraram algumas estratégias de proteção, como a cera, tricomas e substâncias mucilaginosos em quase todas as espécies. E internamente também foram observadas as diferentes configurações do tecido parenquimático e fibras nos tecidos vasculares secundários. Quanto as análises anatômicas dos sistemas subterrâneos, constatou-se que a maioria das espécies apresentaram xilopódios associados a raízes tuberosas. Além disso, também foram detectados nesses órgãos subterrâneos a presença de compostos como amido, proteínas e compostos fenólicos. Conclui-se com esses resultados, que estudos descritivos, podem ajudar a entender estratégias que as espécies vegetais utilizam para persistirem em ambientes como o Cerrado e ainda indicam que as estratégias tendem a ser específicas de cada espécie, sendo necessária análises individuais. Compreender essas estratégias pode ser muito importante para subsidiar ações de conservação e restauração em ambientes ameaçados, como os do Cerrado, o que vai de encontro com a preservação e manutenção desses ecossistemas.

Palavras-chave: Anatomia vegetal, campos abertos; compostos de reservas; estratégias de persistência; Fabaceae; órgãos aéreos; sistemas subterrâneos.

ABSTRACT

The phytophysiognomy of the '*campo limpo'* is an important constituent of the phytogeographic domain of the Brazilian Cerrado. In this phytophysiognomy, herbaceous and some shrubby species constitute most growth forms, and these species exhibit various persistence strategies to survive in the Cerrado. The present study aimed to investigate certain persistence strategies, focusing on ten herbaceous-shrubby species from the Fabaceae family. Reserve compounds in some of the species were quantified to determine which were the most abundant, and the study sought to understand whether these compounds were more concentrated in the aboveground or underground parts. Anatomical analysis was used to identify characteristics indicative of strategies for protecting aerial parts. Additionally, the underground organs of these species were anatomically analyzed to classify their types and understand their functions. To this end, samples were collected at Parque Nacional das Emas in Goiás, in the Central region of Brazil. The methodologies followed the procedures for compound extraction and quantification, and the standard methods used for anatomical analyses. The results showed that reserves are distributed across both aboveground and underground compartments and that the concentration in each compartment depends on both the compound and the species; overall, starch was the most abundant compound among the reserves studied. Regarding the anatomy of the aerial parts, the results revealed certain protective strategies such as wax, trichomes, and mucilaginous substances in almost all species. Internally, variations in the configuration of parenchymal tissue and fibers within the secondary vascular tissues were also observed. Regarding the anatomical analyses of the underground systems, it was found that most of the species exhibited xylopodium associated with tuberous roots. Furthermore, the presence of compounds such as starch, proteins, and phenolic compounds was detected in these underground organs. These results lead to the conclusion that descriptive studies can help elucidate the strategies plant species use to persist in environments such as the Cerrado; furthermore, they indicate that these strategies tend to be species-specific, necessitating individual analyses. Understanding these strategies can be crucial for informing conservation and restoration efforts in threatened environments such as those of the Cerrado thereby supporting the preservation and maintenance of these ecosystems.

Keywords: Aerial organs; Fabaceae; open fields; persistence strategies; plant anatomy reserve compounds; underground systems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....15

1.1 Cerrado.....15

1.2 Visão geral sobre adaptações em ambientes com regime de fogo 16

1.3 Parque Nacional das Emas 17

1.4 A Família Fabaceae: características gerais e alguns estudos.....17

1.5 Justificativa.....18

2 REFERÊNCIAS.....19

3 CAPÍTULO I. Can the distribution of reserves in Fabaceae explain the survival strategies of plants in the Cerrado, Brazil?.....25

