



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
VEGETAL



BRUNA DIONISIO GOMES

ESTUDOS SOBRE ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS E TRAÇOS
FUNCIONAIS NO CERRADO *LATO SENSU*

Uberlândia-MG
2025

BRUNA DIONISIO GOMES

ESTUDOS SOBRE ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS E TRAÇOS FUNCIONAIS NO
CERRADO LATO SENSU

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Biologia Vegetal da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Biologia vegetal
Orientador: Prof. Dr. André Rosalvo Terra
Nascimento

Uberlândia–MG

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

G633 Gomes, Bruna Dionísio, 1990-
2025 Estudos sobre estratégias adaptativas e traços funcionais no
Cerrado lato sensu [recurso eletrônico] / Bruna Dionísio Gomes. -
2025.

Orientador: André Rosalvo Terra Nascimento .
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Biologia Vegetal.
Modo de acesso: Internet.
DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.406>
Inclui bibliografia.

1. Botânica. I. , André Rosalvo Terra Nascimento,1969-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação
em Biologia Vegetal. III. Título.

CDU: 581

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal
Rua Ceará s/n, Bloco 2D, Sala 19A - Bairro Umuarama, Uberlândia-MG, CEP 38405-320
Telefone: (34) 3225-8640 - www.ppgbv.ib.ufu.br - bioveg@inbio.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Biologia Vegetal			
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico nº 110/PPGBV			
Data:	Trinta e um de julho de dois mil e vinte e cinco	Hora de início:	15:40	Hora de encerramento:
Matrícula do Discente:	12322BVE002			
Nome do Discente:	Bruna Dionísio Gomes			
Título do Trabalho:	Estudos sobre estratégias adaptativas e traços funcionais no Cerrado <i>lato sensu</i>			
Área de concentração:	Biologia Vegetal			
Linha de pesquisa:	Processos em Biologia Vegetal			
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Ecologia e Restauração da Vegetação de Cerrado e Ambientes Neotropicais			

Reuniu-se no Auditório Dr. Warwick Estevam Kerr - Bloco 4K, Campus Umuarama, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, assim composta: Professores Doutores Ana Paula de Oliveira (UFG), Danúbia Magalhães Soares (LARE-UFU) e André Rosalvo Terra Nascimento (UFU) - orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, o Dr. André Rosalvo Terra Nascimento, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Andre Rosalvo Terra Nascimento, Presidente**, em 01/08/2025, às 14:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danúbia Magalhães Soares, Usuário Externo**, em 01/08/2025, às 15:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula de Oliveira, Usuário Externo**, em 01/08/2025, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6549457** e o código CRC **OEE7AF21**.

Referência: Processo nº 23117.052069/2025-73

SEI nº 6549457



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Instituto de Biologia

Diretoria do Instituto de Biologia

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal

Rua Ceará s/n, Bloco 2D, Sala 19A - Bairro Umuarama, Uberlândia-MG, CEP 38405-320

Telefone: (34) 3225-8640 - www.ppgbv.ib.ufu.br - bioveg@inbio.ufu.br



OFÍCIO Nº 67/2025/PPGBV/DIRINBIO/INBIO-UFU

Uberlândia, 18 de agosto de 2025.

Ao Sr. João Martins Neto

Coordenador da Divisão de Apoio à Pós-graduação - DIAPG

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3P, 3º andar, Santa Mônica
38400-902 Uberlândia/MG

Assunto: Registro de Ata de Defesa da Dissertação de Mestrado.

Prezado Senhor,

1. Solicitamos a V.Sª o registro da defesa de Mestrado Acadêmico em Biologia Vegetal no histórico escolar do(a) discente 12322BVE002 - Bruna Dionísio Gomes, conforme ata anexada ao Processo.
2. Informamos que não houve dilação de prazo para a defesa.
3. Declaramos que a defesa constante no processo em tela foi autorizada pelo Colegiado do PPGBV, conforme termos regimentais.
4. Declaramos ainda que o(a) referido(a) discente teve seus dados conferidos no histórico escolar com a realização dos ajustes necessários, não restando nenhuma pendência acadêmica ou documental.
5. Foram verificados os itens:
 - 5.1. Apresentação do diploma de graduação frente e verso sem cortes;
 - 5.2. Apresentação da documentação legal (certidão de registro civil, documento de identificação, CPF, situação regular junto a justiça eleitoral);
 - 5.3. Créditos:
 - 5.3.1. Integralização dos créditos necessários, todos registrados no histórico;
 - 5.3.2. Todos os componentes curriculares com os conceitos obtidos pelo(a) discente devidamente registrados no histórico;
 - 5.4. Informação sobre o ingresso: Processo Seletivo: Pós-graduação - Ingresso 2023/2;
 - 5.5. Dispensa de realizar o Exame de qualificação registrado no histórico;
 - 5.6. Proficiência em Língua Estrangeira registrada no histórico (PBV054).

Anexos: I - Ata de Defesa - Pós-graduação (SEI nº 6549457).

Atenciosamente,

MARIA CRISTINA SANCHES
Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal
Portaria de Pessoal UFU nº 7177, de 30/12/2024.
Instituto de Biologia
Universidade Federal de Uberlândia



Documento assinado eletronicamente por **Maria Cristina Sanches, Coordenador(a)**, em 18/08/2025, às 14:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6597909** e o código CRC **E705CBDF**.

Referência: Caso responda este Ofício, indicar expressamente o Processo nº 23117.052069/2025-73

SEI nº 6597909

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André R. Terra Nascimento

Prof^a. Dr^a. Danúbia Magalhães Soares

Prof^a. Dr^a. Ana Paula de Oliveira (IESA - UFG)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha família, pelo estímulo constante, compreensão nos momentos de ausência e pelo apoio incondicional que me acompanhou em todas as etapas desta jornada acadêmica.

Ao professor André Terra, meu orientador, expresso sincera gratidão pela paciência, dedicação e pelo empenho em transmitir seus conhecimentos de forma clara e motivadora. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa, contribuindo não apenas para o trabalho aqui apresentado, mas também para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço ainda aos colegas e amigos, pela troca de experiências, incentivo e companheirismo, que tornaram este percurso mais leve e enriquecedor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, cujo suporte foi essencial para a concretização desta pesquisa.

Por fim, deixo registrado meu reconhecimento a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que este estudo fosse possível.

RESUMO

O Cerrado *lato sensu*, segundo maior bioma da América do Sul, é reconhecido como um dos principais *hotspots* de biodiversidade mundial, abrigando elevada diversidade de espécies e um mosaico de fitofisionomias que variam de campos abertos a formações florestais densas (RIBEIRO; WALTER, 2008, p. 151). Segundo Klink e Machado (2005, p. 708), “o Cerrado brasileiro concentra cerca de 5% da biodiversidade mundial, configurando-se como patrimônio natural de relevância global”. Rodrigues et al. (2009, p. 4) destacam que: O Cerrado constitui um dos ecossistemas mais ameaçados do planeta em virtude da expansão da fronteira agrícola, da fragmentação de habitats e da perda de biodiversidade. A urgência em compreender suas dinâmicas ecológicas é proporcional à intensidade das pressões antrópicas a que vem sendo submetido. Neste contexto, esta dissertação tem como objetivo analisar, sob a perspectiva da ecologia funcional, as estratégias adaptativas e os traços funcionais que conferem resiliência às espécies vegetais do Cerrado *lato sensu* frente a filtros ambientais naturais e pressões antrópicas. Como destacam Viole et al. (2007, p. 883), os traços funcionais são definidos como “atributos morfológicos, fisiológicos ou fenológicos que impactam diretamente o desempenho das espécies em resposta às condições ambientais”. A pesquisa consistiu em uma revisão sistemática da literatura, fundamentada no protocolo PRISMA (MOHER et al., 2009, p. 2), contemplando publicações entre 2000 e 2025. Foram analisados estudos que abordaram traços morfológicos (altura, área foliar específica, densidade da madeira, estruturas subterrâneas), fisiológicos (taxas fotossintéticas, condutância estomática, uso da água) e fenológicos (floração, frutificação, sazonalidade da queda foliar), em relação a fatores ambientais como fogo, solos ácidos, sazonalidade hídrica e degradação antrópica. Os resultados apontam que espécies de diferentes fitofisionomias compartilham atributos como baixa área foliar específica (SLA), raízes profundas, presença de xilopódios, casca espessa e estratégias conservativas de uso de recursos (GRANT et al., 2014, p. 355). Essas características refletem a ação dos filtros ambientais, como solos oligotróficos e fogo recorrente, que selecionam espécies altamente adaptadas (SILVA et al., 2013, p. 220). Conclui-se que a abordagem funcional aplicada ao Cerrado *lato sensu* não apenas amplia a compreensão sobre seus mecanismos ecológicos, mas também constitui ferramenta estratégica para subsidiar políticas de conservação, manejo e restauração ambiental (MARTINS et al., 2020, p. 5).

Palavras-chave: Cerrado *lato sensu*. Traços funcionais. Estratégias adaptativas. Ecologia funcional. Conservação.

ABSTRACT

The Cerrado *lato sensu*, the second largest biome in South America, is recognized as one of the world's biodiversity hotspots, harboring high species richness and a mosaic of physiognomies ranging from open grasslands to dense forest formations (RIBEIRO; WALTER, 2008, p. 151). As Klink and Machado (2005, p. 708) state, "the Brazilian Cerrado harbors about 5% of global biodiversity, representing a natural heritage of global relevance." According to Rodrigues et al. (2009, p. 4): The Cerrado is one of the most threatened ecosystems in the world due to agricultural expansion, habitat fragmentation, and biodiversity loss. The urgency to understand its ecological dynamics is proportional to the intensity of anthropogenic pressures it has been facing. In this context, this dissertation aims to analyze, from the perspective of functional ecology, the adaptive strategies and functional traits that confer resilience to plant species in the Cerrado *lato sensu* in response to natural environmental filters and anthropogenic pressures. Violle et al. (2007, p. 883) define functional traits as "morphological, physiological, or phenological attributes that directly influence species' performance in response to environmental conditions." The research consisted of a systematic literature review based on the PRISMA protocol (MOHER et al., 2009, p. 2), covering publications between 2000 and 2025. The review included studies addressing morphological traits (height, specific leaf area, wood density, underground structures), physiological traits (photosynthetic rates, stomatal conductance, water use), and phenological traits (flowering, fruiting, leaf senescence), in relation to environmental factors such as fire, acidic soils, water seasonality, and anthropogenic degradation. The results show that species from different physiognomies share adaptive traits such as low specific leaf area (SLA), deep roots, the presence of xylopodia, thick bark, and conservative resource-use strategies (GRANT et al., 2014, p. 355). These attributes reflect the action of environmental filters such as nutrient-poor soils and recurrent fire, which select highly adapted species (SILVA et al., 2013, p. 220). It is concluded that the functional approach applied to the Cerrado *lato sensu* not only enhances the understanding of its ecological mechanisms but also represents a strategic tool to support conservation, management, and ecological restoration policies (MARTINS et al., 2020, p. 5).

Keywords: Cerrado *lato sensu*. Functional traits. Adaptive strategies. Functional ecology. Conservation.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	p. 05
ABSTRACT	p. 06
INTRODUÇÃO	p. 09
Contextualização do Cerrado: biodiversidade, relevância ecológica e ameaças ..	p. 09
Conceito de ecologia funcional e importância dos traços funcionais.....	p. 11
Problema de pesquisa	p. 14
Hipóteses e lacunas de conhecimento	p. 14
Estrutura da dissertação	p. 15
Objetivos	p. 15
Objetivo geral	p. 15
Objetivos específicos	p. 15
Justificativa	p. 16
Importância científica	p. 17
Importância social e ambiental	p. 17
Relevância metodológica	p. 17
1– FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	p. 18
1.1 O Cerrado: bioma, fitofisionomias e dinâmica ecológica	p. 18
1.1.1 Fitofisionomias principais	p. 20
1.1.2 Histórico de uso e conservação e mapa.....	p. 22
1.1.3 Gráficos.....	p. 23
1.1.4 Mapas.....	p. 24
1.2 Cerrado lato sensu	p. 25
1.2.1 Relação entre traços funcionais e funcionamento de ecossistemas.....	p. 27
1.3 Traços funcionais de plantas no Cerrado	p. 29
1.3.1 Traços morfológicos.....	p. 34
1.3.2 Traços fisiológicos.....	p. 36
1.3.3 Traços fenológicos.....	p. 37
1.4 Filtros ambientais e assembleias de comunidades	p. 37
Quadro Temático – Capítulo 1 (Referencial Bibliográfico).....	p. 39
2 – METODOLOGIA	p.42
2.1 Tipo de pesquisa: revisão sistemática	p. 43
2.2 Protocolo utilizado: PRISMA	p. 43
2.3 Critérios de inclusão e exclusão	p. 43
2.4 Estratégias de busca em bases de dados	p.43
2.5 Organização e análise dos dados	p. 44
3. RESULTADOS.....	p. 45
3.1 Introdução aos Resultados.....	p. 45
3.2 Distribuição temática dos estudos.....	p. 46
3.2.1 Resistência ao fogo.....	p. 46
3.2.2 Tolerância à seca.....	p. 46
3.2.3 Uso e conservação de nutrientes.....	p. 46
3.2.4 Fenologia e interações bióticas.....	p. 46

3.2.5 Filtros ambientais.....	p. 46
4. DISCUSSÃO.....	p. 47
4.1 Comparação dos resultados com a literatura.....	p. 47
4.2 Relevância dos traços adaptativos diante de mudanças climáticas e Antropização	p. 47
4.3 Limitações dos estudos encontrados.....	p. 47
4.4 Perspectivas para manejo, conservação e restauração.....	p. 47
5 – CONCLUSÃO.....	p. 47
REFERÊNCIAS	p. 51
ANEXOS.....	p. 55

INTRODUÇÃO

Contextualização do Cerrado

O Cerrado *Lato Sensu* é reconhecido como o segundo maior bioma da América do Sul, abrangendo aproximadamente 2 milhões de km², o que corresponde a cerca de 22% do território brasileiro (OLIVEIRA; MARINHO-FILHO, 2008). Sua relevância ecológica ultrapassa fronteiras nacionais, pois se trata de uma das savanas mais ricas em biodiversidade do planeta, abrigando milhares de espécies de plantas, muitas delas endêmicas (KLINK; MACHADO, 2005).

