



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SUBSTITUIÇÃO DE ESPÉCIES E ADENSAMENTO FLORESTAL
EM CERRADÃO PROTEGIDO DO FOGO POR 20 ANOS**

Gabriel Lima Nascimento

Brasília, 12 de Julho de 2024

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**SUBSTITUIÇÃO DE ESPÉCIES E ADENSAMENTO FLORESTAL
EM CERRADÃO PROTEGIDO DO FOGO POR 20 ANOS**

Gabriel Lima Nascimento

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Profa. Dra. Alba Valéria Rezende

Brasília-DF, 12 de Julho de 2024



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**Substituição de espécies e adensamento florestal em Cerradão protegido do
fogo por 20 anos**

Estudante: Gabriel Lima Nascimento
Matrícula: 180016822
Orientadora: Profa. Dra. Alba Valéria Rezende

Menção: _____

Profa. Dra. Alba Valéria Rezende
Universidade de Brasília - UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientadora

Prof. Dr. Eder Pereira Miguel
Universidade de Brasília - UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da Banca

Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto
Universidade de Brasília - UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da Banca

Brasília-DF, 12 de Julho de 2024

1	SUMÁRIO	
1	INTRODUÇÃO	11
2	MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1	Área de estudo	14
2.2	Coleta de dados	15
2.3	Análise de dados	18
2.3.1	Suficiência amostral	18
2.3.2	Mudanças na composição florística	19
2.3.3	Mudanças na estrutura da vegetação	20
2.3.4	Mudanças no estoque de carbono da biomassa lenhosa aérea da vegetação	21
2.3.5	Dinâmica da vegetação entre 2004 e 2024	23
3	RESULTADOS	25
3.1	Suficiência da amostragem	25
3.1.1	Mudanças na composição florística	26
3.1.2	Mudanças na estrutura da vegetação	29
3.1.3	Mudanças no estoque de carbono da biomassa lenhosa aérea da vegetação	35
3.1.4	Dinâmica da vegetação entre 2004 e 2024	40
4	DISCUSSÃO	42
5	CONCLUSÕES	47
6	REFERÊNCIAS	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros fitossociológicas.	21
Tabela 2 – Estatísticas de precisão dos inventários florestais realizados em 2004 e 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	26
Tabela 3 – Espécies lenhosas e suas respectivas famílias botânicas registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	27
Tabela 4 – Espécies lenhosas típicas da fitofisionomia Cerrado sentido restrito e espécies preferenciais e/ou exclusivas de formações florestais registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	30
Tabela 5– Resultado da seleção da melhor equação volumétrica para estimar volume dos indivíduos lenhosos, com base no Método da Diferença Agregada, pertencentes às espécies florestais, registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	35
Tabela 6 – Parâmetros da dinâmica por grupo de espécie e para comunidade da vegetação lenhosa do fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curvas de rarefação para a flora lenhosa do fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal, geradas a partir dos monitoramentos realizados em 2004 e 2024, nas cinco parcelas permanentes de 0,1 ha.....	25
Figura 2 - Contribuição dos parâmetros que compõem o IVI, considerando as 10 espécies de maior IVI registradas no inventário florestal realizado em 2004 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	31
Figura 3 - Contribuição dos parâmetros que compõem o IVI, considerando as 10 espécies de maior IVI registradas no inventário florestal realizado em 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal	32
Figura 4 - Distribuição diamétrica dos indivíduos de espécies savânicas por classe de Db, registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	33
Figura 5 - Distribuição diamétrica dos indivíduos de espécies florestais por classe de DAP, registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	34
Figura 6 - Estoques de carbono por classe de Db para as espécies savânicas, registrados nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.....	34
Figura 7 - Estoques de carbono por classe de DAP para as espécies florestais registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.....	37
Figura 8 - Estoques de carbono por classe de Db para a vegetação lenhosa registrada nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.....	37
Figura 9 - Contribuição das 10 espécies que mais estocaram carbono registradas no inventário florestal realizado em 2004 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	38
Figura 10 - Contribuição das 10 espécies que mais estocaram carbono registradas no inventário florestal realizado em 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.	39

Figura 11– Mortalidade e de recrutamento por classe de Db, registradas no período de 2004 a 2024 para a vegetação lenhosa amostrada no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.....41

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília (UnB), pela oportunidade de realizar este estudo e pelo ambiente propício ao aprendizado ao longo da graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro concedido por meio das bolsas de apoio durante todo o período da graduação, fundamental para minha formação acadêmica.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UnB, pelo excelente corpo docente, que dedicou seu tempo e conhecimento para minha formação profissional, contribuindo significativamente para meu desenvolvimento.

À Professora Doutora Alba Valéria Rezende, minha orientadora, pelo apoio constante, confiança e pelos ensinamentos valiosos transmitidos ao longo deste trabalho.

Aos Professores José Roberto e Eder, que aceitaram participar da banca examinadora, por sua disposição, orientações e por serem exemplos de excelência acadêmica e amizade.

À minha mãe, Andreia Silva Lima, pelo amor incondicional, apoio inabalável e por ser minha maior fonte de inspiração.

Às minhas tias Angela e Audrey, pelo carinho, apoio e cuidado ao longo dos anos.

Ao meu primo Guilherme, pela constante ajuda e suporte durante minha jornada acadêmica.

À minha saudosa avó, que foi minha grande força e inspiração, e infelizmente nos deixou no ano passado sem a oportunidade de me ver formado.

Aos meus amigos Jova, Bia, Ághata e Pedro Paulo, que estiveram ao meu lado desde o início da graduação, compartilhando risos, desafios e conquistas.

Aos amigos que a Engenharia Florestal me proporcionou: Bruno, Marllós, Vitinho, Tales e Aluísio, pelo companheirismo, colaboração e amizade sincera.

E, por último, agradeço especialmente à minha namorada, Iara Pedroza, pelo amor, compreensão e apoio incondicional ao longo desta jornada.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e contribuição de cada um de vocês.