3.1 Introduction.....27

3.2 Materials and Methods.....29

3.2.1 Study area and sample separation.....29

3.2.2 Extraction and quantification of reserve carbohydrates.....32

3.2.3 Quantification of amino acids.....32

3.2.4 Quantification of total soluble carbohydrates 33

3.2.6 Quantification of soluble proteins.....33

3.2.7 Quantification of starch 33

3.2.8 Histochemical tests.....34

3.2.9 Statistical analyses.....34

3.3 Results.....35

3.4 Discussion.....44

3.5 References.....48

4 CAPÍTULO II Could the morphoanatomy of the aerial organs of herbaceous, subshrub, and shrub species explain their survival in the Cerrado?.....59

4. 1 Introduction.....61

4. 2 Materials and Methods.....63

4.2.1 Collection área.....63

4.2.2 Botanical material.....63

4.2.3 Light Microscopy: Anatomical Characterization.....66

4.2.4 Histochemical Characterization.....66

4.2.5 Scanning Electron Microscopy (SEM) Micromorphological Characterization.....67

4.3 Results.....67
4.3.1 Description of the leaflets.....67
4.3.2 Description of the stems.....74
4.3.3 Histochemical description.....78
4.4 Discussion.....79
4.5 Conclusion.....82
4.6 References.....82
5 CAPÍTULO III. Análise estrutural dos órgãos subterrâneos de Fabaceae do Cerrado: caracterizar para entender as estratégias de persistência.....89
5.1 Introdução.....91
5.2 Materiais e métodos.....93
5.2.1 Área de estudo.....93
5.2.2 Material botânico.....94
5.2.3 Microscopia de Luz: Caracterização anatômica e histoquímica.....95
5. Resultados.....96
5.4 Discussão.....109
5. 5 Conclusão.....111
5.6 Referências.....112
5.7 Material suplementar.....117
6 CONCLUSÃO.....119

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Cerrado

Localizado majoritariamente no Planalto Central do Brasil, o Cerrado ocupa dois milhões de quilômetros quadrados abrangendo 11 estados brasileiros, formando o segundo maior domínio fitogeográfico do Brasil (Silva et al., 2008). Ele apresenta um clima marcado por invernos secos de abril a setembro e verões chuvosos de outubro a março (Silva et al., 2008; Walter et al., 2008). E nesse sentido, é importante chamá-lo de domínio fitogeográfico e não de bioma, pois sua dimensão geográfica é subcontinental, apresentando características morfoclimáticas e vários tipos vegetacionais, que não são homogêneos (Batalha, 2011; Coutinho, 2006). Portanto ele é constituído pelas chamadas fitofisionomias que são definidas pela fisionomia, ou seja, estrutura, formas de crescimento dominantes e por possíveis mudanças estacionais e pelos aspectos ambientais como os fatores edáficos e sua composição florística (Ribeiro & Walter, 2008). Em alguns estudos essas fitofisionomias são organizadas em campo tropical (campo limpo), savana (campo sujo, campo cerrado e cerrado sensu stricto) e a floresta estacional (cerradão) (Batalha, 2011; Coutinho, 2006). Porém em outros estudos eles são classificadas entre formações florestais cuja predominância de espécies arbóreas podem formar dossel contínuo ou descontínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas onde as árvores e arbustos estão espalhados entre gramíneas, sem formar um dossel contínuo (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres que são compostas por espécies herbáceas e arbustivas sem a presença de arbóreas (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre) (Ribeiro & Walter, 2008). Assim sendo, entre as fitofisionomias campestres, algumas diferenças podem ser observadas, como por exemplo, arbustos e sub-arbustos entre as herbáceas no campo sujo, enquanto no campo limpo ocorre a predominância de herbáceas com poucos arbustos de caules finos e no campo rupestre apesar de compartilhar similaridades com tais vegetações, sua ocorrência em afloramentos rochosos e alto endemismo das espécies o diferencia (Furley, 1999; Ribeiro & Walter, 2008).