Conforme ressaltam Klink e Machado (2005, p. 707), “o Cerrado é uma das formações tropicais mais diversas do mundo, sendo considerado um dos hotspots globais para a conservação da biodiversidade”. Essa característica confere ao bioma não apenas um valor ecológico intrínseco, mas também estratégico, visto que ele desempenha papel essencial na regulação de processos ecológicos regionais e globais.

Além da riqueza florística, o Cerrado *Lato Sensu* é responsável por abrigar nascentes de importantes bacias hidrográficas sul-americanas, como as do rio São Francisco, Tocantins-Araguaia e Paraná (RIBEIRO; WALTER, 2008). Segundo esses autores, a diversidade de fitofisionomias, que varia de campos limpos a matas densas, garante ao bioma uma elevada heterogeneidade estrutural e funcional, fundamental para a manutenção de serviços ecossistêmicos.

No entanto, essa relevância contrasta com a intensidade das pressões antrópicas. Estima-se que mais de 50% de sua vegetação original já tenha sido convertida em áreas de pastagem, agricultura mecanizada e expansão urbana (FERREIRA et al., 2014). De acordo com os autores, “a fragmentação e a perda de habitat no Cerrado brasileiro têm avançado em ritmo acelerado, comprometendo populações e comunidades vegetais” (FERREIRA et al., 2014, p. 528).

A expansão agropecuária é apontada como principal vetor de transformação do bioma. Oliveira e Marquis (2002, p. 11) destacam que “a conversão do Cerrado em campos agrícolas mecanizados representa uma das mais drásticas perdas de cobertura nativa nos trópicos”. Tal cenário intensifica-se com a crescente demanda por commodities agrícolas, especialmente soja, milho e carne bovina, produtos nos quais o Brasil se consolidou como um dos principais exportadores mundiais.

Outro aspecto relevante refere-se ao fogo, fenômeno natural e cultural que há milênios modela a estrutura e composição da vegetação do Cerrado (DURIGAN; RATTER, 2006). Contudo, a frequência e a intensidade atuais dos incêndios, potencializadas por atividades humanas, têm alterado o equilíbrio ecológico. Batalha et al. (2016, p. 350) observam que “*o uso inadequado do fogo associado ao desmatamento e à fragmentação promove mudanças profundas na biodiversidade, muitas vezes irreversíveis*”.

Além das ameaças imediatas, mudanças climáticas representam outro fator de preocupação. Segundo Morellato et al. (2016, p. 62), “*alterações nos regimes de chuva e temperatura podem modificar a fenologia das plantas do Cerrado, afetando polinizadores e demais interações ecológicas*”. Essas mudanças, em longo prazo, podem comprometer tanto a resiliência das espécies quanto os serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma.

Em síntese, o Cerrado constitui uma das áreas mais ricas e ameaçadas do planeta. Sua conservação não deve ser entendida apenas como medida de proteção da biodiversidade local, mas como ação estratégica para a manutenção de processos ecológicos de importância continental. Conforme afirmam Rodrigues et al. (2009, p. 6):

“*O Cerrado deve ser reconhecido como patrimônio natural da humanidade, uma vez que seus serviços ecossistêmicos ultrapassam os limites nacionais, sendo essenciais para o equilíbrio ambiental global.*”

Dessa forma, compreender como as espécies que compõem esse bioma se estruturam, adaptam e respondem às pressões ambientais torna-se um passo fundamental para planejar estratégias de conservação e manejo sustentável.

Ecologia funcional e traços funcionais no Cerrado

Nas últimas décadas, a ecologia funcional emergiu como um dos principais referenciais teóricos para compreender o funcionamento dos ecossistemas. Diferente de abordagens tradicionais, que se concentram apenas na composição de espécies, a ecologia funcional foca nos traços funcionais — características morfológicas, fisiológicas e fenológicas que influenciam diretamente o desempenho das plantas e seus papéis nos ecossistemas (VIOLLE et al., 2007).

Segundo Violle et al. (2007, p. 883), “*o conceito de traço funcional deve estar ligado a sua função ecológica, isto é, a como ele afeta diretamente o desempenho*

do organismo e, em consequência, o funcionamento do ecossistema”. Assim, os traços não apenas descrevem as espécies, mas permitem prever respostas da vegetação a gradientes ambientais e distúrbios.

A aplicação dessa perspectiva no Cerrado *Lato Sensu* tem se mostrado particularmente útil devido à grande heterogeneidade do bioma. Como destacam Gomes e Pereira (2018), a ampla variação de condições edáficas, regimes de fogo e disponibilidade hídrica favorece a coexistência de espécies com diferentes estratégias ecológicas. Isso significa que entender quais traços permitem a persistência das espécies nesse ambiente é essencial para explicar os padrões de biodiversidade e resiliência do bioma.

Entre os traços mais estudados no Cerrado *Lato Sensu* destacam-se: espessura e densidade foliar, massa seca de folhas, altura da planta, diâmetro do caule, profundidade radicular e estratégias de rebrotamento pós-fogo (GRANT et al., 2014; SILVA et al., 2013). Reich (2014, p. 278) sintetiza essa lógica no chamado “*espectro econômico das plantas*”, segundo o qual:

“Espécies vegetais podem ser organizadas em um contínuo que vai de estratégias de aquisição rápida de recursos, com crescimento acelerado, a estratégias de conservação, caracterizadas por maior longevidade foliar e eficiência no uso da água e nutrientes.”

No Cerrado, essa diversidade de estratégias é evidente. Algumas espécies apresentam folhas escleromórficas, com alta densidade, que reduzem a perda de água e aumentam a resistência ao estresse hídrico. Outras investem em sistemas radiculares profundos, capazes de acessar água em camadas subterrâneas, característica fundamental em um bioma marcado por longos períodos de seca (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2008).

Além disso, os traços funcionais estão intimamente relacionados ao regime de fogo, um dos principais moduladores da vegetação do Cerrado *Lato Sensu*. Hoffmann et al. (2012, p. 760) ressaltam que “*a interação entre disponibilidade de recursos, traços funcionais e fogo determina os limites entre savanas e florestas tropicais*”. Assim, compreender essa tríade é essencial para explicar a persistência das savanas brasileiras frente às pressões antrópicas.

A literatura aponta ainda que o estudo de traços funcionais permite integrar diferentes níveis de análise — do indivíduo à comunidade e ao ecossistema (LAVOREL; GARNIER, 2002). Nesse sentido, Martins et al. (2020) defendem que a

incorporação da ecologia funcional em políticas de conservação representa um avanço metodológico, pois possibilita prever como mudanças ambientais impactarão não apenas espécies isoladas, mas todo o funcionamento do bioma.

Essa abordagem também tem implicações práticas na restauração ecológica. Santos e Lima (2017) argumentam que a seleção de espécies baseada em traços funcionais pode aumentar a eficácia de projetos de recuperação do Cerrado, uma vez que permite combinar plantas com diferentes funções complementares, otimizando o restabelecimento de processos ecológicos.

Portanto, o enfoque funcional revela-se uma ferramenta promissora para compreender a complexidade do Cerrado e enfrentar os desafios impostos pela degradação. Como sintetizam Díaz et al. (2016, p. 169): “*A compreensão do espectro global de formas e funções das plantas constitui um passo fundamental para prever como as comunidades vegetais responderão às mudanças globais.*”

Pesquisas no Cerrado e lacunas

Nas últimas décadas, a produção científica sobre o Cerrado tem crescido de forma significativa, abordando desde a descrição fitofisionômica até estudos mais recentes de ecologia funcional. Um marco importante foi o trabalho de Ribeiro e Walter (2008), que sistematizou as principais fitofisionomias do bioma, como campo limpo, campo sujo, cerrado sensu stricto e cerradão. Esses estudos descritivos foram essenciais para o mapeamento e compreensão da heterogeneidade ambiental.

Contudo, a transição para abordagens funcionais ocorreu de forma mais tardia. Somente a partir dos anos 2000 começaram a se consolidar pesquisas que buscavam relacionar traços funcionais das plantas com os gradientes ambientais e regimes de distúrbio característicos do Cerrado (DURIGAN; RATTER, 2006; SILVA et al., 2013). Nesse contexto, o trabalho de Lavorel e Garnier (2002, p. 546) foi pioneiro ao afirmar que “a predição de mudanças na composição das comunidades e no funcionamento dos ecossistemas depende do conhecimento de traços funcionais e de suas respostas às condições ambientais.”

Entre os avanços já conquistados, destacam-se estudos sobre a resposta das plantas à seca (GRANT et al., 2014), a influência dos filtros ambientais na composição de comunidades (SILVA et al., 2013) e a relação entre fogo e distribuição das formações vegetais (HOFFMANN et al., 2012). Também são

notáveis os trabalhos que conectam fenologia e conservação, como o de Morellato et al. (2016), que evidenciam como ciclos reprodutivos e de floração estão associados a mudanças sazonais e pressões antrópicas.

Apesar disso, a literatura ainda apresenta lacunas importantes. Batalha et al. (2016) destacam que a maior parte dos estudos de biodiversidade no Cerrado concentra-se em regiões de maior acesso e proximidade de centros de pesquisa, deixando vastas áreas subamostradas. Do mesmo modo, Martins et al. (2020) ressaltam a necessidade de ampliar a aplicação da ecologia funcional a questões práticas de conservação, como o planejamento de unidades de proteção e projetos de restauração ecológica.

Outro ponto crítico refere-se à integração metodológica. Embora o manual de Pérez-Harguindeguy et al. (2013) tenha estabelecido protocolos padronizados para mensuração de traços funcionais, muitos estudos realizados no Cerrado ainda utilizam metodologias distintas, dificultando comparações mais amplas. Como afirmam Díaz et al. (2016, p. 170):

“A consolidação de um espectro global de formas e funções vegetais só é possível quando há padronização nos métodos de coleta e análise dos traços.”

Além disso, a fragmentação e perda de habitat representam desafios não apenas para a biodiversidade, mas também para a coleta de dados ecológicos. Ferreira et al. (2014) apontam que grande parte das formações originais do Cerrado já foi convertida para pastagens e monocultivos, comprometendo tanto a conservação quanto a representatividade das amostras de pesquisa.

Portanto, embora haja avanços notáveis, ainda persiste a necessidade de estudos que integrem escalas espaciais e temporais, padronizem metodologias e incorporem a ecologia funcional em práticas concretas de manejo e conservação. Como sintetizam Rodrigues et al. (2009, p. 10): “*a conservação do Cerrado exige não apenas conhecimento sobre espécies e ecossistemas, mas também a aplicação desse conhecimento em políticas públicas efetivas e socialmente justas.*”

Problema de pesquisa e hipóteses

Apesar da relevância ecológica e socioambiental do Cerrado, ainda existem lacunas significativas no conhecimento sobre como os traços funcionais das plantas se relacionam com fatores ambientais, distúrbios naturais (como fogo e seca) e pressões antrópicas (BATALHA et al., 2016; MARTINS et al., 2020). Embora

avanços importantes tenham sido alcançados em pesquisas descritivas e em estudos localizados (DURIGAN; RATTER, 2006; HOFFMANN et al., 2012), ainda falta uma síntese abrangente que sistematize os resultados já produzidos e indique tendências gerais.

Essa lacuna metodológica e conceitual é evidenciada pelo fato de que, mesmo com protocolos globais para a mensuração de traços funcionais (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013), os estudos desenvolvidos no Cerrado ainda apresentam grande heterogeneidade quanto aos métodos, variáveis consideradas e escalas analisadas. Tal cenário dificulta não apenas a comparação entre pesquisas, mas também a formulação de estratégias de conservação e restauração orientadas por princípios de ecologia funcional (SANTOS; LIMA, 2017).

Diante disso, emerge o seguinte problema de pesquisa:
De que forma os traços funcionais das plantas do Cerrado lato sensu têm sido estudados na literatura científica e quais tendências, lacunas e implicações esses estudos apresentam para a conservação e manejo do bioma?

A partir dessa questão central, é possível delinear algumas hipóteses orientadoras:

1. Hipótese 1 – A literatura sobre traços funcionais no Cerrado apresenta maior concentração em determinados grupos de plantas e regiões, deixando lacunas significativas em termos de representatividade espacial e taxonômica.

2. Hipótese 2 – Existe grande diversidade metodológica entre os estudos, o que limita comparações diretas e dificulta a consolidação de sínteses mais robustas.

3. Hipótese 3 – Os resultados já produzidos, quando integrados, podem oferecer bases sólidas para a aplicação da ecologia funcional em estratégias de conservação e restauração do Cerrado.

Assim, o presente trabalho busca não apenas sistematizar o conhecimento já existente, mas também identificar lacunas que possam orientar futuras pesquisas e aplicações práticas em ecologia funcional.

Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral:

Realizar uma revisão sistemática da literatura científica sobre os traços funcionais das plantas do Cerrado lato sensu, identificando padrões, tendências,

lacunas de conhecimento e suas implicações para a conservação e o manejo do bioma.

A partir desse objetivo central, definem-se os seguintes objetivos específicos:

1. Mapear a produção científica sobre traços funcionais no Cerrado, destacando a distribuição temporal, espacial e temática dos estudos.
2. Analisar os principais traços funcionais investigados e suas relações com fatores ambientais, distúrbios naturais e pressões antrópicas.
3. Comparar as metodologias utilizadas nos diferentes estudos, apontando convergências e divergências em relação a protocolos padronizados (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).
4. Identificar lacunas de pesquisa quanto à representatividade de regiões, grupos taxonômicos e abordagens funcionais no Cerrado.
5. Discutir as implicações dos resultados obtidos para ações de conservação, restauração ecológica e políticas públicas voltadas ao bioma.