A todos, o meu sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

Nascimento, Gabriel Lima (NASCIMENTO, G. L.). SUBSTITUIÇÃO DE ESPÉCIES E ADENSAMENTO FLORESTAL EM CERRADÃO PROTEGIDO DO FOGO POR 20 ANOS. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Este estudo investigou mudanças na florística, na estrutura e no estoque de carbono da vegetação lenhosa de um fragmento de Cerradão protegido do fogo por 20 anos, localizado em Brasília, Distrito Federal. Em 2004, foram implantadas no Cerradão, cinco parcelas permanentes de 20 x 50 m, distribuídas aleatoriamente e cobrindo 12,5% da área total do fragmento. Todos os indivíduos lenhosos, vivos e mortos em pé, com diâmetro tomado a 0,30 m do solo (Db), igual ou superior a 5 cm, foram incluídos no levantamento. Para cada indivíduo foram registradas as seguintes informações: coordenada geográfica X e Y dentro da parcela, Db, altura total e identificação botânica em nível de família, gênero e espécie. Cada indivíduo ainda recebeu uma etiqueta de alumínio contendo seu código de identificação. O diâmetro tomado a 1,30 m do solo (DAP) também foi registrado para os indivíduos pertencentes a espécies preferenciais e/ou exclusivas de ambientes florestais. Em 2024 foi realizado outro levantamento nas parcelas permanentes, sendo mensurados o Db, o DAP e a altura de todos os indivíduos lenhosos (vivos e mortos em pé) remanescentes de 2004. Indivíduos recrutados no período (vivos e mortos em pé) foram incluídos no levantamento, considerando os mesmos critérios adotados para os indivíduos registrados em 2004. A inclusão da variável DAP para espécies florestais foi mantida. Indivíduos vivos em 2004 que morreram e caíram durante o período monitorado foram classificados como mortos, enquanto os que morreram e permaneceram em pé, foram classificados como mortos em pé. Em 20 anos, a estrutura da vegetação lenhosa do Cerradão mudou consideravelmente, com incrementos em densidade de indivíduos (de 1.268 ind ha⁻¹ para 1.806 ind ha⁻¹), área basal (de 18,98 m² ha⁻¹ para 22,32 m² ha⁻¹) e estoque de carbono (26,78 Mg ha⁻¹ para 36,72 Mg ha⁻¹), evidenciados, principalmente, por espécies preferenciais e/ou exclusivas de ambientes florestais. Embora a diversidade florística tenha se mantido estável no período monitorado, o número de espécies aumentou, passando de 56 para 68 espécies. Em 2024, espécies florestais passaram a ocupar as primeiras posições de IVI (Índice de Importância), que em 2004 eram ocupadas por espécies savânicas. Os resultados indicam que o Cerradão está num processo de substituição de espécies savânicas por espécies florestais devido, principalmente, ao adensamento e ao sombreamento que vem ocorrendo na área. As significativas mudanças na florística, estrutura e dinâmica da vegetação lenhosa do Cerradão comprovam esse processo de substituição de espécies que vem ocorrendo. Houve no período o recrutamento de 12 espécies florestais e apenas três espécies savânicas. Além disso, todas as espécies florestais registradas em 2004 permanecem na comunidade, enquanto três espécies savânicas desapareceram. As taxas de mortalidade e recrutamento comprovam o estágio sucessional avançado da comunidade. No período monitorado, a diferença no balanço entre mortalidade e recrutamento de indivíduos de espécies savânicas foi pequena comparada a expressiva diferença em favor do recrutamento de indivíduos de espécies florestais. As taxas de mudança líquida em densidade de indivíduos por grupo de espécie mostram a notável divergência entre as dinâmicas das espécies savânicas e florestais. Embora os resultados indiquem que a comunidade do Cerradão se encontra num estágio sucessional avançado, não é possível afirmar se o equilíbrio dinâmico dessa comunidade foi atingido, sendo necessário, portanto, manter o monitoramento periódico e contínuo da vegetação na comunidade para conseguir identificar quando ocorrerá esse ponto de equilíbrio.

Palavras-chave: Estoque de carbono; Estágio sucessional; Adensamento; Sombreamento

ABSTRACT

Nascimento, Gabriel Lima (NASCIMENTO, G. L.) **SPECIES REPLACEMENT AND FOREST DENSIFICATION IN A FIRE-PROTECTED CERRADÃO FOR 20 YEARS**. Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

This study investigated changes in the floristics, structure, and carbon stock of the woody vegetation in a 20-year fire-protected fragment of Cerradão, located in Brasília, Federal District. In 2004, five permanent plots of 20 x 50 m were established within the Cerradão, randomly distributed and covering 12.5% of the total fragment area. All woody individuals, alive and standing dead, with a diameter at breast height (Db) equal to or greater than 5 cm, were included in the survey. For each individual, the following information was recorded: X and Y geographic coordinates within the plot, Db, total height, and botanical identification at the family, genus, and species levels. Each individual was also tagged with an aluminum label containing its identification code. Diameter at breast height (DAP) was also recorded for individuals belonging to forest species or those exclusive to forest environments. In 2024, another survey was conducted in the permanent plots, measuring Db, DAP, and height of all remaining woody individuals (alive and standing dead) from 2004. Individuals recruited during the period (alive and standing dead) were included in the survey, following the same criteria as those registered in 2004. The inclusion of the DAP variable for forest species was maintained. Individuals alive in 2004 that died and fell during the monitored period were classified as dead, while those that died and remained standing were classified as standing dead. Over 20 years, the structure of the woody vegetation in the Cerradão changed significantly, with increases in density of individuals (from 1,268 ind ha⁻¹ to 1,806 ind ha⁻¹), basal area (from 18.98 m² ha⁻¹ to 22.32 m² ha⁻¹), and carbon stock (from 26.78 Mg ha⁻¹ to 36.72 Mg ha⁻¹), mainly driven by forest species or those exclusive to forest environments. Although floristic diversity remained stable during the monitored period, the number of species increased from 56 to 68. By 2024, forest species occupied the top positions in Importance Value Index (IVI), which were occupied by savanna species in 2004. The results indicate that the Cerradão is undergoing a process of replacing savanna species with forest species, mainly due to densification and shading in the area. Significant changes in the floristics, structure, and dynamics of the woody vegetation confirm this species substitution process. During the period, 12 forest species and only three savanna species were recruited. Additionally, all forest species recorded in 2004 remain in the community, while three savanna species have disappeared. Mortality and recruitment rates confirm the advanced successional stage of the community. In the monitored period, the net balance between mortality and recruitment of savanna species was small compared to the significant difference in favor of recruitment of forest species. Net change rates in density of individuals per species group show notable divergence between the dynamics of savanna and forest species. Although the results indicate that the Cerradão community is in an advanced successional stage, it is not possible to confirm whether dynamic equilibrium has been reached. Therefore, it is necessary to maintain periodic and continuous monitoring of the vegetation in the community to identify when this equilibrium point will occur.

Keywords: Carbon stock; Successional stage; Densification; Shading.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, cobrindo originalmente cerca de 23% do território nacional (IBGE, 2004). Sua área contínua abrange 11 estados do país (Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná e São Paulo), além do Distrito Federal e de encaves existentes nos estados do Amapá, Roraima e Amazonas (BARBOZA, 2005; COSTA NETO, 2014; CONSENTINE, 2018).

Além de ser reconhecidamente a maior savana neotropical, o Cerrado também ocupa o *status* de savana mais biodiversa do planeta (WALTER, 2006), pois, detém biodiversidade rica e única, caracterizada, sobretudo, pela presença de elevado grau de endemismo (BFG, 2015). Além de abrigar cerca de 5% da biodiversidade mundial (GREEN et al., 2019), fornece 70% da água doce do país (LAHSEN et al., 2016) e outros importantes serviços ecossistêmicos. A maior compilação de dados científicos já realizada sobre a flora do bioma mostrou que já foram catalogadas 11.627 espécies de plantas vasculares no Cerrado, e 35% dessas espécies foram classificadas como plantas endêmicas (MENDONÇA et al., 2008; STRASSBURG, 2017).