Diante disso, no Cerrado o fogo tem funcionado como um fator evolutivo gerando uma diversificação de linhagens de plantas endêmicas (Simon et al., 2009). E essa vegetação foi constantemente se adaptando ao fogo, ao longo dos últimos 12 mil anos e, em alguns casos, se tornando dependente dele para manter sua reprodução e sobrevivência (Durigan, 2020). Em espécies herbáceas subarbustivas do Cerrado, o fogo pode favorecer o florescimento e a dispersão de frutos e sementes (Coutinho, 1976), favorecendo a reprodução sexuada de tais espécies, promovendo a deiscência e ou abertura dos frutos e infrutescências, causando a

liberação das sementes garantindo assim a sobrevivência e germinação (Coutinho, 1977) e há inclusive espécies que tem o florescimento estimulado em 24 horas após a passagem do fogo, como é o caso de algumas Cyperaceae (Fidelis et al., 2019; Pilon et al., 2023). Assim, sabe-se que o fogo é muito importante no funcionamento do Cerrado, de maneira que sua ausência pode causar perda da biodiversidade, alterar os processos ecológicos e comprometer os serviços ecossistêmicos de ordem continental (Durigan & Ratter, 2016).

1.2 Visão geral sobre adaptações em ambientes com regime de fogo

Portanto, em ambientes cujo regime do fogo é frequente as espécies do estrato arbóreo tendem a apresentar em seus caules cascas mais espessas, o que confere maior proteção para as gemas aéreas durante a passagem do fogo (Clarke et al., 2013; Charles-Dominique et al., 2015). Tendo na literatura mais descrição sobre as estratégias de espécies arbóreas do que estratégias de espécies de porte herbáceo (Pilon et al., 2020). No entanto, os esforços para compreender as estratégias de sobrevivência das espécies herbáceas vem sendo aumentados, e suas análises propõem que o rebrotamento seja a principal estratégia desse grupo (Pilon et al., 2023; Zupo et al., 2021). Tal estratégia tem por consequência apresentar diferentes tipos de sistemas subterrâneos como raízes com gemas, coroas de raízes, rizomas não lenhosos, rizomas lenhosos, 'lignotubers' e xilopódios (Klimešová et al., 2018; Pausas et al., 2018). E esses órgãos subterrâneos podem armazenar compostos de reserva e defesa, lignina, água e nutrientes, auxiliando nas variações sazonais em muitas herbáceas (Ottaviani et al., 2020, da Silva & Rossatto, 2019; Pausas et al., 2018). Além de desempenhar funções como persistência local, ocupação de espaço e rebrotamento após a remoção da biomassa aérea (Klimešová et al., 2018).

Sabendo disso, analisar e identificar as reservas dos vegetais como os carboidratos não estruturais, pode contribuir para entender estratégias de sobrevivência, pois eles servem de substratos para os metabolitos primários e secundários, fazendo parte de muitos processos vitais (Hartmann & Trumbore, 2016). Em conjunto, análises anatômicas podem mostrar como são os tecidos dessas espécies e como efeito, isso pode ajudar a entender quais são os tipos de sistemas subterrâneos que cada uma apresenta, levando a compreensão das dinâmicas abaixo do solo (Appezzato-da-Glória et al., 2008; Pilon et al., 2023).

Adicionalmente, nos órgãos aéreos por exemplo podem ser investigadas a cutícula das plantas, que cobre toda epiderme, as células-guarda dos estômatos e os tricomas (Samuels et al., 2008), tendo como principal função formar uma barreira fixa que impede a perda excessiva de água por transpiração e que ainda protege fisicamente a epiderme dos órgãos aéreos contra

patógenos, luz solar e entrada de poeira (Bargel et al., 2006; Yeats & Rose, 2013). Já a cera presente na cutícula pode ser uma importante proteção contra a radiação, reduzindo sua absorção (Shellakkutti et al., 2022). Ademais, nos tecidos mais externos do corpo vegetal, outras células especializadas como os tricomas tem como características fundamentais fornecer suporte mecânico e resistência (Becraft, 1999) sendo bons indicativos de adaptações.