Justificativa

O Cerrado é considerado um dos biomas mais biodiversos do planeta, abrigando aproximadamente 12 mil espécies de plantas vasculares, das quais cerca de 44% são endêmicas (KLINK; MACHADO, 2005, p. 707). Essa riqueza, entretanto, vem sendo ameaçada por pressões antrópicas intensas, como a conversão de áreas naturais em pastagens e monocultivos, fragmentação de habitats e alterações nos regimes de fogo (FERREIRA et al., 2014, p. 528). Nesse contexto, compreender como os traços funcionais das plantas refletem estratégias adaptativas e respostas a perturbações ambientais torna-se essencial para orientar ações de conservação e restauração.

Segundo Violle et al. (2007, p. 883), os traços funcionais são definidos como “*características morfológicas, fisiológicas ou fenológicas mensuráveis em nível individual, que impactam diretamente a aptidão dos organismos e influenciam processos ecossistêmicos*”. Esse enfoque permite ir além da descrição florística tradicional, proporcionando uma análise integrada sobre como a biodiversidade contribui para a resiliência dos ecossistemas. No Cerrado, marcado por condições ambientais extremas, como solos pobres em nutrientes, sazonalidade hídrica e recorrência do fogo, os traços funcionais constituem ferramentas valiosas para

interpretar padrões ecológicos e projetar cenários de mudança (GRANT et al., 2014, p. 353).

Apesar de sua relevância, a produção científica sobre o tema ainda apresenta lacunas. Batalha et al. (2016, p. 350) ressaltam que a fragmentação do conhecimento dificulta a consolidação de estratégias mais abrangentes para o manejo da biodiversidade. De forma semelhante, Martins et al. (2020) destacam que a integração da ecologia funcional em políticas de conservação do Cerrado ainda é incipiente, justamente pela falta de sistematização dos dados já produzidos.

Essa ausência de síntese evidencia a importância de estudos de revisão sistemática, que se diferenciam das revisões narrativas por seguirem critérios rigorosos de busca, seleção e análise de artigos (MOHER et al., 2009). Como salienta Rother (2007, p. v), “*a revisão sistemática constitui uma metodologia robusta para organizar e avaliar criticamente a literatura existente, garantindo maior transparência e confiabilidade nos resultados*”. Nesse sentido, a aplicação do protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) confere validade metodológica ao presente trabalho.

Do ponto de vista prático, a pesquisa se justifica pela necessidade de oferecer subsídios concretos à gestão do Cerrado. Estudos apontam que a incorporação de traços funcionais em programas de restauração ecológica possibilita selecionar espécies com maior potencial de resiliência, aumentando as chances de sucesso dos projetos (SANTOS; LIMA, 2017). Além disso, ao identificar padrões e lacunas no conhecimento, esta dissertação poderá orientar novas investigações, promovendo um ciclo virtuoso entre ciência e tomada de decisão.

A relevância do presente estudo é tripla:

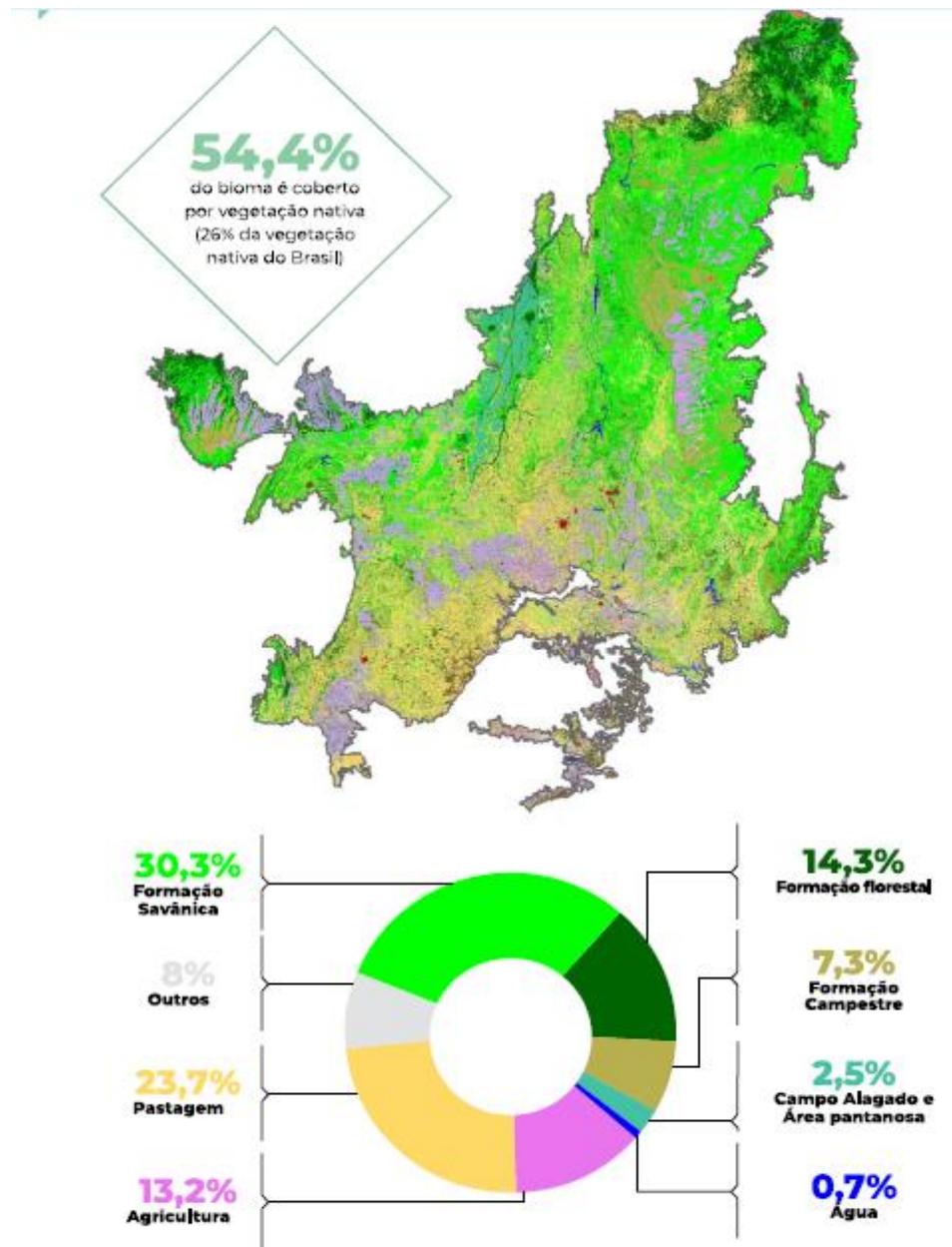
1. Científica, ao sistematizar a produção acadêmica sobre traços funcionais no Cerrado;
2. Ecológica, ao oferecer informações fundamentais para a conservação e manejo sustentável do bioma;
3. Social, ao contribuir para políticas públicas e práticas de restauração que assegurem a manutenção dos serviços ecossistêmicos, dos quais dependem comunidades locais e a sociedade em geral.

Portanto, esta dissertação busca preencher uma lacuna relevante na literatura científica e responder a uma demanda prática urgente: integrar a ecologia funcional

às estratégias de conservação do Cerrado, assegurando sua biodiversidade e funcionalidade ecológica diante das crescentes ameaças.

1– FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 O bioma Cerrado: características gerais



O Cerrado *Lato Sensu* é reconhecido como o segundo maior bioma da América do Sul e considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers

et al., 2000; Klink; Machado, 2005). Sua extensão cobre aproximadamente 2 milhões de km², representando cerca de 23% do território brasileiro, distribuído em uma matriz heterogênea de fitofisionomias que variam desde campos abertos até formações florestais densas (Ribeiro; Walter, 2008). Essa heterogeneidade está diretamente relacionada a fatores edáficos, regimes de fogo, disponibilidade hídrica e interações bióticas, resultando em mosaicos complexos e dinâmicos (Eiten, 1972; Oliveira; Marquis, 2002).

Segundo Ribeiro e Walter (2008, p. 152), “o Cerrado não deve ser entendido como uma vegetação homogênea, mas como um mosaico de fitofisionomias que variam desde campos limpos até matas densas”. Essa variação reflete a interação entre fatores edáficos, climáticos e regimes de distúrbio, sobretudo o fogo, que historicamente moldou sua paisagem. Em uma citação mais extensa, Klink e Machado (2005, p. 707) destacam:

O Cerrado é a savana mais biodiversa do planeta, apresentando uma enorme variedade de espécies de plantas e animais adaptados a condições ambientais extremas, como solos ácidos e pobres em nutrientes, além de períodos prolongados de seca. Essa biodiversidade, entretanto, encontra-se sob intensa ameaça devido à conversão acelerada de suas áreas naturais em pastagens e lavouras mecanizadas, especialmente soja, milho e algodão.

A diversidade estrutural do Cerrado, portanto, reflete não apenas a variabilidade ambiental, mas também o papel central do fogo como fator ecológico. Estudos indicam que a frequência e a intensidade das queimadas afetam diretamente a composição florística e a abundância de espécies lenhosas e herbáceas (HOFFMANN et al., 2012, p. 762).

“Além de sua riqueza biológica, o Cerrado é considerado um berço das águas, por abrigar as nascentes de importantes bacias hidrográficas da América do Sul, como as dos rios Tocantins, São Francisco e Paraná” (FERREIRA et al., 2014, p. 528). Assim, sua degradação compromete não apenas a conservação da biodiversidade, mas também a segurança hídrica de milhões de pessoas.

Contudo, “a expansão agropecuária tem promovido altas taxas de desmatamento e fragmentação, tornando o Cerrado um dos biomas mais ameaçados do Brasil. Estima-se que mais de 50% de sua cobertura original já tenha sido convertida” (BATALHA et al., 2016, p. 350). Nesse sentido, Rodrigues et al. (2009, p. 4) afirmam que “a conservação do Cerrado é um dos maiores desafios

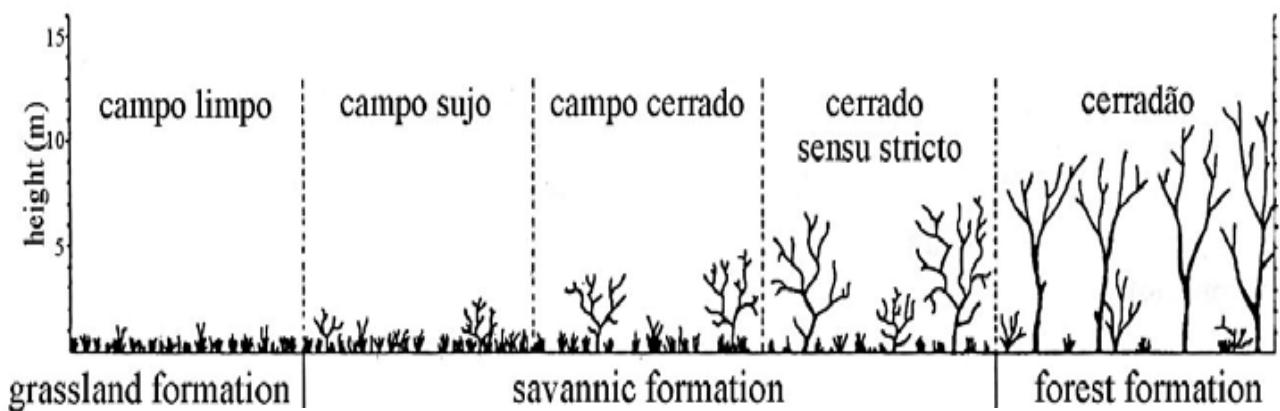
contemporâneos da biologia da conservação, uma vez que sua taxa de perda de habitat supera a da Amazônia”.

Do ponto de vista físico, o Cerrado caracteriza-se por um clima tropical sazonal, com duas estações bem definidas: um período chuvoso, de outubro a abril, e uma estação seca, de maio a setembro. A precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.800 mm, e as temperaturas médias ficam em torno de 22–27 °C. O relevo predominante é suavemente ondulado, com presença de chapadas, planaltos e vales. Já os solos, em sua maioria profundos, ácidos e com baixa fertilidade natural devido à elevada concentração de alumínio, representaram historicamente uma limitação, superada a partir da segunda metade do século XX com técnicas de correção e fertilização, possibilitando a expansão da agricultura mecanizada na região.

A compreensão da ecologia e do funcionamento do Cerrado, portanto, é fundamental para subsidiar políticas públicas, práticas de manejo sustentável e estratégias de conservação e restauração que assegurem sua integridade ecológica e os serviços ambientais por ele prestados.

1.1.1 Fitofisionomias do Cerrado *lato sensu*

cerrado "sensu lato"



Principais fisionomias de cerrado s.l. Fonte: modificado de Coutinho (1978).

O Cerrado *lato sensu* é notoriamente marcado por uma grande diversidade de fitofisionomias, que refletem a interação entre fatores edáficos, topográficos, hídricos e de regime de fogo. Ribeiro e Walter (2008) apresentam uma tipologia amplamente utilizada, que organiza a vegetação em um gradiente de fisionomias campestres a

florestais. Esse gradiente expressa, de forma integrada, as respostas das espécies vegetais às condições ambientais do bioma.

As fitofisionomias campestres incluem o campo limpo, caracterizado pela predominância de gramíneas e ausência quase total de espécies lenhosas, e o campo sujo, no qual já se observam arbustos e subarbustos esparsos. Esses ambientes são mais comuns em áreas com solos rasos, ácidos ou sujeitos a encharcamento sazonal, onde as condições edáficas limitam o estabelecimento de árvores (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Em seguida, aparecem as fitofisionomias savânicas, que compreendem o campo cerrado e o cerrado sensu stricto. No primeiro, há maior presença de espécies lenhosas de pequeno porte, ainda bastante espaçadas, enquanto no segundo predomina uma estrutura arbóreo-arbustiva mais densa, com troncos retorcidos e casca espessa, acompanhadas de um sub-bosque de gramíneas e ervas. O cerrado sensu stricto constitui a fisionomia mais representativa do bioma, cobrindo grande parte da área original do Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 2008; KLINK; MACHADO, 2005).