Nas últimas cinco décadas, mais de 50% da cobertura original do Cerrado foi convertida em outros usos, com destaque para agricultura e pastagem (ALENCAR et al., 2020; SOUZA et al., 2020; STRASSBURG et al., 2017). Segundo o Relatório Anual de Desmatamento (RAD), do Projeto MapBiomas, publicado em 2024, somente em 2023 foram desmatados no Cerrado 1.110.326 hectares, ou seja, 61% da área total desmatada no país (<https://alerta.mapbiomas.org/>).

Os impactos ambientais sucessivos e em larga escala no bioma têm causado destruição de vários de seus habitats, contaminação do solo, água e ar, e, eventos climáticos extremos, como a seca. Essa degradação recorrente do bioma permitiu a sua inclusão entre os 36 *hotspots* mundiais (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2004; WEINZETTEL et al., 2018), ou seja, entre os ecossistemas classificados mundialmente como prioritários para conservação, pois, apesar de concentrarem elevada biodiversidade, associada a elevado endemismo, esses ecossistemas estão sujeitos a grandes pressões antrópicas, como, por exemplo, desmatamentos, queimadas, destruição de habitats, poluição, exploração ilegal de recursos naturais, entre outros.

O Cerrado é constituído por um mosaico de paisagens (SILVA, 2006), composto por formações campestres, savânicas e florestais (RIBEIRO; WALTER, 2008). Uma de suas

fitofisionomias mais distinta é o Cerradão, por se tratar de um ecossistema complexo, que desafia até mesmo definições simplistas (EITEN, 1978; RIBEIRO; WALTER, 2008).

O Cerradão é classificado como formação florestal que geralmente ocorre na forma de fragmentos dentro de áreas cobertas por Cerrado sentido restrito, que é a formação savânica predominante no bioma (RIBEIRO; WALTER, 2008). A transição do Cerrado sentido restrito para o Cerradão ocorre de forma gradual e suave, e pode ser diagnosticada pelo aumento na altura das árvores e alterações na composição florística (SOUZA, 2008).

No Cerradão, o estrato herbáceo é ausente ou escasso, porém, o estrato arbóreo chega a ocupar cerca de 50% a 90% do dossel, com árvores que atingem alturas máximas variando de 7 a 15 m (RIBEIRO; WALTER, 2008), pertencentes a uma mistura de espécies florestais, savânicas e generalistas (FELFILI, 2001; SOLORZANO, 2012), também denominadas de acessórias (CARVALHO et al., 2016).

Apesar da composição florística do Cerradão ser considerada “mista”, a maioria de suas espécies pertence a formação savânica, principalmente de Cerrado sentido restrito (CITAÇÃO). Contudo, espécies florestais, típicas de Mata de Galeria não-inundável e Mata Seca Semidecidual, também estão presentes em abundância nas áreas de Cerradão (CARVALHO et al., 2016). Por outro lado, a composição florística do Cerradão é também influenciada pela fertilidade do solo e é essa fertilidade que permite a classificação do Cerradão em dois tipos, ou seja, Cerradão distrófico, cujo solo é de menor fertilidade e com menor saturação por bases ($V \% < 50\%$), e Cerradão mesotrófico, que apresenta solo mais fértil e com maior saturação por bases ($V \% \text{ entre } 30 \% \text{ e } 50\%$) (RATTER et al., 1971; 1977).

A fertilidade do solo também influencia na estrutura do Cerradão. O solo mais fértil do Cerradão mesotrófico favorece o crescimento primário e secundário de suas árvores e, conseqüentemente, sua comunidade apresenta maior área basal por hectare e árvores de maior porte, quando comparada com a comunidade de Cerradão distrófico, que, em geral, apresenta reduzida cobertura arbórea e maior densidade de árvores de menor porte (RATTER et al., 1977; RIBEIRO et al., 1982; ARAÚJO; HARIDASAN, 1989; RIBEIRO; HARIDASAN, 1990; HARIDASSAN, 1992; OLIVEIRA FILHO; RATTER, 1995; MARIANO, 2019).

Todas as peculiaridades apresentadas sobre o Cerradão permitem o seu destaque como sendo um dos ecossistemas mais biodiverso e ecologicamente ricos do Brasil central, mesmo ocupando apenas cerca de 1% da área total do bioma (MARIMON JUNIOR; HARIDASAN,

2005). Contudo, suas áreas estão entre as mais devastadas no bioma, principalmente para ocupação da agricultura (FELIFILI, 2001; FELFILI et al., 2002; CARVALHO, 2016). Portanto, considerando sua biodiversidade peculiar e o fato de suas áreas não serem contíguas, mas, representadas por pequenos fragmentos (FELFILI et al., 2002) dispersos na paisagem do bioma, torna-se imperativo uma devida atenção para essa importante fitofisionomia, já que existe o risco eminente de sua extinção.

Mas, a degradação do Cerrado não é um caso isolado. Cientistas de vários países do mundo, inclusive do Brasil, vêm alertando governos, empresas e a sociedade como um todo, sobre a perda de cobertura florestal no planeta e seus impactos nas mudanças climáticas globais. Somente no período de 1990 a 2015, o planeta perdeu, aproximadamente, 129 Milhões de ha de florestas (FAO, 2018), e o desmatamento nos trópicos foi um dos fatores que mais contribuiu com essa perda (KEENAN et al., 2015). Apesar dos acordos internacionais firmados entre vários países do mundo, na busca pela mitigação e adaptação às mudanças climáticas, e pela redução do desmatamento no planeta, as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera vêm aumentando anualmente, atingindo, em janeiro de 2020, a média global de 412 ppm (DLUGOKENCKY; TANS, 2020). Dados recentes publicados pela Global Forest Watch (<https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/>) indicam que a perda de cobertura florestal no mundo continua aumentando de forma significativa, sendo que entre 2001 e 2023, o planeta perdeu 488 Milhões de ha da sua cobertura florestal (12% da cobertura registrada no ano 2000), o que correspondente a 207 Gt de emissões de CO₂ para a atmosfera. Desse montante, 22% foram causados por desmatamentos, ou seja, perda permanente de áreas florestais para ocupação de novos usos da terra, como agricultura, urbanização e outras commodities de grande escala.

Depois da queima de combustíveis fósseis, o desmatamento é a segunda principal causa das mudanças climáticas no mundo, responsável por quase 20% das emissões de gases de efeito estufa (FAO, 2018). Porém, os incêndios florestais e a extração ilegal e não sustentável de madeira e produtos não madeireiros também contribuem com essas mudanças. As mudanças no uso e cobertura do solo podem alterar o balanço energético da Terra e seus ciclos biogeoquímicos, causando alterações climáticas que afetam as propriedades da superfície terrestre e a oferta de serviços ecossistêmicos (FOLEY et al., 2005; TURNER et al., 2007; ALKAMA; CESCATTI, 2016; THOM, 2016).