1.3 Parque Nacional das Emas

Sabendo do exposto acima, um local onde podemos encontrar uma área significativamente preservada do Cerrado é o Parque Nacional das Emas (PNE) (Batalha & Martins, 2002). Apresentando diversas fitofisionomias; dentre elas campo limpo, campo sujo e campo úmido (Amorim & Batalha, 2008), os últimos registros florísticos do parque mostram que Fabaceae foi a primeira família mais rica entre as lenhosas e a segunda entre as herbáceas (Batalha & Martins, 2007; Batalha & Martins, 2002).

1.4 A Família Fabaceae: características gerais e alguns estudos

Considerando sua abundância nesse ambiente, Fabaceae se torna interessante para se estudar do ponto de vista de características estruturais e químicas. Além disso, tal família apresenta muitas formas de crescimento e está espalhada por todo o mundo em praticamente todos os tipos de ambientes terrestres (Schrire et al., 2005), com uma variedade de características funcionais (Hughes et al., 2025). Cuja sua diversidade ainda precisa ser mais bem compreendida, tendo muitas características morfológicas, taxonômicas e biogeográficas para explorar (Borges et al., 2025). E atualmente tem mais de 22.000 espécies distribuídas em mais de 800 gêneros (https://www.legumedata.org/), sendo inclusive dividida em 6 subfamílias: Duparquetioideae, Cercidoideae, Detarioideae, Dialioideae, Caesalpinioideae, Papilionoideae (LPWG et al., 2017).

Dito isto, na literatura estudos sobre metabolismo de reservas em Fabaceae documentam a respeito da mobilização de reservas nas sementes durante a germinação (Ataíde et al., 2017), teores de amido nas sementes (Bakhshy et al., 2020), teores de carboidratos, lipídios e proteínas durante a germinação em diferentes temperaturas (Reis et al., 2020). Ademais, poucos relatos sobre a relação positiva entre os teores de amido nas raízes com o vigor do rebrotamento em espécies são encontrados. Um exemplo de tal estudo pode ser observado para *Lotus japonicus* (Regel) K.Larsen e de suas variantes naturais (Vriet et al., 2014).

Em relação ao fogo um estudo com a espécie *Vachellia karroo* (Hayne) Banfi & Galasso (sin. *Acacia karroo* Hayne) investigou como as mudas alocam carbono para se desenvolver e se proteger do fogo utilizando a partição de carbono, armazenamento e remobilização do mesmo (Wigley et al., 2009). E recentemente um estudo com espécies arbustivas do Cerrado também mostrou a quantificação de compostos de reservas e de defesa em órgãos aéreos e subterrâneos (Cozin et al., 2024a).

Quanto aos estudos anatômicos, a literatura para a família Fabaceae, aborda a descrição da anatomia foliar, como por exemplo modificações causadas pela chuva ácida (Sant'Anna-Santos et al., 2006), para descrição de novas espécies para auxiliar na taxonomia (Flores-Cruz et al., 2004; Souto et al., 2021), agrupamento de espécies devido a características estomáticas (Montaño et al., 2018), cavidades secretoras (Fortuna-Perez et al., 2012, 2021; Palermo et al., 2022) e morfologia e anatomia do pulvino (Rodrigues & Machado, 2006, 2007; Sleboda et al., 2023). Também são encontrados estudos que abordam anatomia da madeira em espécies arbóreas (Carnieletto & Marchiori, 1993; Marchiori, 1996). E recentemente os órgãos subterrâneos de Fabaceae também vem sendo descritos quanto a sua anatomia e morfologia (Leal et al., 2024) sua origem e ontogenia (Cozin et al., 2024b).