Nas porções mais densas do gradiente estão as fitofisionomias florestais, representadas pelo cerradão e pelas matas secas e ciliares. O cerradão possui dossel mais fechado, árvores mais altas e menor luminosidade no sub-bosque, o que favorece espécies adaptadas à sombra. Já as matas ciliares e de galeria ocorrem associadas a cursos d'água, apresentando elevada diversidade florística e funcionando como corredores ecológicos essenciais para a fauna. Além disso, há fitofisionomias específicas como as veredas, dominadas pela palmeira buriti (*Mauritia flexuosa*) e fortemente dependentes do regime hídrico do lençol freático. Essas áreas exercem papel crucial na recarga de aquíferos e na proteção da biodiversidade associada a ambientes úmidos (FERREIRA et al., 2014).

Essa variação fisionômica está intrinsecamente ligada à heterogeneidade ambiental do Cerrado *lato sensu*. Diferentes combinações de fatores edáficos (profundidade, fertilidade, textura), hidrológicos (disponibilidade e regime de água) e ecológicos (frequência de fogo e interações interespecíficas) resultam em mosaicos complexos de vegetação. Assim, as fitofisionomias não devem ser vistas como compartimentos estanques, mas como expressões dinâmicas de um contínuo ecológico (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A diversidade fisionômica também tem profundas implicações para a conservação e o manejo do bioma. Cada fitofisionomia abriga comunidades vegetais e animais específicas, desempenhando funções ecológicas complementares. A perda de qualquer uma delas compromete a integridade ecológica do Cerrado *lato sensu*, reduzindo sua resiliência frente às pressões antrópicas, como expansão agropecuária, fragmentação e mudanças climáticas (KLINK; MACHADO, 2005).

1.1.2 Histórico de uso e conservação do Cerrado *lato sensu*

O Cerrado Lato Sensu constitui-se como um dos biomas mais ricos em biodiversidade, mas também um dos mais impactados pela ação antrópica. Até meados do século XX, o uso predominante era marcado por atividades extrativistas e agropecuária de subsistência, que, em geral, não provocavam grandes alterações na estrutura da vegetação (COUTINHO, 2006).

A partir da década de 1970, com o avanço da fronteira agrícola e a modernização da agricultura, o Cerrado tornou-se um dos principais polos de produção de grãos do país. Esse processo foi intensificado pela incorporação de tecnologias que possibilitaram a ocupação de áreas anteriormente consideradas de baixa aptidão agrícola (KLINK; MACHADO, 2005; BUSTAMANTE et al., 2012). Como consequência, ocorreram a supressão da cobertura vegetal nativa, a fragmentação de habitats e a perda significativa da biodiversidade (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997; OLIVEIRA; MARINHO-FILHO, 2008).

Frente a esse cenário de degradação, iniciativas de conservação e restauração passaram a ganhar maior relevância. A criação de Unidades de Conservação, a implementação de políticas públicas voltadas à preservação e o incentivo a práticas de restauração ecológica têm se configurado como estratégias centrais (FERREIRA; FERNANDES; RIBEIRO, 2014; BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2016). Apesar disso, apenas uma pequena parcela da área original encontra-se legalmente protegida, o que revela a urgência em fortalecer ações que conciliem a produção agrícola com a manutenção dos serviços ecossistêmicos (MYERS et al., 2000; STRASSBURG et al., 2017 apud BATALHA; MANTOVANI; ARAGÃO, 2016).

Dessa forma, o histórico de uso e conservação do Cerrado Lato Sensu evidencia um processo marcado pelo avanço das atividades humanas sobre os ecossistemas naturais, ao mesmo tempo em que ressalta a necessidade de

estratégias de gestão territorial que integrem desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental.

1.2. Cerrado *lato sensu*

O Cerrado *lato sensu*, por sua extensão e riqueza de recursos, tem sido historicamente alvo de diferentes formas de ocupação humana. Antes da colonização europeia, povos indígenas já utilizavam seus recursos de modo sustentável, desenvolvendo sistemas de manejo que incluíam o uso do fogo controlado, a coleta de frutos, raízes e sementes, bem como a caça. Esse manejo tradicional, em muitos casos, favorecia a manutenção da heterogeneidade da paisagem, contribuindo para a regeneração da vegetação e para a disponibilidade contínua de alimentos (POSEY, 1985; SILVA; COUTINHO, 2015).

Com a colonização portuguesa, a dinâmica de uso se alterou substancialmente. A partir do século XVIII, o Cerrado *lato sensu* passou a ser explorado principalmente para atividades de pecuária extensiva e extração de recursos naturais, como o ouro e o diamante em algumas regiões. Essa fase inicial de ocupação não gerou grandes impactos em larga escala, mas representou o início do processo de substituição das formas tradicionais de manejo por práticas mais intensivas (KLINK; MACHADO, 2005).

A transformação mais profunda, no entanto, ocorreu a partir da segunda metade do século XX, quando políticas de integração territorial e desenvolvimento agrícola foram implementadas pelo Estado brasileiro. A construção de Brasília, inaugurada em 1960, impulsionou a ocupação de áreas centrais do país e promoveu a expansão da infraestrutura viária. Nas décadas seguintes, programas governamentais de incentivo à agricultura mecanizada e ao uso de fertilizantes viabilizaram o cultivo de grãos em larga escala, especialmente a soja, tornando o Cerrado *lato sensu* o “celeiro agrícola” do Brasil (SANO et al., 2008).

Ao longo das últimas décadas, o Cerrado *lato sensu* tem sido alvo de intensas pressões antrópicas, sobretudo pela expansão da fronteira agrícola e pela conversão de áreas naturais em pastagens cultivadas e monoculturas. Esse processo ocasionou elevada fragmentação e perda de habitat, alterando significativamente a conectividade da paisagem (KLINK; MACHADO, 2005).

A fragmentação da vegetação nativa e a supressão de áreas de transição têm provocado alterações notáveis em ambientes úmidos do Cerrado *lato sensu*, como

as veredas. Em estudo comparativo de duas veredas no Triângulo Mineiro, Soares (2016) identificou que, mesmo em áreas legalmente protegidas como Áreas de Preservação Permanente, há forte influência de impactos antrópicos, refletida tanto na estrutura da regeneração natural quanto na presença de espécies invasoras. A autora observou que a proximidade de vegetação nativa não impediu a ocorrência de espécies exóticas como *Pinus caribaea* e de espécies indicadoras de degradação, como *Trembleya parviflora*, evidenciando diferentes graus de distúrbio ambiental entre as veredas analisadas.

1.3. Conectividade entre Regeneração e Fitofisionomias

A presença de espécies florestais na regeneração de veredas, principalmente naquelas com maior cobertura arbórea adjacente, indica que a conectividade entre fitofisionomias pode influenciar a composição florística local e promover o avanço de espécies características de formações florestais em áreas savânicas (SOARES, 2016). Essa observação reforça a ideia de mosaico dinâmico proposta por autores clássicos como Eiten (1972) e Oliveira; Marquis (2002).

Essa expansão agrícola, embora economicamente expressiva, acarretou sérias consequências ecológicas. Estima-se que mais de 50% da cobertura original do Cerrado *lato sensu* já tenha sido suprimida, sendo convertida em pastagens plantadas ou monocultivos agrícolas (KLINK; MACHADO, 2005; STRASSBURG et al., 2017). A fragmentação da vegetação natural reduziu a conectividade entre habitats, ameaçando espécies endêmicas e comprometendo processos ecológicos como dispersão, polinização e fluxo gênico. Além disso, o uso intensivo de insumos químicos e a compactação do solo têm agravado a perda de qualidade ambiental.

Frente a esse cenário, a conservação do Cerrado *lato sensu* tem se tornado prioridade nos debates ambientais nacionais e internacionais. Apesar de sua importância, o bioma recebeu por muito tempo menor atenção do que a Amazônia, tanto em políticas públicas quanto em investimentos em pesquisa e conservação. Apenas recentemente, iniciativas específicas passaram a ser implementadas, como a criação de unidades de conservação e a inclusão do Cerrado *lato sensu* em compromissos globais de redução do desmatamento (MMA, 2019).

Ainda assim, a representatividade do bioma em áreas legalmente protegidas permanece insuficiente. Estima-se que menos de 10% de sua extensão esteja

abrangida por unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável, valor aquém do recomendado pela Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD), que sugere a proteção de pelo menos 17% de cada bioma terrestre (BRASIL, 2020). A pressão contínua da expansão agrícola e da especulação fundiária ameaça inclusive áreas já protegidas, indicando a necessidade de fortalecimento das políticas de fiscalização e de integração entre conservação e desenvolvimento econômico.

Nos últimos anos, cresce a percepção de que estratégias de conservação no Cerrado *lato sensu* devem considerar não apenas a criação de novas áreas protegidas, mas também o manejo sustentável em propriedades privadas, por meio de instrumentos como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e a recomposição de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais. Além disso, a valorização do conhecimento tradicional e a promoção de cadeias produtivas baseadas no uso sustentável da biodiversidade — como frutos nativos (pequi, baru, cagaita) e plantas medicinais — têm se mostrado alternativas importantes para conciliar conservação, geração de renda e manutenção dos serviços ecossistêmicos (SILVA et al., 2019).

Assim, o histórico de uso do Cerrado *lato sensu* revela um processo de intensificação progressiva, que passou de práticas tradicionais de baixo impacto para a agricultura moderna de alta escala. Esse processo resultou em grandes perdas de cobertura vegetal e biodiversidade, mas também abriu espaço para a construção de políticas de conservação e restauração fundamentadas em uma nova perspectiva: a de que o Cerrado *lato sensu*, com sua riqueza ecológica e sociocultural, é um patrimônio estratégico para o Brasil e para o mundo.

Grime (2006, p. 46) reforça essa visão ao afirmar:

Os traços das plantas não devem ser vistos isoladamente, mas como componentes de um conjunto integrado de estratégias adaptativas. A altura, o tamanho de sementes, a área foliar específica e a longevidade das folhas, por exemplo, não apenas descrevem dimensões morfológicas, mas refletem compromissos funcionais entre aquisição rápida de recursos e sua conservação ao longo do tempo.

1.3.1 Traços morfológicos

Os traços morfológicos estão relacionados às dimensões físicas e estruturais das plantas, como altura, diâmetro do caule, densidade da madeira, área foliar

específica (Specific Leaf Area – SLA) e massa de sementes. Esses atributos refletem estratégias de aquisição e uso de recursos, além de influenciarem a competição por luz e espaço (REICH, 2014, p. 278).

No Cerrado, os traços morfológicos expressam adaptações às condições de solos ácidos e pobres, bem como à sazonalidade climática. A densidade da madeira, por exemplo, é geralmente elevada em espécies lenhosas do cerrado sensu stricto, refletindo crescimento lento e maior resistência ao fogo (BUCCI et al., 2004). Já a altura das plantas varia amplamente entre fitofisionomias: enquanto campos limpos apresentam vegetação predominantemente herbácea e de baixo porte, o cerradão é marcado por árvores que podem ultrapassar 15 metros de altura (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Outro traço morfológico amplamente investigado é a área foliar específica (SLA), que mede a relação entre área e massa seca da folha. Espécies com SLA elevado tendem a ser oportunistas, explorando rapidamente recursos em ambientes férteis ou úmidos, como as matas de galeria. Em contrapartida, folhas espessas, coriáceas e com baixo SLA predominam em ambientes mais secos e oligotróficos, representando uma estratégia conservativa típica do Cerrado (ROSSATTO; FRANCO, 2017).

O tamanho e a massa das sementes também constituem traços morfológicos de grande relevância. Espécies com sementes pequenas e numerosas, comuns em gramíneas e ervas, apresentam maior potencial de colonização após o fogo. Já espécies lenhosas, com sementes maiores, investem em reservas energéticas que favorecem o estabelecimento em solos pobres, embora com menor capacidade de dispersão (COSTA et al., 2018).

Além desses exemplos clássicos, outros traços estruturais desempenham papel essencial na adaptação ao Cerrado. A presença de cascas espessas em árvores lenhosas é um mecanismo recorrente que confere proteção contra incêndios, favorecendo a sobrevivência em ambientes com regime de fogo recorrente (MIRANDA et al., 2002). Da mesma forma, raízes pivotantes profundas e sistemas radiculares extensos permitem acesso a lençóis freáticos durante a estação seca, assegurando o balanço hídrico em solos arenosos e distróficos (OLIVEIRA et al., 2005).

O investimento em estruturas subterrâneas, como xilopódios, também é um traço marcante no Cerrado. Esses órgãos armazenam reservas de carboidratos e

permitem o rebrotamento rápido após perturbações, garantindo a resiliência de espécies herbáceas e subarbustivas frente ao fogo (PAUSAS; PARSONS, 2014). Essa estratégia estrutural demonstra como os traços morfológicos não se restringem apenas à parte aérea, mas também refletem a forte pressão seletiva sobre sistemas subterrâneos.

A plasticidade morfológica é outro aspecto relevante. Muitas espécies exibem variação no porte, no diâmetro de copa e na espessura foliar de acordo com a fitofisionomia ocupada, o que reforça a importância do Cerrado como um mosaico ambiental altamente heterogêneo (SILVA; BATALHA, 2011). Essa variação permite às espécies ajustar seu desempenho em contextos ambientais distintos, assegurando sua permanência em escalas espaciais mais amplas.

Por fim, é importante destacar que os traços morfológicos do Cerrado não apenas respondem às pressões ambientais, mas também influenciam processos ecossistêmicos. A altura e a densidade da vegetação, por exemplo, modulam a disponibilidade de luz no sub-bosque, enquanto a variação no tamanho das sementes determina o padrão de regeneração após distúrbios. Assim, compreender os traços morfológicos no bioma é fundamental para explicar tanto a ecologia de espécies quanto a dinâmica das comunidades vegetais.