Um desses serviços ecossistêmicos é o sequestro do carbono, ou seja, a capacidade de fixação e conversão do CO₂ na biomassa e na água, por meio da fotossíntese realizada pelas plantas (ROQUETTE, 2018). O CO₂ é um dos mais importantes gases de efeito estufa (GEE), e as plantas o utilizam durante o processo de fotossíntese, capturando o carbono (C), fixando-o em suas estruturas e liberando o oxigênio (O). O processo de sequestro e fixação de carbono pela vegetação tem sido considerado uma das formas mais eficientes de reduzir as concentrações de CO₂ na atmosfera (ROQUETTE, 2018). A vegetação armazena o carbono na biomassa viva acima do solo (folhas, ramos, galhos, troncos) e abaixo do solo (raízes). Além disso, por meio da ciclagem do carbono da biomassa morta ou necromassa (serapilheira e madeira morta), as florestas são também responsáveis por aumentar o armazenamento de C orgânico no solo (biomassa microbiana e matéria orgânica do solo) (CALDEIRA et al., 2003, 2008). Segundo Harris et al. (2021), as florestas são responsáveis pela absorção líquida de 7,6 BMg de CO₂ por ano.

Portanto, entender e quantificar o conteúdo de carbono nos ecossistemas florestais pode ajudar na obtenção das estimativas mais confiáveis do balanço regional e global de carbono. Os monitoramentos de longo prazo de ecossistemas florestais são extremamente importantes nesse processo, pois, além de ajudarem a melhor compreender a dinâmica da floresta (KORNING; BALSLEV, 1994), também permitem avaliar o potencial desses ecossistemas em estocar carbono e relacionar esses estoques com as alterações do clima (FELFILI, 1997; AZEVEDO et al., 2022) e possíveis distúrbios naturais e antrópicos que venham ocorrer tanto *in situ* quanto *ex situ*.

O objetivo deste estudo foi avaliar, no período de 20 anos, as mudanças na florística, na estrutura e no estoque de carbono da vegetação lenhosa em um fragmento de Cerradão, localizado na Estação Ecológica da Universidade de Brasília, situada em Brasília, Distrito Federal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em um fragmento de Cerradão Distrófico, localizado dentro da Fazenda Água Limpa – FAL (15°56' a 15°56' S e 47°55' a 47°58' W), em Brasília, Distrito Federal. A FAL pertence a Universidade de Brasília, faz parte do Núcleo da Reserva da Biosfera

do Cerrado e está inserida na Área de Proteção Ambiental das Bacias do Gama e Cabeça de Veado. Dentro da APA, encontra-se a Área Relevante de Interesse Ecológico – ARIE Capetinga/Taquara, também conhecida como Estação Ecológica da Universidade de Brasília (FELFILI et al., 1997).

A FAL ocupa cerca de 4.340 hectares e está situada a 1.100 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima na região é do tipo Aw (ALVARES et al., 2013), caracterizado por duas estações bem definidas, ou seja, quente e chuvosa, de outubro a março, e fria e seca, de abril a setembro (ALVARES et al., 2013; INMET, 2019). As temperaturas médias variam de 12 °C a 28,5 °C e a precipitação média anual é de 1500 mm (INMET, 2019). Os solos predominantes na FAL são os Latossolos Vermelho Escuro, com baixa fertilidade, boa drenagem, profundos e com acidez variando de alta a muito alta, principalmente devido ao alto teor de alumínio (LIBANO; FELFILI, 2006).

Grande parte da área total da FAL é coberta por diferentes fitofisionomias do Cerrado, sendo 3.140 ha destinados à conservação e 1200 ha à produção (FAL, 2019). As fitofisionomias variam desde campestre (p.ex. Campo Limpo) até florestal (p.ex. Mata de Galeria e Cerradão), porém o Cerrado sentido restrito predomina no local, ocupando cerca de 1.480 ha. A fitofisionomia Cerradão é rara na FAL, existindo apenas um fragmento com cerca de 4 ha, situado no declive da margem direita do Ribeirão do Gama, próximo às coordenadas geográficas 15°56'47'' S e 47°56'43'' O.

2.2 Coleta de dados

Em 2004 foram implantadas no fragmento de Cerradão cinco parcelas permanentes de 20 m x 50 m cada (FELFILI et al. 2005), distribuídas aleatoriamente e ocupando juntas 12,5% da área do fragmento. As parcelas foram instaladas de forma permanente, tendo os seus vértices demarcados por estacas de ferro pintadas com tinta branca. Cada parcela também foi subdividida em 10 subparcelas de 10 m x 10 m, cujos vértices também foram demarcados com estacas de ferro pintadas de branco, visando garantir a exata localização de cada subparcela, ao longo do tempo.

Dentro de cada parcela foram registrados todos os indivíduos lenhosos, arbóreos e arbustivos, vivos e mortos em pé, com diâmetro tomado a 0,30 m acima do nível do solo (Db) igual ou superior a 5 cm. Cada indivíduo lenhoso incluído no levantamento teve o registro da

sua correspondente coordenada geográfica X e Y de localização dentro de cada subparcela. A coordenada X e Y foi tomada a partir do canto direito inferior de cada subparcela. No fuste de cada indivíduo também foi fixado uma etiqueta de alumínio contendo o seu código de identificação. Tanto a coordenada geográfica quanto a etiqueta permitem que o indivíduo seja localizado mais facilmente em futuros monitoramentos da vegetação, proporcionando ~~um~~ maior controle na obtenção das informações na área.

A medição do Db de cada indivíduo foi realizada com suta metálica, em duas direções perpendiculares e a média calculada. A altura total (Ht) foi tomada com o auxílio de régua telescópica de 12 m e alturas superiores foram estimadas. Todo indivíduo bifurcado ou com múltiplos fustes, ou seja, com, respectivamente, dois ou mais fustes com $Db \geq 5$ cm, partindo abaixo de 30 cm do solo, teve cada fuste mensurado separadamente, e cada fuste recebeu uma etiqueta de alumínio contendo o seu código de identificação.

Os indivíduos também foram identificados botanicamente ao nível de família, gênero e espécie. A identificação ocorreu durante o levantamento, quando possível, porém, na impossibilidade de realizar a identificação em campo, as amostras botânicas foram coletadas, prensadas, levadas para secagem em estufa e, posteriormente, encaminhadas para o herbário para consultas às chaves analíticas ou à especialistas.

Tendo em vista que o Cerradão apresenta flora lenhosa “mista”, que inclui espécies típicas de formação savânica (Cerrado sentido restrito) e espécies típicas de formação florestal (Mata de Galeria não-inundável e Mata Seca Semidecidual), para efeito desse estudo, foi registrado também o diâmetro tomado a 1,30 m do solo (DAP) igual ou superior a 5 cm de todos os indivíduos lenhosos pertencentes a espécies florestais que ocorrem exclusivamente em ambientes de mata. A decisão de incluir a medição do DAP no banco de dados foi tomada pelo fato de existir estudos em outras áreas de Cerradão, onde a inclusão dos indivíduos considera apenas o DAP, e para alguns desses estudos foram desenvolvidos modelos alométricos para estimativa ou de volume ou de biomassa ou de estoque de carbono. Isto permitiria possíveis comparações entre áreas. Além disso, como o Cerradão apresenta espécies de mata, seria possível também, a partir das informações do DAP, realizar alguma comparação em nível de comunidade, ou seja, comunidade de espécies de Cerrado sentido restrito X comunidade de espécies florestais.