1.5 Justificativa

Sendo assim, o exposto acima mostra alguns estudos dentre muitos que foram publicados sobre Fabaceae, mas ainda são necessárias mais investigações sobre suas estratégias de persistência em locais como o Cerrado, que é tão rico, e apresenta características tão próprias como a relação com o fogo. Dessa forma, avaliar quais as estratégias morfoanatômicas e a quantificação das reservas a partir dos órgãos vegetativos de espécies do estrato herbáceo-arbustivo, pode contribuir para o conhecimento detalhado de mais espécies no Cerrado.

Tal contribuição é fundamental para compreensão das estratégias de proteção contra estresses abióticos e bióticos. Um exemplo dessas interações são o valor ecológico dos tricomas foliares, uma vez que suas diferenças estão relacionadas ao ambiente e assim podem ter relevância na determinação de táxons (Mendes et al., 2021). No caso do gênero *Mimosa*, foram relatados 10 tipos diferentes de tricomas, os quais foram encontrados em vários órgãos das plantas, considerados pelos especialistas como uma forma de diferenciar espécies dentro do grupo (Santos-Silva et al., 2013). E como o Parque Nacional das Emas apresenta uma grande área de Cerrado, elaborar estudos nessas áreas, pode trazer novas informações sobre as espécies do estrato herbáceo-arbustivo, tanto abordando informações químicas quanto anatômicas.

Bombo, A.B., Appezzato-da-Glória, B., Martins, R., Fidelis, A., 2024. Belowground organs and bud bank: Insights on morphoanatomical functional traits related to fire. Folia Geobot 58, 259–273. https://doi.org/10.1007/s12224-023-09437-2

Borges, L., Simon, M., Moura, T., Queiroz, L., Roux, M., 2025. Advances in Legume Systematics 15: Integrating knowledge on the legume family. Brazilian Journal of Botany 48. https://doi.org/10.1007/s40415-025-01098-z

Carlquist, S., 1982. The use of ethylenediamine in softening hard plant structures for paraffin sectioning. Stain Technol 57, 311–317. https://doi.org/10.3109/10520298209066729

Chapin III, F.S., Schulze, E., Mooney, H.A., 1990. The Ecology and Economics of Storage in Plants. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 21, 423–447. https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002231

Chowdhary, V., Alooparampil, S., Pandya, R., Tank, J., 2022. Physiological Function of Phenolic Compounds in Plant Defense System. https://doi.org/10.5772/intechopen.101131

Clarke, P.J., Lawes, M.J., Midgley, J.J., Lamont, B.B., Ojeda, F., Burrows, G.E., Enright, N.J., Knox, K.J.E., 2013. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. New Phytol 197, 19–35. https://doi.org/10.1111/nph.12001

Coutinho, L., 2006. O conceito de bioma. Acta Botanica Brasilica 20, 13–23. https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100002

Cozin, B.B., Ferreira, T.C., Daibes, L.F., de Carvalho, I.F., Dos Santos, B.S., de Souza, R.P., de Camargos, L.S., Martins, A.R., 2024. Unveiling the hidden reserves: allocation strategies associated with underground organs of Cerrado legumes in fire-prone savannas. Funct Plant Biol 51, FP24104. https://doi.org/10.1071/FP24104

da Silva, B.P., Rossatto, D., 2019. Are underground organs able to store water and nutrients? A study case in non-arboreal species from the Brazilian Cerrado. Theoretical and Experimental Plant Physiology 31. https://doi.org/10.1007/s40626-019-00155-9

da Silva, J.R., Yule, T.S., Scremin-Dias, E., 2020. Structural features and contribution of belowground buds to conservation of Fabaceae species in a seasonally dry Neotropical environment. Flora 264, 151570. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151570

de Moraes, M.G., de Carvalho, M.A.M., Franco, A.C., Pollock, C.J., Figueiredo-Ribeiro, R. de C.L., 2016. Fire and Drought: Soluble Carbohydrate Storage and Survival Mechanisms in Herbaceous Plants from the Cerrado. BioScience 66, 107–117. https://doi.org/10.1093/biosci/biv178