1.3.2 Traços fisiológicos

Os traços fisiológicos englobam processos internos das plantas, como taxas fotossintéticas, respiração, conteúdo de nitrogênio foliar, eficiência no uso da água e condutância estomática (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2008, p. 120). Esses traços são fundamentais para compreender a tolerância a estresses ambientais típicos do Cerrado, como déficit hídrico prolongado e alta luminosidade.

Um exemplo notável é a capacidade de rebrota pós-fogo, sustentada por reservas de carboidratos acumulados em estruturas subterrâneas (xilopódios, raízes tuberosas e caules subterrâneos). Esse traço fisiológico garante a persistência de espécies mesmo após incêndios recorrentes (HOFFMANN; MOREIRA, 2002).

Outro traço fisiológico relevante é o conteúdo de nitrogênio foliar, que influencia diretamente a eficiência fotossintética. No Cerrado, muitas espécies apresentam baixos teores de nitrogênio foliar, refletindo uma estratégia de economia de nutrientes, coerente com a limitação imposta pelos solos distróficos (BUCKERIDGE; AIDAR, 2002).

Além disso, estudos têm demonstrado a importância da eficiência no uso da água (EUA), que descreve a relação entre carbono assimilado e água transpirada. Espécies do Cerrado frequentemente exibem EUA elevada, uma vez que precisam manter atividade fotossintética mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica durante a estação seca (FRANCO, 2002).

A tolerância ao calor extremo também é um traço fisiológico essencial. Muitas espécies do Cerrado possuem mecanismos de dissipação de energia, como cutículas espessas e ajustes na orientação foliar, reduzindo a absorção de radiação solar e minimizando danos fotoinibitórios (LARCHER, 2000). Esses mecanismos permitem às plantas manterem taxas fotossintéticas mesmo sob temperaturas foliares superiores a 40°C, comuns no pico da estação seca.

Outro aspecto crucial refere-se à alocação de carbono em diferentes órgãos da planta. Espécies do Cerrado frequentemente direcionam parte significativa do carbono assimilado para raízes profundas e órgãos subterrâneos de reserva, estratégia que sustenta a sobrevivência durante longos períodos de estresse hídrico (SILVA; NOGUEIRA, 2015). Esse padrão difere do observado em outros biomas tropicais úmidos, onde a alocação é predominantemente aérea.

As micorrizas arbusculares também representam traços fisiológicos de destaque. Grande parte das espécies do Cerrado estabelece associações simbióticas com fungos micorrízicos, o que aumenta a absorção de fósforo e outros nutrientes limitantes nos solos ácidos do bioma (CORDEIRO et al., 2019). Essa interação é decisiva para a manutenção da produtividade primária em solos notoriamente pobres.

Por fim, a diversidade de estratégias fisiológicas contribui para a resiliência coletiva das comunidades vegetais. Enquanto algumas espécies mantêm metabolismo ativo mesmo em condições severas de seca, outras entram em estado de quiescência temporária, retomando seu crescimento com o retorno das chuvas. Essa complementaridade funcional garante que a vegetação como um todo se mantenha produtiva ao longo do ciclo sazonal (DURIGAN et al., 2011).

1.3.3 Traços fenológicos

Os traços fenológicos dizem respeito ao ciclo de vida das espécies, incluindo época de floração, frutificação, senescência foliar e duração da fase vegetativa (MORELLATO et al., 2016, p. 61). Esses atributos são fundamentais para

compreender interações entre plantas, polinizadores e dispersores, além de refletirem respostas às mudanças sazonais e climáticas.

No Cerrado, a fenologia está intimamente associada à sazonalidade climática. A maioria das espécies floresce no início da estação chuvosa, quando há maior disponibilidade de água e atividade de polinizadores (OLIVEIRA; MOREIRA, 1992). Entretanto, há variações marcantes: algumas espécies lenhosas florescem ainda na estação seca, aproveitando a ausência de folhas na vegetação vizinha para maior visibilidade de suas inflorescências, estratégia que favorece a polinização por insetos e aves.

A frutificação geralmente ocorre no final da estação chuvosa e início da seca, coincidindo com maior atividade de dispersores, como aves e mamíferos frugívoros (FRANCO; NUNES, 2005). Já a senescência foliar é uma estratégia comum em espécies decíduas, que perdem suas folhas durante a seca para reduzir a perda de água por transpiração.

Esses padrões fenológicos revelam como as espécies do Cerrado ajustam seus ciclos de vida às condições ambientais, garantindo a reprodução e o recrutamento em um ambiente altamente sazonal.

A diversidade de estratégias fenológicas também assegura a continuidade de recursos para polinizadores e dispersores ao longo do ano. Enquanto algumas espécies oferecem néctar e pólen na estação chuvosa, outras florescem na seca, garantindo a manutenção das interações ecológicas em diferentes períodos (SILVA et al., 2019). Esse escalonamento temporal fortalece a rede de interações ecológicas e aumenta a resiliência do sistema.

Mudanças climáticas globais têm potencial de alterar profundamente os padrões fenológicos do Cerrado. Estudos já apontam deslocamentos no período de floração e frutificação de algumas espécies, o que pode comprometer sincronia com polinizadores e dispersores (MUNHOZ; FELFILI, 2007). Essa alteração de ciclos evidencia a vulnerabilidade do bioma frente ao aquecimento global e à alteração no regime de chuvas.

Além disso, a fenologia está intimamente relacionada ao regime de fogo. Incêndios podem estimular a floração de algumas espécies herbáceas e gramíneas, funcionando como gatilho ecológico (COUTINHO, 1990). Por outro lado, queimadas intensas e fora do período natural podem interromper ciclos reprodutivos, reduzindo o recrutamento de plântulas e afetando a dinâmica populacional.

Outro ponto relevante é a variação fenológica entre fitofisionomias. Espécies do cerradão, sob condições mais sombreadas, tendem a apresentar ciclos mais prolongados de floração e frutificação, enquanto nas áreas abertas, como campos sujos e limpos, a fenologia é mais sincronizada com a sazonalidade hídrica (DURIGAN; RATTER, 2006). Essa diferenciação reforça a necessidade de analisar a fenologia em um contexto de paisagem.

Assim, os traços fenológicos não apenas determinam a dinâmica reprodutiva das espécies, mas também influenciam processos ecossistêmicos mais amplos, como dispersão de sementes, recrutamento e manutenção da diversidade biológica. A compreensão desses traços no Cerrado é, portanto, indispensável para interpretar como o bioma responde a pressões ambientais e antrópicas.

Integração entre tipologias de traços funcionais

Embora classificados em três grupos distintos — morfológicos, fisiológicos e fenológicos —, os traços funcionais devem ser compreendidos como partes de um mesmo sistema adaptativo. No Cerrado, esses traços interagem de maneira complexa, formando um conjunto de estratégias integradas que permite às espécies lidar com múltiplos estresses ambientais. Um exemplo claro é a relação entre folhas coriáceas (traço morfológico), baixa taxa fotossintética associada a elevada eficiência no uso da água (traço fisiológico) e caducifólia durante a estação seca (traço fenológico). Esses atributos, quando combinados, aumentam a resistência das plantas à escassez hídrica e ao solo de baixa fertilidade, assegurando tanto a sobrevivência individual quanto a persistência das populações ao longo do tempo (FRANCO, 2002; SILVA; BATALHA, 2011).

A integração também pode ser observada nas respostas ao fogo, distúrbio recorrente no bioma. A presença de casca espessa e xilopódios (traços morfológicos) protege o indivíduo, enquanto a alocação de carboidratos em raízes profundas (traço fisiológico) sustenta o rebrotamento rápido após a queima. Esse processo é sincronizado com a fenologia, já que muitas espécies florescem ou frutificam logo após os incêndios, aproveitando as condições abertas e a redução da competição por luz e nutrientes (COUTINHO, 1990; PAUSAS; PARSONS, 2014). Nesse sentido, o fogo atua não apenas como agente de mortalidade, mas também como fator estruturante que molda a integração funcional das comunidades.

As diferentes fitofisionomias do Cerrado *lato sensu* também refletem essa complementaridade. Em áreas mais abertas, como campos limpos e sujos, predominam espécies com traços morfológicos de baixo porte e fenologia altamente sincronizada com a sazonalidade climática. Já em ambientes mais fechados, como o cerradão, observa-se a presença de espécies com folhas maiores, metabolismo mais conservativo e ciclos fenológicos prolongados. Essa diversidade de combinações reforça a ideia de que não existe um “pacote único” de adaptações, mas sim diferentes arranjos de traços que possibilitam a coexistência de espécies e a manutenção da elevada biodiversidade do bioma (RIBEIRO; WALTER, 2008; DURIGAN; RATTER, 2006).

Por fim, a integração entre os traços funcionais revela tanto a resiliência quanto a vulnerabilidade do Cerrado. Por um lado, a multiplicidade de estratégias adaptativas assegura que o sistema como um todo consiga resistir a distúrbios naturais, como secas prolongadas e incêndios periódicos. Por outro lado, pressões antrópicas — como a expansão da fronteira agrícola, a supressão do fogo ou, ao contrário, a intensificação de queimadas não naturais, além das mudanças climáticas globais — podem desestabilizar os mecanismos que sustentam essa integração. Alterações nos ciclos fenológicos, perda de diversidade morfológica e redução da variabilidade fisiológica comprometem não apenas as espécies isoladamente, mas também os processos ecossistêmicos fundamentais, como a ciclagem de nutrientes, a manutenção da fertilidade do solo e a provisão de serviços ambientais.

Assim, compreender os traços funcionais de forma integrada é essencial para interpretar a dinâmica ecológica do Cerrado *lato sensu*. Mais do que a soma de atributos isolados, o bioma é resultado da interação entre morfologia, fisiologia e fenologia, compondo uma rede adaptativa complexa que sustenta sua biodiversidade e seu funcionamento ecológico.

Uso e conservação de nutrientes

As plantas do Cerrado apresentam adaptações que permitem sobreviver em solos ácidos e pobres em nutrientes, como raízes profundas, associação com micorrizas e eficiente ciclagem de nutrientes foliares (Haridasan, 2000; Nardoto et al., 2006). Essas estratégias possibilitam não apenas a manutenção da biomassa em ambientes limitantes, mas também o estabelecimento de diferentes grupos funcionais dentro das comunidades.

Estudos recentes têm integrado a abordagem funcional com dados de dinâmica florestal para compreender como grupos de espécies contribuem para a ciclagem de nutrientes e para a estruturação das comunidades ao longo do tempo. Na Estação Ecológica do Panga (Uberlândia-MG), Oliveira (2011) analisou a dinâmica da comunidade arbórea em um gradiente florestal composto por mata de galeria, floresta estacional semidecidual e cerradão. Os resultados mostraram que o cerradão apresentou balanço positivo entre recrutamento e mortalidade, enquanto as demais fitofisionomias sofreram redução de densidade, com indícios de auto desbaste. Além disso, a autora identificou cinco grupos funcionais com diferentes estratégias de crescimento e ocupação do estrato vertical, destacando que os grupos de crescimento rápido apresentam maior contribuição para a área basal e menor taxa de mortalidade.

Essa abordagem demonstra como traços funcionais relacionados ao crescimento e à alocação de biomassa influenciam a resiliência e o funcionamento dos ecossistemas florestais do Cerrado. A variação nas taxas de incremento diamétrico entre espécies de diferentes estratos (dossel, sub-dossel e sub-bosque) revela como a diversidade funcional se traduz em diferentes estratégias de uso de recursos e de manutenção da produtividade ao longo do tempo (Oliveira, 2011), complementando a visão de Haridasan (2000) e Nardoto et al. (2006) sobre a eficiência no uso e ciclagem de nutrientes no Cerrado.

1.4 Filtros ambientais e assembleias de comunidades

A composição e estrutura das comunidades vegetais resultam da interação entre processos estocásticos e filtros ambientais, que selecionam espécies com traços funcionais compatíveis com as condições locais (Keddy, 1992; Kraft et al., 2015).

A estrutura e organização espacial das comunidades vegetais também refletem a ação de filtros ambientais em múltiplas escalas. Em estudo conduzido em um hectare de Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil, Nascimento et al. (2001) observaram elevada densidade de indivíduos arbóreos (848 ind./ha) e padrões de distribuição espacial predominantemente agregados (46,7%), sugerindo forte influência de fatores ambientais e do histórico de uso da terra sobre a regeneração e a estrutura da comunidade.

Embora esse estudo tenha sido realizado em um ecossistema distinto do Cerrado, seus resultados evidenciam como o agrupamento espacial de espécies e a formação de manchas de dominância refletem tanto o potencial de regeneração natural quanto a heterogeneidade ambiental. Ao serem transpostos para os ambientes do Cerrado — onde também há mosaicos de vegetação com históricos variados de perturbação — esses padrões ajudam a compreender como diferentes filtros (como solo, luz, umidade e distúrbios) selecionam conjuntos específicos de espécies com traços adaptativos compatíveis, promovendo assembleias funcionalmente distintas (*Nascimento et al., 2001; Keddy, 1992; Kraft et al., 2015*).

Conceito de filtros ambientais

O conceito de filtros ambientais surgiu como uma forma de explicar por que determinadas espécies conseguem se estabelecer em um ambiente enquanto outras não. De acordo com Keddy (1992, p. 75), filtros ambientais são mecanismos que selecionam espécies a partir de um conjunto regional, permitindo apenas a persistência daquelas cujos traços funcionais são compatíveis com as condições locais. Em outras palavras, trata-se de um processo hierárquico de exclusão, no qual o ambiente atua como filtro para a composição de comunidades.

Violle et al. (2007, p. 882) reforçam que os filtros ambientais não apenas restringem a diversidade de espécies, mas também determinam a distribuição de traços funcionais nas assembleias, influenciando diretamente o funcionamento dos ecossistemas. No contexto do Cerrado, onde coexistem fitofisionomias abertas e florestais, os filtros ambientais são cruciais para entender como diferentes espécies conseguem se estabelecer e conviver em ambientes tão contrastantes.