Vale destacar ainda que para as espécies típicas de formações florestais, todo indivíduo bifurcado ou com múltiplos fustes, ou seja, com, respectivamente, dois ou mais fustes com DAP ≥ 5 cm, partindo abaixo de 1,30 m do solo, teve cada fuste mensurado separadamente, e cada fuste recebeu uma etiqueta de alumínio contendo o seu código de identificação.

Após o levantamento de 2004 foram realizados mais quatro inventários na área, sendo um em 2007 e os demais em 2015, 2018 e 2024 (presente estudo). Em cada novo inventário é realizado o levantamento dos indivíduos lenhosos em cada uma das cinco parcelas permanentes implantadas na área. No caso do inventário de 2024 foi realizada a remedição dos diâmetros (Db e DAP) e das alturas de todos os indivíduos lenhosos (vivos e mortos em pé) registrados em 2004. Indivíduos que estavam vivos em 2004, mas morreram e caíram durante o período monitorado foram considerados mortos. Indivíduos vivos em 2004 e que morreram durante o período monitorado, mas permaneceram em pé, foram classificados como mortos em pé. Indivíduos vivos e mortos em pé, que foram recrutados no período com base no critério de inclusão, tiveram as suas coordenadas X e Y registradas, receberam uma etiqueta com código de identificação, foram identificados botanicamente e tiveram seus valores de diâmetro e altura total registrados. A medição do diâmetro seguiu o mesmo critério adotado em 2004, considerando as espécies típicas de Cerrado sentido restrito e espécies preferenciais e/ou exclusivas de ambientes florestais.

O sistema de classificação botânica adotado em cada monitoramento foi atualizado para o APG IV (*Angiosperm Phylogeny Group*) (BYNG et al., 2016) e a nomenclatura botânica foi conferida e atualizada com auxílio do Herbário Virtual Re flora (<http://reflora.jbrj.gov.br>), administrado pelo Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Ao longo do período monitorado (2004-2024) não houve registro de incêndios no Cerradão, porém, em 2007, foi implantada uma pesquisa para amostragem de vertebrados terrestres, que envolveu a instalação de armadilhas do tipo *pitfall*, com a colocação de baldes enterrados no solo, dispostos em linha reta e separados por uma cerca guia feita com lona plástica preta de 50 cm de largura, fixada por estacas de madeira. As armadilhas foram instaladas ao longo de toda área do Cerradão, passando, inclusive, dentro das parcelas permanentes do inventário florestal, o que provocou alguns distúrbios nas parcelas, já que o processo de instalação das armadilhas envolveu o corte total da vegetação do sub-bosque, ou

seja, das plantas herbáceas e arbustivas e da regeneração natural de espécies arbóreas do Cerradão.

2.3 Análise de dados

Para efeito deste estudo foram considerados apenas os dados provenientes dos monitoramentos realizados em 2004 e 2024. As espécies registradas foram divididas em dois grupos, ou seja, *Grupo 1*: representado por espécies típicas do Cerrado sentido restrito, e *Grupo 2*: representado por espécies preferenciais e/ou exclusivas de ambientes florestais.

2.3.1 Suficiência amostral

A suficiência da amostragem foi avaliada em cada período monitorado (2004 e 2024), considerando tanto a representatividade da composição florística (avaliação qualitativa) quanto a precisão das informações geradas em nível de densidade e área basal de indivíduos (avaliação quantitativa). A avaliação da suficiência amostral, tanto qualitativa quanto quantitativa, buscou verificar se a amostragem realizada em 2004 continua sendo suficiente para amostrar a flora e a estrutura da vegetação lenhosa do Cerradão, ou se há necessidade de aumentar a intensidade de amostragem para os próximos monitoramentos, considerando a entrada ou saída de novas espécies ou o aumento da variabilidade das variáveis densidade e área basal de indivíduos entre unidades amostrais.

A representatividade florística obtida pela amostragem foi avaliada com base na curva de rarefação, conforme descrito por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974). Essa avaliação é fundamentada na premissa de que, à medida que a área amostrada aumenta, o número de espécies também aumenta, porém, numa taxa decrescente, até que a curva atinja o ponto de estabilização e se torne horizontal. Este ponto representa a área mínima necessária para representar a comunidade de forma adequada.

A projeção de riqueza foi calculada a partir do estimador Jackknife de primeira ordem, sendo utilizado o software estatístico R.

Do ponto de vista quantitativo, a suficiência da amostragem foi avaliada utilizando o erro amostral ou precisão do inventário (PELLICO NETO; BRENA, 1997). O cálculo do erro considerou as variáveis densidade de indivíduos e área basal.

2.3.2 Mudanças na composição florística

A caracterização da flora lenhosa do Cerradão em cada período monitorado foi realizada considerando a composição florística, a riqueza e diversidade de espécies.

Após a identificação dos indivíduos lenhosos na comunidade em nível de família, gênero e espécie, foi compilada a lista detalhada da composição florística do Cerradão para os dois períodos monitorados.

A riqueza de espécies de cada período monitorado foi obtida pela contagem do número de famílias, gêneros e espécies. A diversidade de espécies foi obtida a partir do Índice de diversidade de Shannon (MAGURRAN, 1988), que assume a amostragem aleatória dos indivíduos dentro de uma comunidade infinitamente grande, com todas as espécies representadas na amostra (FELFILI; REZENDE, 2003). Em geral, este índice varia de 1,5 a 3,5, mas, excepcionalmente, pode ultrapassar 4,5 (MAGURRAN, 1988). O Índice de Shannon é dado por:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)$$

em que H' é o Índice de Shannon; \ln é o logaritmo neperiano na base e ; $i = 1, 2, 3, \dots, S$ espécies; S é o número total de espécies amostradas na comunidade; p_i é a proporção de indivíduos da i -ésima espécie na comunidade, ou seja, $p_i = \frac{n_i}{N}$, n_i é o número de indivíduos da espécie i e N é o número total de indivíduos amostrados na comunidade.

Para expressar a abundância relativa das espécies foi utilizado o Índice de Uniformidade ou Equabilidade de Pielou (J) (KENT; COKER, 1992), derivado do Índice de Shannon, que representa a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies (PIELOU, 1975), e é dado por:

$$J = \frac{H'}{\ln(S)}$$

As mudanças na composição florística da vegetação lenhosa do Cerradão entre 2004 e 2024 foram verificadas comparando as informações relacionadas à composição florística, riqueza e diversidade de espécies nos dois períodos monitorados.

2.3.3 Mudanças na estrutura da vegetação

A estrutura da vegetação lenhosa registrada em 2004 foi comparada com aquela encontrada em 2024, visando caracterizar e avaliar as mudanças ocorridas nos parâmetros fitossociológicos e na distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro, no período de 20 anos.