Durigan, G., 2020. Zero-fire: Not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. Flora 268, 151612. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612

Durigan, G., Ratter, J.A., 2016. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. Journal of Applied Ecology 53, 11–15. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559

Faleiro, R., da Silva, G.S., Pilon, N.A.L., de Aguiar, C.L., Appezzato-da-Glória, B., 2022. Attributes that ensure Cerrado shrub layer resilience after afforestation: The case of *Psidium grandifolium*. South African Journal of Botany 149, 6–18. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.05.040

Ferraro, A., da Silva, G.S., de Aguiar, C.L., Appezzato-da-Glória, B., 2021. Evaluating belowground bud banks of native species from Cerrado: Structural, chemical, and ecological approaches. Flora 281, 151852. https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151852

Ferraro, A., Silva, G.S., Martins, A.R., Piedade, S.M.D.S., Fidelis, A., Appezzato-da-Glória, B., 2022. Seasonality affects the below-ground bud bank dynamics of the Cerrado. Journal of Vegetation Science 33, e13165. https://doi.org/10.1111/jvs.13165

Ferrer, J.-L., Austin, M.B., Stewart, C., Noel, J.P., 2008. Structure and function of enzymes involved in the biosynthesis of phenylpropanoids. Plant Physiology and Biochemistry, Plant structural biology 46, 356–370. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.12.009

Furley, P.A., 1999. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. Global Ecology and Biogeography 8, 223–241. https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.1999.00142.x

Gerlach, D., 1984. Botanische Mikrotechnik: eine Einführung. Thieme.

Gibson, L.J., 2012. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. J R Soc Interface 9, 2749–2766. https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0341

Hartmann, H., Trumbore, S., 2016. Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees – from what we can measure to what we want to know. New Phytologist 211, n/a-n/a. https://doi.org/10.1111/nph.13955

Hayashi, A., Appezzato-da-Glória, B., 2007. Anatomy of the underground system in *Vernonia grandiflora* Less. and *V. brevifolia* Less. (Asteraceae). Brazilian Archives of Biology and Technology 50, 979–988. https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000700009

Hayashi, A., Appezzato-da-Glória, B., 2005. The origin and anatomy of rhizophores in *Vernonia herbacea* and *V. platensis* (Asteraceae) from the Brazilian Cerrado. Australian Journal of Botany 53, 273–279. https://doi.org/10.1071/BT04094

Hughes, C., Ringelberg, J.J., Bruneau, A., 2025. Legumes. Current Biology 35, R323–R328. https://doi.org/10.1016/j.cub.2025.03.049

Johansen, D.A., 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill, New York.

Klimešová, J., 2024. Belowground plant organs and their functional ecology. Introduction. Folia Geobotanica 58. https://doi.org/10.1007/s12224-024-09443-y

Klimešová, J., Herben, T., 2024. Belowground morphology as a clue for plant response to disturbance and productivity in a temperate flora. The New phytologist 242. https://doi.org/10.1111/nph.19584

Klimešová, J., Martínková, J., Ottaviani, G., 2018. Belowground plant functional ecology: Towards an integrated perspective. Functional Ecology 32, 2115–2126. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13145

Klimešová, J., Martínková, J., Pausas, J.G., de Moraes, M.G., Herben, T., Yu, F.-H., Puntieri, J., Vesk, P.A., de Bello, F., Janeček, Š., Altman, J., Appezzato-da-Glória, B., Bartušková, A., Crivellaro, A., Doležal, J., Ott, J.P., Paula, S., Schnablová, R., Schweingruber, F.H., Ottaviani, G., 2019. Handbook of standardized protocols for collecting plant modularity traits. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 40, 125485. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2019.125485