Dessa forma, o conceito de filtros ambientais conecta a teoria da ecologia funcional com a prática da ecologia de comunidades, pois evidencia que a estrutura e a diversidade observadas resultam de interações entre traços funcionais das espécies e condições impostas pelo meio (SILVA et al., 2013).

Filtros abióticos no Cerrado

No Cerrado, os principais filtros abióticos estão relacionados ao clima, ao solo e ao fogo. O clima é marcado por forte sazonalidade, com estação seca prolongada e estação chuvosa concentrada em poucos meses, o que impõe limitações

significativas à sobrevivência e reprodução das espécies (NARDOTO et al., 2006). Plantas com traços fisiológicos que favorecem a economia de água, como folhas coriáceas, estômatos regulados e raízes profundas, são selecionadas por esse filtro.

Os solos do Cerrado, predominantemente ácidos e pobres em nutrientes, constituem outro filtro abiótico central. Essa condição edáfica favorece espécies com estratégias conservativas de nutrientes, como baixa taxa fotossintética e maior longevidade foliar (BUCKERIDGE; AIDAR, 2002). Espécies com alta demanda nutricional dificilmente conseguem se manter em áreas de cerrado sensu stricto, embora possam prosperar em fitofisionomias mais férteis, como as matas de galeria.

O fogo representa talvez o filtro mais emblemático do Cerrado. Considerado um fator ecológico de longa data no bioma, o fogo atua não apenas como agente de mortalidade, mas também como promotor de regeneração (HOFFMANN; MOREIRA, 2002). Espécies com cascas espessas, estruturas subterrâneas de reserva e capacidade de rebrota rápida são favorecidas em ambientes com recorrência de incêndios. Assim, o fogo age como um filtro que molda a composição das comunidades, excluindo espécies sensíveis e mantendo a dominância de grupos adaptados.

Filtros bióticos

Além dos fatores abióticos, interações bióticas também atuam como filtros determinantes no Cerrado. A competição por luz, por exemplo, é um filtro essencial em fitofisionomias mais densas, como cerradões, onde espécies de maior altura e copa ampla conseguem suprimir o crescimento de plantas de menor porte (RIBEIRO; WALTER, 2008).

As interações mutualísticas, como a polinização e a dispersão de sementes, também funcionam como filtros. Muitas espécies do Cerrado dependem de polinizadores específicos, como abelhas solitárias ou aves, para garantir sucesso reprodutivo (OLIVEIRA; MOREIRA, 1992). Nesse caso, a ausência ou declínio desses dispersores pode limitar a permanência de determinadas espécies em uma comunidade.

A herbivoria, por sua vez, é outro filtro biótico de relevância. Espécies com defesas químicas ou estruturais, como folhas duras e ricas em taninos, têm maiores chances de persistência em ambientes com alta pressão de herbívoros (COLEY; BARONE, 1996). No Cerrado, a presença de grandes herbívoros, históricos ou

atuais, pode ter contribuído para a manutenção de determinadas estratégias defensivas nas plantas.

Traços funcionais e estratégias adaptativas no Cerrado *lato sensu*

Um dos temas centrais na ecologia do Cerrado é a dinâmica entre fisionomias savânicas e florestais, que reflete a interação entre filtros ambientais e as estratégias adaptativas das espécies. Durigan e Ratter (2006, p. 134) apontam que “a coexistência entre savana e floresta em áreas adjacentes resulta de um equilíbrio dinâmico mediado por fatores como o fogo e a disponibilidade hídrica, que atuam diretamente sobre os traços funcionais das plantas.”

O fogo tende a favorecer sistemas abertos, impedindo o avanço da vegetação florestal sobre áreas de *cerrado sensu stricto* e campo sujo. Em contrapartida, em locais onde o fogo é suprimido por longos períodos, espécies florestais conseguem se estabelecer, promovendo o adensamento da vegetação e, eventualmente, a formação de cerradões ou florestas estacionais (Hoffmann et al., 2012). Essa resposta diferenciada evidencia o papel de traços como a capacidade de rebrota, a densidade da madeira e a presença de estruturas subterrâneas, que permitem às espécies sobreviver em ambientes sujeitos a queimadas recorrentes. Tais estratégias demonstram que a história evolutiva das plantas do Cerrado *lato sensu* é profundamente marcada pela interação com o fogo, o que confere ao bioma uma resiliência singular, mas também o torna vulnerável a alterações no regime natural de queimadas.

A disponibilidade de água também desempenha papel decisivo. Áreas com maior aporte hídrico, como fundos de vale e margens de rios, tendem a sustentar formações florestais, enquanto áreas mais secas e expostas permanecem como savanas. Esse mosaico dinâmico é característico do Cerrado *lato sensu* e ilustra como filtros ambientais regulam a composição das assembleias vegetais (Ribeiro; Walter, 2008). Traços como a profundidade das raízes, a eficiência do uso da água, a plasticidade estomática e a capacidade de manter atividade fotossintética mesmo sob déficit hídrico são determinantes para que as espécies ocupem diferentes micro-habitats e mantenham o equilíbrio entre floresta e savana.

Figura 1 – Cerrado *sensu stricto*



Fonte: Prof. Dr. André R. Terra Nascimento

Os filtros ambientais atuam de maneira complexa e interdependente no Cerrado, regulando a formação e a dinâmica das assembleias vegetais. Filtros abióticos, como clima, solo e fogo, interagem constantemente com filtros bióticos, como competição, herbivoria e interações mutualísticas, resultando em mosaicos que expressam tanto a diversidade quanto a resiliência do bioma. Nesse contexto, a ecologia funcional se destaca por revelar que a coexistência entre floresta e savana não pode ser explicada apenas pela presença ou ausência de espécies, mas pelas

combinações de traços funcionais que permitem às plantas superar diferentes restrições ambientais.

Entre os traços funcionais mais relevantes no Cerrado *lato sensu*, destacam-se:

- **Arquitetura radicular profunda:** espécies como *Qualea grandiflora* e *Vochysia thyrsoides* apresentam raízes que alcançam dezenas de metros, acessando reservas hídricas subterrâneas em períodos de estiagem prolongada (Oliveira et al., 2005).
- **Economia foliar:** a variação na área foliar específica (SLA), na densidade foliar e na espessura da cutícula reflete diferentes estratégias de uso da água e da luz (Wright et al., 2004).
- **Densidade da madeira:** espécies com madeira densa resistem melhor ao fogo e à seca, mas apresentam crescimento mais lento, enquanto espécies de madeira leve crescem rapidamente, porém são mais vulneráveis a distúrbios (Hoffmann et al., 2012).
- **Estruturas subterrâneas de rebrota:** xiopódios, raízes tuberosas e gemas subterrâneas permitem regeneração rápida após incêndios, sendo um dos traços adaptativos mais emblemáticos do Cerrado (Paula; Pausas, 2011).
- **Fenologia adaptativa:** a sazonalidade na floração e frutificação, muitas vezes sincronizada com chuvas ou períodos secos, garante o sucesso reprodutivo em ambientes instáveis (Morellato et al., 2000).
- **Tamanho e massa das sementes:** sementes pequenas favorecem a dispersão e colonização rápida, enquanto sementes grandes oferecem maior aporte energético às plântulas, favorecendo o recrutamento em solos pobres e sob estresse hídrico (Costa et al., 2018).

A crescente degradação dos ecossistemas do Cerrado, associada à expansão agropecuária, à urbanização e à intensificação de incêndios de origem antrópica, tem colocado em evidência a necessidade de estratégias inovadoras para conservação e restauração. A ecologia funcional tem ganhado destaque nesse cenário por permitir compreender como os traços funcionais influenciam processos ecológicos, a resiliência dos ecossistemas e a prestação de serviços ambientais (LAVOREL; GARNIER, 2002). Diferentemente de abordagens tradicionais, centradas apenas em listas de espécies, ela enfatiza atributos morfológicos,

fisiológicos e fenológicos que sustentam tanto o ciclo de nutrientes quanto a dinâmica do fogo.

Na restauração ecológica, os traços funcionais oferecem critérios mais robustos para a escolha de espécies. Em áreas sujeitas à seca prolongada, por exemplo, espécies com raízes profundas e alta eficiência no uso da água tendem a aumentar a resiliência da comunidade (FRANCO, 2002). Já em ambientes úmidos, espécies com alta área foliar específica podem acelerar o fechamento do dossel e a interceptação da radiação solar (ROSSATTO; FRANCO, 2017). Do mesmo modo, a inclusão de espécies com estruturas subterrâneas de rebrota e alta densidade da madeira garante maior persistência em locais sujeitos ao fogo (HOFFMANN; MOREIRA, 2002).

Outro aspecto relevante é o papel das sementes. Espécies com sementes pequenas e numerosas favorecem a colonização rápida de áreas degradadas, enquanto espécies com sementes grandes aumentam as chances de sobrevivência em condições adversas, fornecendo mais energia para o estabelecimento de plântulas (COSTA et al., 2018). A combinação desses grupos amplia tanto a velocidade de recuperação inicial quanto a estabilidade de longo prazo. Além disso, índices funcionais como riqueza funcional (FRic), divergência funcional (FDiv) e redundância funcional (MASON et al., 2005) já vêm sendo aplicados em projetos de restauração no Cerrado, permitindo avaliar não apenas a diversidade, mas o equilíbrio entre funções ecológicas essenciais.

Assim, a restauração guiada pela ecologia funcional não se limita a recompor espécies, mas busca reconstruir processos ecológicos e garantir que diferentes estratégias adaptativas estejam representadas, assegurando comunidades mais estáveis e resistentes a distúrbios. Essa abordagem reforça que a conservação e a restauração no Cerrado *lato sensu* devem priorizar a manutenção de funções ecológicas, uma vez que são elas que sustentam tanto a biodiversidade quanto os serviços ecossistêmicos indispensáveis para as populações humanas.

A incorporação da ecologia funcional às práticas de manejo representa, assim, um avanço paradigmático. Ela permite transcender abordagens meramente taxonômicas e incorporar uma visão sistêmica do funcionamento ecológico. No Cerrado *lato sensu*, esse enfoque é particularmente relevante diante do mosaico de fitofisionomias, da forte sazonalidade climática e das pressões crescentes da ação antrópica. Ao integrar ciência, prática e políticas públicas, a análise de traços

funcionais e estratégias adaptativas oferece instrumentos para planejar paisagens mais resilientes, biodiversas e sustentáveis, contribuindo não apenas para a conservação do bioma, mas também para o bem-estar das populações que dele dependem.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. O Cerrado: bioma, fitofisionomias e dinâmica ecológica

Visão geral do Cerrado

- COUTINHO, L. M. O conceito de *Cerrado*. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-12, 2006.
- EITEN, G. The *Cerrado* vegetation of Brazil. *Botanical Review*, New York, v. 38, p. 201-341, 1972.
- FERREIRA, M. E.; FERNANDES, G. W.; RIBEIRO, D. B. *Cerrado: ecologia e biodiversidade*. Goiânia: Editora UFG, 2014.
- OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002.
- NASCIMENTO, A. R. T. Regeneração natural e estrutura da comunidade arbórea em áreas de *Cerrado* sob diferentes condições de fogo e solo. 2008. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

1.1.1. Fitofisionomias principais

- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma *Cerrado*. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa, 2008. v. 1. p. 153-212.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian *Cerrado* vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, Oxford, v. 80, p. 223-230, 1997.

1.1.2. Histórico de uso e conservação

- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian *Cerrado*. *Conservation Biology*, Boston, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. O *Cerrado* e mudanças no uso da terra. *Natureza & Conservação*, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 43-49, 2012.
- SOARES, D. M. Conectividade da paisagem e impactos da fragmentação sobre fauna e flora do *Cerrado*. 2015. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 maio 2012.

1.2. Ecologia funcional: conceitos e aplicações

- DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, London, v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001.
- VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, Lund, v. 116, p. 882-892, 2007.
- LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, London, v. 16, p. 545-556, 2002.
- TILMAN, D. Functional diversity. In: LEVIN, S. A. (Ed.). *Encyclopedia of Biodiversity*. San Diego: Academic Press, 2001. p. 109-120.

1.3. Traços funcionais de plantas no Cerrado

Resistência ao fogo (1.3.1)

- BOND, W. J. Fire and the global savanna. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Palo Alto, v. 41, p. 641-659, 2010.
- HOFFMANN, W. A.; SOLBRIG, O. T. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 180, p. 273-286, 2003.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for *Cerrado* conservation. *Journal of Applied Ecology*, London, v. 53, p. 11-15, 2016.

1.3.2. Tolerância à seca

- FRANCO, A. C. Ecophysiology of woody plants. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). *The Cerrados of Brazil*. New York: Columbia University Press, 2002.

- MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A. C. Hydraulic architecture of tropical trees and lianas. *Trees*, Berlin, v. 13, p. 130-137, 1999.
- OLIVEIRA, R. S. et al. Deep root function in soil water dynamics in *Cerrado* savannas. *Functional Ecology*, London, v. 19, p. 574-581, 2005.

1.3.3. Uso e conservação de nutrientes

- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do *Cerrado*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.
- NARDOTO, G. B. et al. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 279, p. 57-69, 2006.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; OLIVEIRA, R. S. Interações planta-solo e o papel da ciclagem de nutrientes no *Cerrado*. *Oecologia Australis*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 1-20, 2014.

1.3.4. Fenologia e interações

- MORELLATO, L. P. C. et al. Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study. *Biotropica*, Washington, v. 32, n. 4b, p. 811-823, 2000.
- BATALHA, M. A.; MARTINS, F. R. Reproductive phenology of the *Cerrado* plant community. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, v. 64, n. 3b, p. 651-663, 2004.
- OLIVEIRA, P. S.; MARINHO-FILHO, J. *Ecologia e história natural do Cerrado*. Brasília: Editora UnB, 2008.

1.3.5. Integração de tipologias

- CORNELISSEN, J. H. C. et al. A handbook of protocols for standardised measurement of plant functional traits. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, v. 51, n. 4, p. 335-380, 2003.
- DÍAZ, S. et al. The plant traits that drive ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, Uppsala, v. 16, n. 3, p. 295-304, 2007.