Para caracterizar a estrutura fitossociológica da comunidade em cada ano monitorado, foram considerados os parâmetros densidade, frequência e dominância (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974; KENT; COKER, 1992). A densidade representa o número de indivíduos por unidade de área de cada espécie registrada na área amostrada. A dominância correspondente área basal desses indivíduos por espécie e por unidade de área, indicando, conseqüentemente, o grau de ocupação dos indivíduos de cada espécie na comunidade. A frequência está relacionada ao número de parcelas em que espécie ocorreu em relação ao total de parcelas amostradas, ou seja, quantifica a distribuição espacial de uma determinada espécie na comunidade. Esses três parâmetros podem ser expressos tanto em termos absolutos quanto relativos. Para cada espécie, a soma dos valores relativos desses três parâmetros corresponde ao Índice de Valor de Importância (IVI), que representa o grau de importância ecológica da espécie na comunidade (Tabela 1) e, conseqüentemente, da família.

Para obter a área basal de cada espécie, os fustes de indivíduos bifurcados ou com múltiplos fustes saindo separadamente do solo ou de altura inferior a 30 cm do solo (para espécies típicas de Cerrado sentido restrito) ou de altura inferior a 1,30 m do solo (para espécies preferenciais e/ou exclusivas de ambientes florestais), foram considerados indivíduos distintos e cada fuste teve sua área seccional determinada.

A estrutura diamétrica da vegetação lenhosa do Cerradão em cada ano monitorado foi avaliada para toda a comunidade e para cada um dos dois grupos de espécies: *Grupo 1* e *Grupo 2*. Foi considerado o intervalo de classe de 5 cm, por ser o mais compatível para os dois grupos de espécie e para a comunidade em geral.

Tabela 1 – Parâmetros fitossociológicas.

Parâmetros fitossociológicas	Unidade	Fórmula
Densidade Absoluta da espécie i (DA_i)	ind ha ⁻¹	$DA_i = \frac{ni}{A}$
Densidade Relativa da espécie i (DR_i)	%	$DR_i = \frac{DA_i}{\sum_{i=1}^n DA_i} \cdot 100$
Dominância Absoluta da espécie i (DoA_i)	m ² ha ⁻¹	$DoA_i = \frac{Gi}{A}$
Dominância Relativa da espécie i (DoR_i)	%	$DoR_i = \frac{DoA_i}{\sum DoA_i} \times 100$
Frequência Absoluta da espécie i (FA_i)	%	$FA_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \cdot 100$
Frequência Relativa da espécie i (FR_i)	%	$FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^n FA_i} \cdot 100$
Índice de Valor de Importância da espécie i (IVI_i)	%	$IVI_i = DR_i + DoR_i + FR_i$

Em que ni é o número de indivíduos da espécie i; A é área total amostrada; Gi área basal total da espécie i; Pi é o número de amostras em que ocorreu a espécie i.

2.3.4 Mudanças no estoque de carbono da biomassa lenhosa aérea da vegetação

Durante cada período monitorado, o estoque de carbono da vegetação lenhosa foi avaliado em nível de espécie e de comunidade, considerando exclusivamente a parte aérea (tronco e galhos) dos indivíduos vivos e mortos em pé registrados na comunidade.

Para os indivíduos pertencentes a espécies típicas de Cerrado sentido restrito, o estoque de carbono para cada ano monitorado foi estimado utilizando a equação alométrica desenvolvida especificamente para o Cerrado sentido restrito da FAL (REZENDE et al., 2006), dada por: $EC = -0,24564 + 0,01456 Db^2H$ ($R^2_{aj} = 98,29\%$ e $S_{yx} = 25,79\%$), em que EC é o estoque de carbono por árvore (Kg); Db é o diâmetro da árvore tomado a 0,30 m do solo (cm); H é altura total da árvore (m); R^2_{aj} é o coeficiente de determinação ajustado e S_{yx} é o erro-padrão da estimativa.

Como não foi desenvolvida ainda uma equação para estimar o estoque de carbono dos indivíduos pertencentes as espécies típicas de formações florestais para o Cerradão da FAL, optou-se por estimar o estoque de carbono de cada indivíduo a partir da obtenção da sua respectiva massa seca ($Mseca_i$), dada por $Mseca_i = V_i \cdot Deb_i$, em que V_i é o volume lenhoso do indivíduo i, incluindo fuste e galhos, e Deb_i é a densidade básica do indivíduo i. Com base nos valores de V_i e Deb_i foram estimados, para cada ano monitorado (2004 e 2024), os valores de massa seca de cada indivíduo ($Mseca_i$) e o respectivo estoque de carbono (EC_i), que foi considerado como sendo igual a 50% da massa seca (BODIG; JAYNE, 1963).

Para a estimativa de V_i , o Cerradão local não dispunha de equação própria, desenvolvida para essa finalidade. Portanto, foram testadas quatro equações já existentes, que foram ajustadas para a mesma fitofisionomia, porém, em diferentes regiões do país. As equações testadas foram:

$$V=0,000085 \text{ DAP}^{2,122270} \cdot \text{Ht}^{0,666217} \text{ (MIGUEL, 2014);}$$

$$V=\exp (-9,7003574958+2,3603328234 \cdot \ln(\text{DAP})+0,5063592154 \cdot \ln(\text{Ht})) \text{ (SCOLFORO, 2008b);}$$

$$V=0,000094001 \cdot \text{DAP}^{1,830398} \cdot \text{Ht}^{0,960913} \text{ (CETEC 1, 1995);}$$

$$V=0,000088 \cdot \text{DAP}^{1,819376} \cdot \text{Ht} \text{ (CETEC 2, 1995)}$$

em que V é o volume estimado por árvore (m^3); DAP é diâmetro da árvore, tomado a 1,30 metros do solo (cm) e Ht é a altura total da árvore (m).

A validação das estimativas de V_i , obtidas pelas quatro equações testadas, foi obtida com o uso de dados provenientes da cubagem rigorosa realizada em 2004, na área de estudo. Na época, a cubagem rigorosa foi feita em árvores em pé, utilizando técnicas de escalada. Para efeito da cubagem, foi selecionado um grupo de árvores distribuído entre várias classes de DAP e pertencentes ao máximo de espécies florestais possível. A cubagem considerou apenas fustes com $\text{DAP} \geq 5$ cm e galhos com diâmetro maior ou igual a 3 cm. Seções de fustes e galhos com diâmetro menor que 3 cm não foram incluídos na cubagem. Os comprimentos das seções da cubagem variaram em função da habilidade do escalador em conseguir medir seções com comprimentos o mais retilíneos possível. O volume de cada seção do(s) fuste(s) e dos galhos de cada indivíduo foi obtido pela fórmula de Smalian (HUSCH et al., 1972) e o volume real de cada indivíduo foi obtido pela soma dos volumes de cada seção do(s) seu(s) respectivo(s) fuste(s) e dos seus respectivos galhos.