Leal, A.S., Fidelis, A., de Araujo, M.A., Cozin, B.B., Martins, A.R., 2024. Belowground systems in tropical savanna: Fabaceae morphoanatomical traits and their relation to fire. Plant Biol (Stuttg) 26, 1118–1130. https://doi.org/10.1111/plb.13730

Lubbe, F.C., Bitomský, M., Hajek, T., de Bello, F., Doležal, J., Jandová, V., Janeček, Š., Bartušková, A., Lanta, V., Klimešová, J., 2021. A tale of two grasslands: how belowground storage organs coordinate their traits with water-use traits. Plant Soil 465, 533–548. https://doi.org/10.1007/s11104-021-05031-7

Luque, R., Sousa, H.C. de, Kraus, J.E., 1996. Métodos de coloração de Roeser (1972): modificado - e Kropp (1972) visando a substituição do azul de astra por azul de alcian 8GS ou 8GX. Acta Bot. Bras. 10, 199–212. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-33061996000200001

Melo-de-Pinna, G., Edson Chaves, B., Menezes, K., Lemos, R., Santos-da-Cruz, B., Devecchi, M., Pirani, J.R., 2022. Underground system of geoxylic species of *Homalolepis* Turcz. (Simaroubaceae, Sapindales) from the Brazilian Cerrado. Brazilian Journal of Botany 45. https://doi.org/10.1007/s40415-021-00761-5

Menezes, N.L., Muller, C., Sajo, M.G., 1979. Um Novo e Peculiar Tipo de Sistema Subterrâneo em Espécies de *Vernonia* da Serra do Cipó (Minas Gerais, Brasil). Boletim de Botânica 7, 33–38. https://doi.org/10.11606/issn.2316-9052.v7i0p33-38

Murphy, B.P., Andersen, A.N., Parr, C.L., 2016. The underestimated biodiversity of tropical grassy biomes. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 371, 20150319. https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0319

O'Brien, T.P., McCully, M.E., 1981. The Study of Plant Structure: Principles and Selected Methods. Termarcarphi.

Ottaviani, G., Klimešová, J., Charles-Dominique, T., Millan, M., Harris, T., Silveira, F., 2024. The underestimated global importance of plant belowground coarse organs in open biomes for ecosystem functioning and conservation. Perspectives in Ecology and Conservation. https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.01.008

Ottaviani, G., Molina-Venegas, R., Charles-Dominique, T., Chelli, S., Campetella, G., Canullo, R., Klimešová, J., 2020. The Neglected Belowground Dimension of Plant Dominance. Trends in Ecology & Evolution 35, 763–766. https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.06.006

Pausas, J.G., Lamont, B.B., Paula, S., Appezzato-da-Glória, B., Fidelis, A., 2018. Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. New Phytologist 217, 1435–1448.

Paviani, T.I., 1987. Anatomia do desenvolvimento do xilopódio de Brasilia sickii G.M. Barroso. Estágio inicial. Cienc. Cult. 39, 399–405.

Pilon, N.A.L., Freire, C.T.R., Oliveira-Alves, M.J., Oliveira, R.S., 2023. Speedy blooming in Cerrado after fire is not uncommon: New records of Cyperaceae species flowering 24 h after burning. Austral Ecology 48, 1042–1045. https://doi.org/10.1111/aec.13326

Ramos-Neto, M.B., Pivello, V.R., 2000. Lightning Fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking Management Strategies. Environmental Management 26, 675–684. https://doi.org/10.1007/s002670010124

Rasheed, F., Markgren, J., Hedenqvist, M., Johansson, E., 2020. Modeling to Understand Plant Protein Structure-Function Relationships-Implications for Seed Storage Proteins. Molecules 25, 873. https://doi.org/10.3390/molecules25040873

Ribeiro, J., Walter, B., 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. pp. 151–212.

Rizzini, C.T., Heringer, E.P., 1961. Underground organs of plants from some southern Brazilian savannas, with special reference to the xylopodium. Phyton 17, 105–124.