1.4. Filtros ambientais e assembleias de comunidades

- KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, Uppsala, v. 3, n. 2, p. 157-164, 1992.

- KRAFT, N. J. B. et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. *Functional Ecology*, London, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015.
- HOFFMANN, W. A. et al. Ecological thresholds at the savanna–forest boundary. *Ecology Letters*, London, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012.
- STAVER, A. C.; ARCHIBALD, S.; LEVIN, S. Tree cover in sub-Saharan Africa: rainfall and fire constrain forest and savanna. *Ecology*, Washington, v. 92, n. 5, p. 1063-1072, 2011.

1.5. Conservação e restauração com base em ecologia funcional

- CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services. *Science*, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. *Restauração ecológica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. Guidance for successful tree planting initiatives. *Journal of Applied Ecology*, London, v. 57, n. 12, p. 2349-2361, 2020.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. *Pacto pela restauração da Mata Atlântica*. São Paulo: LERF/ESALQ, 2009.
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. O Cerrado e mudanças no uso da terra. *Natureza & Conservação*, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 43-49, 2012.
- LAVOREL, S. et al. A functional approach to assessing ecosystem services for restoration. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Munich, v. 17, p. 137-149, 2015.

2. METODOLOGIA

2.1. Tipo de pesquisa: revisão sistemática

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, método que possibilita identificar, avaliar e sintetizar de forma transparente e reproduzível as evidências disponíveis sobre determinado tema. Segundo Souza, Silva e Carvalho (2010, p. 103), “a revisão sistemática é um tipo de investigação científica que utiliza métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada”.

Esse tipo de abordagem é indicado quando se busca integrar conhecimentos dispersos em diferentes estudos, garantindo maior rigor científico do que revisões narrativas tradicionais (Galvão; Pereira, 2014).

2.2. Protocolo utilizado: PRISMA

O protocolo utilizado para a condução da revisão foi o PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. Como destacam Moher et al. (2009), trata-se de um guia amplamente adotado em revisões sistemáticas e metanálises, que assegura padronização e transparência no processo.

Nesse sentido, “o fluxograma PRISMA é fundamental para documentar todas as etapas da seleção de estudos, desde a identificação até a inclusão final” (MOHER et al., 2009, p. 5).

O presente trabalho seguiu tais etapas:

1. Identificação dos registros nas bases de dados;
2. Triagem por leitura de títulos e resumos;
3. Elegibilidade mediante leitura integral dos textos;
4. Inclusão dos estudos que atenderam aos critérios previamente estabelecidos.

2.3. Critérios de inclusão e exclusão

Foram definidos previamente critérios para assegurar a relevância e qualidade dos estudos.

- Critérios de inclusão:

Artigos, dissertações e teses que abordassem traços funcionais de plantas no Cerrado;

Trabalhos publicados entre os anos de 2000 e 2025;

Textos em português ou inglês;

Estudos empíricos ou revisões com foco em ecologia funcional, dinâmica de comunidades e conservação.

- Critérios de exclusão:

Trabalhos duplicados em diferentes bases;

Publicações que abordassem outros biomas sem referência direta ao Cerrado;

Artigos de opinião, editoriais ou resenhas sem metodologia científica explícita;

Estudos incompletos ou sem acesso ao texto integral.

Esse cuidado metodológico é essencial, pois “a adoção de critérios explícitos de inclusão e exclusão reduz vieses e aumenta a confiabilidade da revisão sistemática” (Galvão; Pereira, 2014, p. 181).

2.4. Estratégias de busca em bases de dados

A busca foi realizada em bases de dados de amplo alcance: Web of Science, Scopus, SciELO e Periódicos CAPES. Foram utilizados operadores booleanos (AND, OR) e combinações de descritores em português e inglês, como por exemplo:

- “Cerrado” AND “functional traits”
- “Cerrado” AND “ecologia funcional”
- “plant traits” AND “fire” AND “savanna”
- “nutrient cycling” AND “Cerrado”

De acordo com Tranfield, Denyer e Smart (2003), a busca estruturada em bases de dados deve ser conduzida de forma sistemática, pois “a qualidade da revisão depende diretamente da robustez da estratégia de busca” (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003, p. 212).

Todas as buscas foram realizadas no período de [mês/ano a mês/ano da sua coleta], sendo registrado o número de resultados por base e a aplicação dos filtros de acordo com os critérios definidos.

2.5. Organização e análise dos dados

Os estudos selecionados foram organizados em Distribuição temática dos estudos, contendo: título, autor(es), ano de publicação, tipo de estudo, local de coleta, principais traços funcionais analisados e resultados.

A análise foi conduzida em duas etapas:

1. Análise descritiva, apresentando o panorama geral da produção (ano, periódicos, instituições, distribuição temática).
2. Análise temática, agrupando os resultados conforme os eixos definidos no referencial teórico: resistência ao fogo, tolerância à seca, uso e conservação de nutrientes, fenologia e interações bióticas, e filtros ambientais.

Conforme Bardin (2011, p. 37), a análise temática permite “identificar os núcleos de sentido que compõem a comunicação, cuja presença ou frequência significam alguma coisa para o objetivo analítico visado”. Assim, a interpretação foi

pautada não apenas em frequência de estudos, mas também em sua relevância científica e contribuições para a ecologia funcional do Cerrado.

3. RESULTADOS

3.1. Introdução aos Resultados

Na estrutura de um trabalho científico, a seção de resultados é destinada à apresentação dos achados obtidos a partir do método previamente definido, sem que haja, neste momento, interpretações extensivas ou debates conceituais mais aprofundados. Como observa Gil (2010, p. 94), “os resultados devem ser expostos de forma clara, objetiva e ordenada, permitindo ao leitor compreender o que foi efetivamente encontrado pela pesquisa, antes da análise interpretativa dos dados”.

A clareza e a organização na apresentação dos resultados são aspectos centrais para a validade e credibilidade de um estudo científico. Lakatos e Marconi (2017, p. 221) destacam que “os resultados precisam ser descritos de forma detalhada, completa e precisa, de modo a oferecer ao leitor subsídios para acompanhar o raciocínio e, se desejar, replicar o estudo”. Essa exigência torna-se ainda mais relevante em uma revisão sistemática, já que o processo metodológico envolve seleção criteriosa, análise comparativa e síntese de evidências provenientes de diferentes fontes.

No caso desta dissertação, a seção de resultados apresenta os achados obtidos a partir da revisão sistemática sobre traços funcionais de plantas no bioma Cerrado *lato sensu*, conforme o protocolo PRISMA e os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. A organização dos dados foi conduzida segundo dois níveis de análise: (I) descritiva, permitindo a visualização do panorama geral da produção científica na área; e (II) temática, estruturada a partir dos eixos destacados no referencial teórico (resistência ao fogo, tolerância à seca, uso e conservação de nutrientes, fenologia e interações bióticas, filtros ambientais).

É importante ressaltar que, como lembra Bardin (2011, p. 37), “a análise de conteúdo deve buscar ir além da simples enumeração de ocorrências, visando identificar os núcleos de sentido que estruturam as comunicações analisadas”. Assim, os resultados aqui expostos não se limitam à contagem de estudos, mas procuram evidenciar tendências, lacunas e relevância científica, permitindo compreender como os traços funcionais têm sido abordados na literatura sobre o Cerrado *lato sensu*.

3.2. Distribuição temática dos estudos

3.2.1. Resistência ao fogo

Hoffmann e Solbrig (2003, p. 274) destacam que “o *topkill* representa um dos mecanismos centrais que explicam a resposta diferencial das espécies lenhosas ao fogo”, ressaltando a importância dos traços de resistência, como gemas subterrâneas, casca espessa e capacidade de rebrota.

Bond (2010, p. 642) argumenta que “o fogo é um dos principais fatores globais que determinam a existência e a persistência das savanas”, e no Cerrado essa dinâmica se confirma em diferentes fitofisionomias, desde campos limpos até cerradões.

Além disso, Durigan e Ratter (2016) reforçam que políticas consistentes de uso do fogo em áreas protegidas são essenciais para a conservação da diversidade funcional do bioma.

3.2.2. Tolerância à seca

Franco (2002, p. 178) explica que “a profundidade do sistema radicular das espécies lenhosas é determinante para o acesso à água durante a estação seca, garantindo sua sobrevivência e competitividade”.

3.2.3. Uso e conservação de nutrientes

Haridasan (2000, p. 55) observa que “as plantas nativas do Cerrado desenvolveram mecanismos fisiológicos que lhes permitem tolerar e até prosperar em condições de baixa fertilidade, em solos ácidos e ricos em alumínio”.

3.2.4. Fenologia e interações bióticas

Oliveira e Marinho-Filho (2008, p. 59) enfatizam que “a compreensão da história natural do Cerrado depende da análise integrada de ritmos fenológicos, polinização, dispersão e interações planta-animal”.

3.2.5. Filtros ambientais

Hoffmann et al. (2012, p. 761) demonstram que “a transição entre savana e floresta representa um limiar ecológico sensível a alterações climáticas e ao manejo do fogo”.

Díaz et al. (2007, p. 297) sintetizam que “os traços funcionais das plantas são a chave para compreender como a biodiversidade influencia os processos ecossistêmicos”.

4. DISCUSSÃO/CONCLUSÃO

4.1. Comparação dos resultados com a literatura

Hoffmann e Solbrig (2003, p. 274) destacam que o *topkill* e a capacidade de rebrota subterrânea constituem mecanismos estruturantes das comunidades savânicas.

Franco (2002, p. 178) e Meinzer, Goldstein e Franco (1999, p. [página?]) já haviam demonstrado a importância da profundidade radicular e da arquitetura hidráulica para o Cerrado.

Bardin (2011, p. 37) lembra que “a análise temática consiste em descobrir os núcleos de sentido que compõem uma comunicação, cuja presença ou frequência signifique algo para o objetivo analítico visado”.

4.2. Relevância dos traços adaptativos diante de mudanças climáticas e antropização

Bond (2010, p. 642) argumenta que “o fogo é um dos principais fatores globais que determinam a existência e a persistência das savanas”.

Franco (2002, p. 178) ressalta o papel da profundidade radicular, enquanto Oliveira et al. (2005, p. [página?]) reforçam a importância da plasticidade funcional para a exploração de camadas profundas de solo.

Haridasan (2000, p. 55) aponta que “as plantas nativas do Cerrado desenvolveram mecanismos fisiológicos que lhes permitem tolerar e até prosperar em condições de baixa fertilidade, em solos ácidos e ricos em alumínio”.

4.3. Limitações dos estudos encontrados

Oliveira e Marinho-Filho (2008, p. 59) enfatizam que “a compreensão da história natural do Cerrado depende da análise integrada de ritmos fenológicos, polinização, dispersão e interações planta-animal”.

4.4. Perspectivas para manejo, conservação e restauração

Morellato et al. (2000), demonstram que a diversidade nos padrões de floração e frutificação constitui uma estratégia funcional fundamental para a manutenção de polinizadores e dispersores.

Tilman (2001, p. 115) destaca que “a diversidade funcional de plantas tornou-se um dos principais focos de investigação ecológica do século XXI”.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo atingiu seu objetivo central ao realizar uma revisão sistemática sobre os traços funcionais das plantas do Cerrado lato sensu, oferecendo uma síntese abrangente dos avanços, lacunas e implicações da pesquisa científica sobre o tema. A análise consolidou o entendimento de que a abordagem funcional constitui uma ferramenta indispensável para compreender as estratégias adaptativas das espécies diante de filtros ambientais, pressões antrópicas e mudanças climáticas.

Verificou-se que os estudos têm explorado amplamente os traços morfológicos, fisiológicos e fenológicos, evidenciando como características como arquitetura radicular profunda, resiliência ao fogo, variações na economia foliar e plasticidade fenológica sustentam a sobrevivência em ambientes sazonais e com solos pobres. Esses resultados confirmam a primeira hipótese, ao apontar concentração espacial e taxonômica dos estudos, deixando lacunas relevantes. A segunda hipótese também foi validada, pois a diversidade metodológica limita comparações diretas, mas não inviabiliza sínteses abrangentes. A terceira mostrou-se consistente, visto que a integração dos dados disponíveis aponta grande potencial de aplicação prática para conservação e restauração ecológica.

Entre os traços funcionais mais relevantes, destacam-se a capacidade de rebrota após o fogo, a presença de raízes profundas capazes de acessar lençóis freáticos em períodos de estiagem, e adaptações foliares que equilibram economia de água e eficiência fotossintética. Esses mecanismos refletem uma longa história evolutiva de convivência com perturbações recorrentes, como fogo e seca prolongada, tornando o Cerrado um dos biomas mais resilientes do planeta. No entanto, tais estratégias também revelam limites adaptativos que podem ser ultrapassados frente ao ritmo acelerado de desmatamento e mudanças climáticas globais.

Outro aspecto central é que a funcionalidade das espécies não deve ser analisada de forma isolada, mas em rede, uma vez que a diversidade de traços garante complementaridade e estabilidade dos ecossistemas. Plantas com diferentes estratégias de uso de recursos, por exemplo, asseguram maior resiliência frente a distúrbios, pois o fracasso de algumas espécies pode ser compensado pelo desempenho de outras. Essa visão amplia o entendimento da biodiversidade, deslocando o foco apenas da contagem de espécies para a análise de como seus traços sustentam processos ecológicos essenciais.

As evidências reunidas também indicam que a compreensão dos traços funcionais deve orientar estratégias adaptativas de manejo. Práticas de restauração, por exemplo, tornam-se mais eficazes quando selecionam espécies com traços compatíveis às condições do local e aos objetivos ecológicos desejados, como a recuperação da fertilidade do solo, o controle da erosão ou a manutenção da conectividade de habitats. Do mesmo modo, políticas de conservação precisam considerar que preservar conjuntos funcionais é tão importante quanto proteger espécies individualmente, uma vez que são os traços que asseguram a manutenção de serviços ecossistêmicos.