O volume real de cada árvore cubada foi comparado com os volumes estimados pelas equações de volume testadas. Para isto, os dados de volume real e os dados de volume estimado foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), considerando delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, em que cada equação foi definida como um tratamento e o volume real, como tratamento testemunha. As repetições foram os indivíduos cubados com seus respectivos valores de volume real e estimado. O teste Tukey ($p < 0,05$) foi utilizado para o caso de existência de diferença significativa entre os tratamentos.

Caso verificada a não existência de diferença significativa entre o volume real e o volume estimado por uma ou mais equações de volume testadas, foi realizada a seleção da

melhor equação a partir do método da diferença agregada entre volumes estimado e real dos indivíduos cubados rigorosamente. A equação selecionada foi aquela que apresentou menor DA.

A diferença agregada foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$DA = \frac{\sum Vr - \sum Ve}{\sum Vr} \cdot 100,$$

em que DA é a diferença agregada em %; Vr é o volume real dos indivíduos cubados e Ve é volume estimado dos indivíduos cubados.

A partir da equação volumétrica selecionada, foi estimado o volume de cada indivíduo (V_i) pertencente as espécies típicas de formação florestal, em cada ano monitorado (2004 e 2024). Os valores de densidade básica (Deb) das espécies florestais foram extraídos da literatura (OLIVEIRA, 2014; SILVA et al., 2015;).

Com base nos valores de V_i e Deb_i foram estimados, para cada ano monitorado (2004 e 2024), os valores de massa seca de cada indivíduo (M_{seca_i}) e o respectivo estoque de carbono (EC_i), que foi considerado como sendo igual a 50% da massa seca (BODIG; JAYNE, 1963).

Vale destacar que as estimativas de volume e estoque de carbono dos indivíduos bifurcados ou com múltiplos fustes, com $DAP \geq 5$ cm, seguiram o mesmo procedimento definido para área basal.

As mudanças nos estoques de carbono na vegetação lenhosa do Cerradão, num período de 20 anos (2004 a 2024), foram avaliadas tanto para a comunidade todo, quanto para os grupos de espécies (*Grupo 1* e *Grupo 2*). Para avaliar se as mudanças ocorridas foram significativas foi utilizado o teste t pareado (PALLANT, 2010), considerando $p < 0,05$.

2.3.5 Dinâmica da vegetação entre 2004 e 2024

A análise da dinâmica da vegetação foi realizada para toda a comunidade e também por grupo de espécie, ou seja, Grupo 1 e Grupo 2. Foram obtidos, tanto para a comunidade quanto para os grupos de espécies, os incrementos periódicos (IP) e periódicos anuais (IPA) em diâmetro. As taxas anuais de mortalidade (M_o) e de recrutamento (Re) foram obtidas a partir das equações propostas por Sheil et al. (1995, 2000), ou seja:

$$M_o = \left\{ 1 - \left[\frac{(N_0 - N_m)}{N_0} \right]^{1/t} \right\} \cdot 100$$

$$R_e = \left[1 - \left(1 - \frac{N_r}{N_t} \right)^{1/t} \right] \cdot 100$$

em que t é o tempo transcorrido entre as duas medições (anos); N_0 é o número inicial de indivíduos (ind ha^{-1}); N_t é o número final de indivíduos (ind ha^{-1}); N_m é o número de indivíduos mortos no período (ind ha^{-1}) e N_r é o número de indivíduos recrutados no período (ind ha^{-1}).

A partir das taxas de mortalidade e de recrutamento foi obtida a taxa de rotatividade (T) ou *turnover*, que representa a taxa de reposição de indivíduos (KORNING; BALSLEV, 1994). A taxa de rotatividade foi obtida para a comunidade e para os dois grupos de espécies, a partir da seguinte relação:

$$T = \frac{M_o + R_e}{2}$$

Também foram determinadas as taxas de mudança líquida em área basal, densidade de indivíduos e estoque de carbono. A mudança líquida, que expressa as perdas e ganhos na população, considerando cada variável analisada, foi obtida conforme Korning e Balslev (1994), ou seja:

$$Ml_{ind} = [(N_t/N_0)^{\frac{1}{t}} - 1] \cdot 100$$

$$Ml_G = [(G_t/G_0)^{\frac{1}{t}} - 1] \cdot 100$$

$$Ml_C = [(C_t/C_0)^{\frac{1}{t}} - 1] \cdot 100$$

em que N_0 e N_t representam, respectivamente, o número total de indivíduos no início e final do período monitorado (ind ha^{-1}); G_0 e G_t representam, respectivamente, a área basal no início e no final do período monitorado ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) e C_0 e C_t representam, respectivamente, o estoque de carbono no início e no final do período monitorado (Mg ha^{-1}).

Para determinar se houve diferença estatística entre as mudanças líquidas observadas entre as espécies florestais e savânicas, foi aplicado teste de normalidade (Shapiro-Wilk W) e havendo normalidade, foi aplicado teste T presumindo duas variáveis distintas para verificar se houve diferença significativa entre as médias observadas para as mudanças líquidas das espécies florestais e savânicas.

Foram obtidos também os valores de Incremento Periódico Anual Líquido (IPA_l) e Incremento Periódico Anual Bruto (IPA_b) para o estoque de carbono, a partir das equações de Davis e Johnson (1997), ou seja:

$$IPA_{liq} = \frac{(C_r + C_{inc} - C_{MP} - C_{mortas})}{t}$$

$$IPA_{bruto} = \frac{(C_r + C_{inc} + C_{MP} + C_{mortas})}{t}$$

em que C_r é o estoque de carbono dos indivíduos recrutados; C_{inc} é o estoque de carbono dos indivíduos remanescentes vivos; C_{MP} é o estoque de carbono dos mortos em pé; C_{mortas} é o estoque de carbono dos indivíduos que morreram durante o monitoramento.

3 RESULTADOS

3.1 Suficiência da amostragem

Foram registradas 56 espécies em 2004 e 68 espécies em 2024, nos 0,5 ha de Cerradão amostrados. As curvas de rarefação obtidas para cada período monitorado (Figura 1) mostram que embora a taxa de acréscimo do número de espécies esteja reduzindo à medida que intensidade de amostragem aumenta, o número de espécies se mantém crescente a cada 0,1 hectares a mais amostrado.

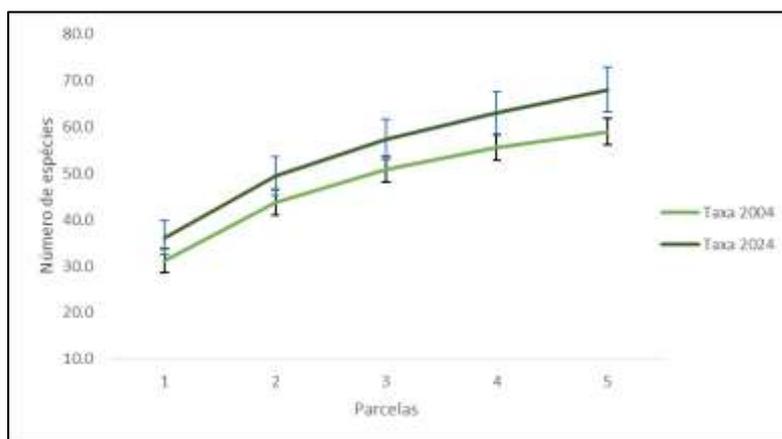


Figura 1 – Curvas de rarefação para a flora lenhosa do fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal, geradas a partir dos monitoramentos realizados em 2004 e 2024, nas cinco parcelas permanentes de 0,1 ha.