Silva, F.A.M. da, Assad, E.D., Evangelista, B.A., 2008. Caracterização climática do bioma Cerrado. Cerrado: Ecologia E Flora 69–88.

Silva, G.S. da, Ferraro, A., Aguiar, C.L. de, Appezzato-da-Glória, B., Cook, G., 2021. Resprouting strategies of three native shrub Cerrado species from a morphoanatomical and chemical perspective. Aust. J. Bot. 69, 527–542. https://doi.org/10.1071/BT21039

Simon, M., Grether, R., Queiroz, L., Skema, C., Pennington, R., Hughes, C., 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106, 20359–64. https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106

Vilhalva, D.A.A., Appezzato-da-Glória, B., 2006. Morfo-anatomia do sistema subterrâneo de *Calea verticillata* (Klatt) Pruski e *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff - Asteraceae. Braz. J. Bot. 29, 39–47. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100005

Zupo, T., Daibes, L.F., Pausas, J.G., Fidelis, A., 2021. Post-fire regeneration strategies in a frequently burned Cerrado community. Journal of Vegetation Science 32, e12968. https://doi.org/10.1111/jvs.12968

6 CONCLUSÃO

Ao final desses três capítulos, podemos dizer que tanto a quantificação dos compostos de reservas, quanto a morfologia e a anatomia dos órgãos aéreos e subterrâneos, puderam contribuir para fornecer uma base de dados bastante significativos. No primeiro capítulo a quantificação dos compostos de reservas mostrou que o compartimento onde as reservas são mantidas depende tanto da espécie, quanto do tipo de composto, assim como a concentração de cada composto também depende da espécie. Isso indica que cada espécie apresenta estratégias especificas e confirma a importância de estudá-las individualmente. Além disso, este estudo ressaltou que espécies de uma mesma família apresentam diferentes estratégias que dão suporte para sua persistência no ambiente onde estão inseridas.

No segundo capítulo, a anatomia dos órgãos aéreos, embora seja descritiva, pode mostrar diferentes características, que contribuem para a sobrevivência dessas espécies no Cerrado. Foram destacadas algumas características das folhas e dos caules como a cera, os tricomas, o parênquima e os tecidos vasculares, todos com valores ecológicos devido a suas funções para as plantas. Para cada uma das espécies essas características que compõe o órgão são diferentes e separadamente ou em conjunto, elas indicam as estratégias de persistência das partes aéreas dessas espécies no Cerrado.

Quanto ao terceiro capítulo, os resultados da caracterização morfológica e anatômica dos sistemas subterrâneos, mostraram que a maioria das espécies apresentaram xilopódio associado a raízes tuberosas. A configuração dos tecidos e o valor ecológico deles foram discutidos ao longo do texto com o intuito de melhorar a compreensão sobre as estratégias de persistência dessas espécies. A presença do xilopódio associado a raízes tuberosas na maioria dessas espécies, evidencia a capacidade de formar novas gemas e rebrotar após a perca das partes aéreas diante de estresse abiótico e biótico que ocorrem no Cerrado.

No fim, entende-se que quanto mais espécies forem estudadas em relação ao teor de reservas, anatomia e morfologia, mais poderemos compreender suas estratégias de persistência. Somando mais estudos como esses, com outras espécies e outras famílias, principalmente no estrato herbáceo-arbustivo do campo limpo, teremos um conjunto de dados que mostrarão adaptações importantes dessas espécies a sazonalidade e aos eventos de fogo. Futuramente, estudos que investiguem essas características em diferentes frequências de fogo podem mostrar como tais atributos são influenciados ou não pelo fogo. Isso pode ajudar a elaborar melhores formas de manejar e preservar essas áreas, que passam por manutenção do fogo e que precisam

dele para continuar existindo. Os esforços para preservar o Cerrado precisam continuar e isso só será possível se o conhecermos sua biodiversidade.