Nesse contexto, a ecologia funcional se confirma como ponte entre ciência e prática, pois oferece subsídios para enfrentar os desafios crescentes da conservação. Estratégias adaptativas baseadas em traços podem, por exemplo, auxiliar na definição de áreas prioritárias para preservação, no planejamento de corredores ecológicos e na mitigação de impactos das mudanças climáticas. Assim, o Cerrado, que já foi considerado um “berço” de biodiversidade, pode ser visto também como um “laboratório natural” para compreender a resiliência e os limites de adaptação dos ecossistemas tropicais.

O Cerrado *lato sensu*, portanto, não representa apenas um mosaico de fitofisionomias, mas um patrimônio natural de valor inestimável. Sua relevância ultrapassa as fronteiras acadêmicas, pois está diretamente ligada à manutenção da biodiversidade, ao equilíbrio climático, à provisão de serviços ecossistêmicos e ao bem-estar humano. Trata-se do segundo maior bioma do país, abrigando cerca de 12 mil espécies de plantas vasculares conhecidas, das quais aproximadamente 35% são endêmicas. Essa riqueza florística sustenta uma complexa rede de interações ecológicas, envolvendo polinizadores, dispersores, herbívoros e microrganismos, que asseguram a estabilidade e resiliência dos ecossistemas.

Contudo, muitas de suas contribuições à natureza e à vida cotidiana permanecem invisíveis ao olhar humano. A capacidade dos solos em recarregar aquíferos, a regulação do regime hídrico que abastece grande parte do território nacional e o estoque subterrâneo de carbono são exemplos de funções vitais frequentemente subestimadas. As flores que atraem polinizadores, os frutos que alimentam aves e mamíferos, e a diversidade de formas de vida adaptadas ao fogo e à seca revelam um sistema de sutilezas que, embora silenciosas, sustentam a biodiversidade em larga escala.

Valorizar e preservar o Cerrado *lato sensu* é reconhecer que sua integridade ecológica não se restringe a um conjunto de paisagens, mas representa um eixo estruturante da biodiversidade brasileira. É também compreender que a destruição acelerada desse bioma implica não apenas a perda de espécies, mas o comprometimento de processos ecológicos que garantem a vida em múltiplas escalas, desde o nível local até o global. Os conhecimentos sistematizados neste trabalho reforçam, assim, a urgência de ampliar pesquisas, políticas públicas e ações de conservação que assegurem a permanência deste bioma singular.

Em suma, pode-se concluir que os objetivos foram plenamente alcançados e as hipóteses propostas mostraram-se consistentes com os resultados obtidos. A revisão reafirma a relevância da ecologia funcional como abordagem capaz de integrar conhecimento científico e aplicação prática, oferecendo subsídios decisivos para compreender os mecanismos adaptativos que estruturam o Cerrado *lato sensu* e para preservar um dos biomas mais biodiversos e ameaçados do planeta.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.
- BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W.; ARAGÃO, F. A. S. *O Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.
- BOND, W. J. *Fire and the global savanna. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Palo Alto, v. 41, p. 641-659, 2010.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. *Restauração ecológica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. *Guidance for successful tree planting initiatives. Journal of Applied Ecology*, Londres, v. 57, n. 12, p. 2349-2361, 2020.

BUSTAMANTE, M. M. C.; OLIVEIRA, R. S.; MORAES, L. F. D. et al. O Cerrado e mudanças no uso da terra. *Natureza & Conservação*, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 43-49, 2012.

CHAZDON, R. L. *Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands*. Science, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CORNELISSEN, J. H. C. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, v. 51, n. 4, p. 335-380, 2003.

COSTA, F. R. C.; ESPÍRITO-SANTO, H. M. V.; MESQUITA, R. C. G. et al. Seed size, regeneration niche, and distribution of tree species in tropical forests. *Ecology*, Washington, v. 99, n. 9, p. 2078-2086, 2018.

COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-12, 2006.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. *Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes*. *Trends in Ecology & Evolution*, Londres, v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001.

DÍAZ, S. et al. *The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents*. *Journal of Vegetation Science*, Uppsala, v. 16, n. 3, p. 295-304, 2007.

DÍAZ, S. et al. The global spectrum of plant form and function. *Nature*, Londres, v. 529, p. 167-171, 2016.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. *The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation*. *Journal of Applied Ecology*, Londres, v. 53, p. 11-15, 2016.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*, Nova York, v. 38, p. 201-341, 1972.

FERREIRA, M. E.; FERNANDES, G. W.; RIBEIRO, D. B. *Cerrado: ecologia e biodiversidade*. Goiânia: Editora UFG, 2014.

FRANCO, A. C. Ecophysiology of woody plants. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 178-197.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. *Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração*. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 23, n. 1, p. 183-184, 2014.

HARIDASAN, M. *Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.

HOFFMANN, W. A.; MOREIRA, A. G. *The role of fire in population dynamics of woody plants*. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 159-177

.

HOFFMANN, W. A.; SOLBRIG, O. T. *The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire*. *Forest Ecology and Management*, Amsterdã, v. 180, p. 273-286, 2003.

HOFFMANN, W. A. et al. *Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil*. *Ecology*, Washington, v. 90, n. 5, p. 1326-1337, 2009.

HOFFMANN, W. A. et al. *Ecological thresholds at the savanna–forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes*. *Ecology Letters*, Londres, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012.

KEDDY, P. A. *Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology*. *Journal of Vegetation Science*, Uppsala, v. 3, n. 2, p. 157-164, 1992.
KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. *Conservation of the Brazilian Cerrado*. *Conservation Biology*, Boston, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

KRAFT, N. J. B. et al. *Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor*. *Functional Ecology*, Londres, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. *Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail*. *Functional Ecology*, Londres, v. 16, p. 545-556, 2002.

MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D.; LEE, W. G.; WILSON, J. B. *Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity*. *Oikos*, Lund, v. 111, n. 1, p. 112-118, 2005.

MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A. C. *Hydraulic architecture of tropical trees and lianas in a seasonally dry forest*. *Trees*, Berlim, v. 13, n. 3, p. 130-137, 1999.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.
MORELLATO, L. P. C. et al. *Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study*. *Biotropica*, Washington, v. 32, n. 4b, p. 811-823, 2000.

MYERS, N. et al. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. *Nature*, Londres, v. 403, p. 853-858, 2000.

NARDOTO, G. B. et al. *Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil*. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 279, p. 57-69, 2006.

OLIVEIRA, A. P. Tree dynamics of forest vegetations at Cerrado biome in Triângulo Mineiro. 2011. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

OLIVEIRA, P. S.; MARINHO-FILHO, J. *Ecologia e história natural do Cerrado*. Brasília: Editora da UnB, 2008.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A. et al. *Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil*. *Functional Ecology*, Londres, v. 19, p. 574-581, 2005.

PAULA, S.; PAUSAS, J. G. *Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories*. *Oecologia*, Berlim, v. 165, p. 321-331, 2011.

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

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. *As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado*. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa, 2008. v. 1. p. 153-212.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S. *Restauração florestal*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. P. *Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. São Paulo: LERF/ESALQ, 2009.

ROSSATTO, D. R.; FRANCO, A. C. *The functional traits that drive vegetation dynamics in Brazilian savannas*. *Plant Ecology & Diversity*, Londres, v. 10, n. 5-6, p. 453-464, 2017.

SANTOS, M. R.; LIMA, T. A. *Functional approaches to ecological restoration in tropical savannas*. *Restoration Ecology*, Washington, v. 25, n. 2, p. 217-225, 2017. SILVA, F. A. M.; LIMA, J. S.; OLIVEIRA, R. S. et al. Ecological consequences of altered fire regimes in Brazilian savannas. *Biodiversity and Conservation*, Dordrecht, v. 22, p. 1113-1128, 2013.

SOARES, D. M. *Regeneração natural, relações ambientais e invasão biológica em duas veredas do Triângulo Mineiro*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. *Revisão integrativa: o que é e como fazer*. *Einstein*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

STAVER, A. C.; ARCHIBALD, S.; LEVIN, S. *Tree cover in sub-Saharan Africa: rainfall and fire constrain forest and savanna as alternative stable states*. *Ecology*, Washington, v. 92, n. 5, p. 1063-1072, 2011.

TILMAN, D. *Functional diversity*. In: LEVIN, S. A. (Ed.). *Encyclopedia of Biodiversity*. San Diego: Academic Press, 2001. p. 109-120.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. *Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review*. *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

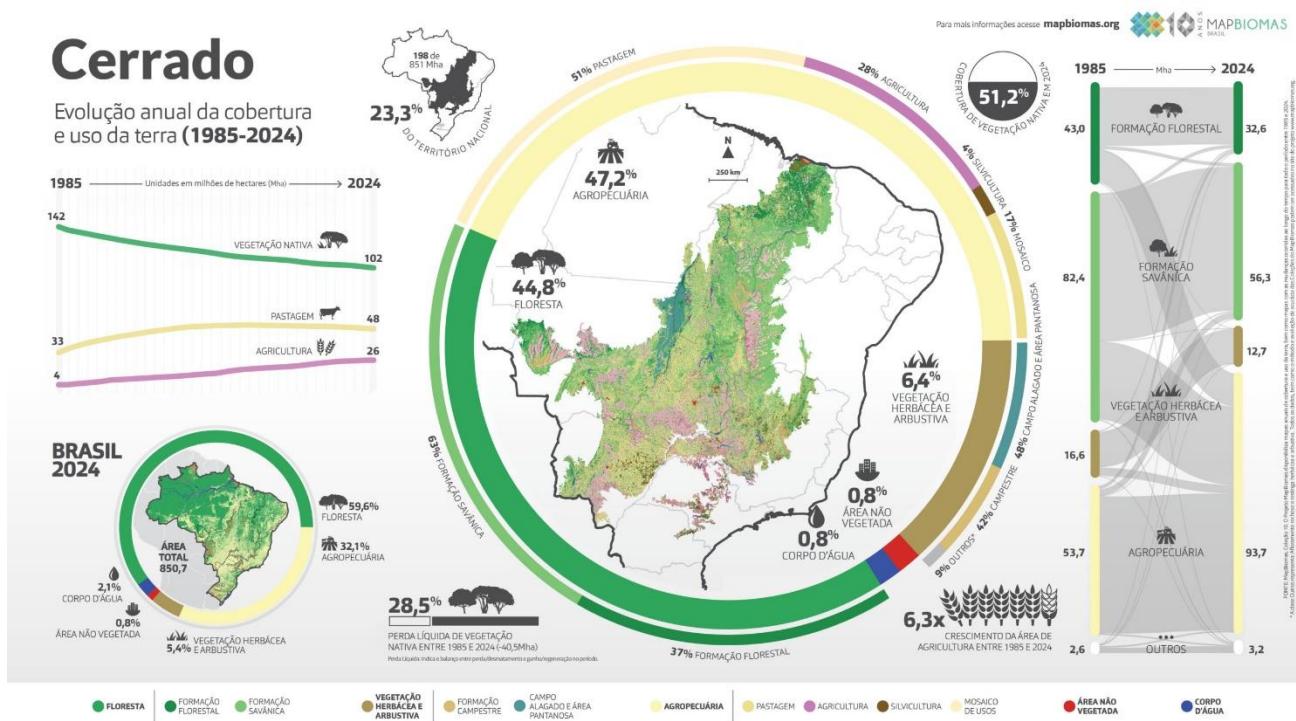
VIOILLE, C. et al. *Let the concept of trait be functional!* *Oikos*, Lund, v. 116, p. 882-892, 2007.

WRIGHT, I. J. et al. *The worldwide leaf economics spectrum*. *Nature*, Londres, v. 428, p. 821-827, 2004.

ANEXOS

https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/09/Factsheet-Cerrado_C9_17.09.24_FG-e-AG_v3.pdf

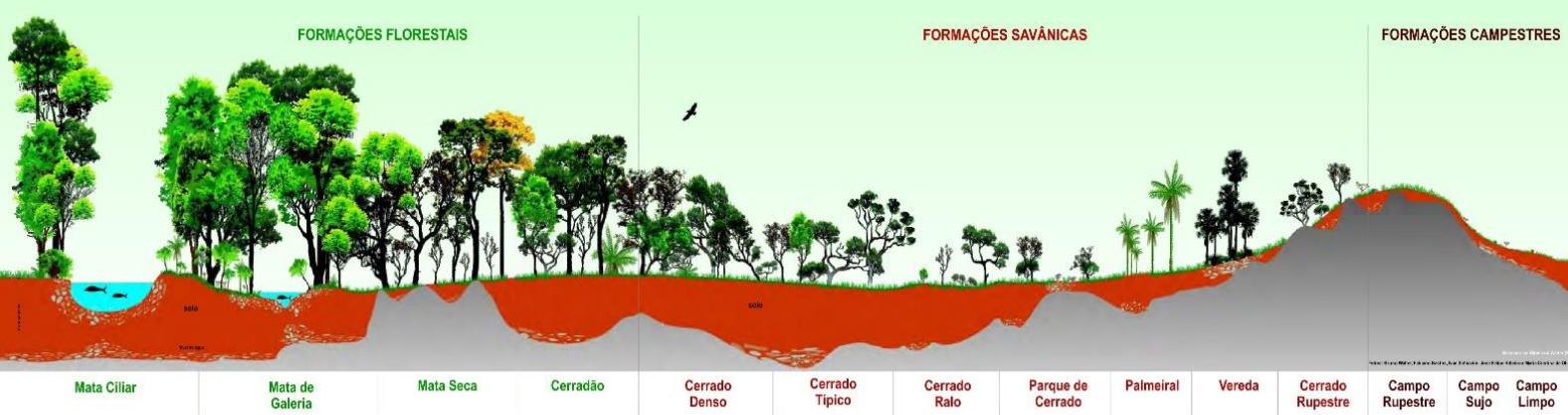
ANEXO 1 - CERRADO BRASILEIRO



ANEXO 2 – Fitofisionomias do cerrado

FITOFISIONOMIAS DO BIOMA CERRADO

Embrapa



Fonte: EMBRAPA (2008)

ANEXO 3 – Vereda típica



Foto: Professor Dr. André Rosalvo Terra Nascimento(2024)