De acordo com o estimador Jackknife de primeira ordem, a riqueza de espécies estimada para o Cerradão em 2004 seria de 64 a 72 espécies, e, em 2024, essa riqueza seria de 82 a 95 espécies, ou seja, em nenhum dos anos a riqueza registrada ficou dentro do intervalo obtido pelo estimador.

A avaliação quantitativa, considerando as variáveis densidade e área basal, mostrou que a amostragem realizada no Cerradão foi suficiente para atingir uma precisão considerada aceitável para o tipo de vegetação estudada. A precisão dos inventários realizados em 2004 e 2024 ficou abaixo de 20%, ao nível de 5% de significância, tanto para a variável densidade de indivíduos quanto para área basal (Tabela 2).

Tabela 2 – Estatísticas de precisão dos inventários florestais realizados em 2004 e 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Ano do Inventário	Estatísticas	Densidade (ind ha ⁻¹)	Área basal (m ² ha ⁻¹)
2004	Média	1.268	18,98
	Precisão (%)	15,56	12,21
	Intervalo de confiança	1.070 a 1.465	16,66 a 21,29
2024	Média	1.806	22,32
	Precisão (%)	14,48	7,19
	Intervalo de confiança	1.545 a 2.067	20,72 a 23,93

3.1.1 Mudanças na composição florística

Em 2004 foram registrados 634 indivíduos lenhosos e 713 fustes, distribuídos em 56 espécies, 46 gêneros e 32 famílias. Em 2024 houve aumento tanto na densidade de indivíduos quanto na riqueza de espécies, sendo registrados 903 indivíduos e 1037 fustes, distribuídos em 68 espécies, 52 gêneros e 34 famílias (Tabela 3).

Em 2004, as famílias mais representativas no Cerradão foram Fabaceae (11 espécies), Vochysiaceae (sete espécies) e Malpighiaceae e Myrtaceae, com quatro espécies cada. Em 2024, Fabaceae e Vochysiaceae continuaram ocupando as primeiras posições de famílias mais ricas em espécies, com 12 e 7 espécies, respectivamente, e as famílias Malpighiaceae e Melastomataceae ficaram na terceira posição com cinco espécies cada.

Tabela 3 – Espécies lenhosas e suas respectivas famílias botânicas registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Família	Espécie	2004	2024
ANACARDIACEAE	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	x	x
ANNONACEAE	<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schlttdl.	x	x
	<i>Xylopia sericea</i> A.St.-Hil.		x
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	x	x
	<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	x	x
ARALIACEAE	<i>Didymopanax macrocarpum</i> (Cham. & Schlttdl.) Seem.	x	x
ASTERACEAE	<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	x	x
ASTERACEAE	<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	x	
BIGNONIACEAE	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	x	x
CALOPHYLLACEAE	<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.		x
CARYOCARACEAE	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	x	x
CELASTRACEAE	<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. Ex Schult.) G. Don	x	x
CHRYSOBALANACEAE	<i>Couepia grandiflora</i> (Mart & Zucc) Benth. Ex Hook.	x	x
CONNARACEAE	<i>Conarus suberosus</i> Planch.	x	
DILLENACEAE	<i>Davila elliptica</i> A.St.-Hil.	x	x
ERYTHROXYLACEAE	<i>Erythroxyllum suberosum</i> A.St.-Hil.	x	x
EUPHORBIACEAE	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	x	x
FABACEAE	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth.	x	x
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.		x
	<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	x	x
	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	x	x
	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	x	x
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. Ex Hayne	x	x
	<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	x	x
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	x	x
	<i>Pterodon pubescens</i> Benth.	x	x
	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	x	x
	<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	x	x
	<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	x	x
	HYPERICACEAE	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	x
LAMIACEAE	<i>Vitex polygama</i> Cham.		x
LAURACEAE	<i>Ocotea acyphylla</i> (Nees & Mart.)		x
	<i>Ocotea spixiana</i> (Nees) Mez	x	x
MALPIGHIACEAE	<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth.	x	x
	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	x	x
	<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.		x

Continua....

Continuação Tabela 3

Família	Espécie	2004	2024
MALPIGHIACEAE	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.)	x	x
	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A.Juss.	x	x
MALVACEAE	<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott& Endl.	x	x
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	x	x
	<i>Miconia cuspidata</i> Naudin		x
	<i>Miconia ferruginata</i> DC.	x	x
	<i>Miconia leucocarpa</i> DC.	x	x
	<i>Miconia sellowiana</i> Naudin		x
METTENIUSACEAE	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	x	x
MYRSTICACEAE	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	x	x
MYRTACEAE	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	x	x
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	x	x
	<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.	x	x
	<i>Siphoneugena densiflora</i> O.Berg	x	x
NYCTAGINACEAE	<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. Ex Schmidt) Lundell		x
NYCTAGINACEAE	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	x	x
OCHNACEAE	<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	x	x
PERACEAE	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	x	x
PRIMULACEAE	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. Ex Roem, & Schult.		x
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze		x
PROTEACEAE	<i>Roupala montana</i> Aubl.	x	x
RUBIACEAE	<i>Palicourea rigida</i> Kunth	x	
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.		x
SALICACEAE	<i>Casearia grandiflora</i> Cambess.		x
SAPINDACEAE	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	x	x
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.		x
	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	x	x
SIMAROUBACEAE	<i>Simarouba versicolor</i> A.ST. - Hil.		x
VOCHYSIACEAE	<i>Callisthene major</i> Mart & Zucc.	x	x
	<i>Qualea dichotoma</i> (Mart.) Warm	x	x
	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	x	x
	<i>Qualea multiflora</i> Mart.	x	x
	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	x	x
	<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	x	x
	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	x	x
Total		56	68

Os gêneros de maior importância registrados em 2004 foram *Qualea*, com quatro espécies e *Miconia* e *Byrsonima* com três espécies cada. Em 2024, o destaque foi para *Miconia* (5 espécies), seguido por *Byrsonima* e *Qualea*, com quatro espécies cada.

Das espécies registradas em 2004, 39 (69,64%) pertenciam ao *Grupo 1*, representado por espécies típicas do Cerrado sentido restrito, e 17 (30,36%) ao *Grupo 2*, representado por espécies preferenciais e/ou exclusivas de formações florestais. Em 2024, o número de espécies do *Grupo 1* continuou com 39 (57,35%) e do *Grupo 2* passou para 29 (42,65%).

Durante o período monitorado ocorreu o recrutamento de 12 espécies florestais e todas as espécies florestais registradas em 2004 continuaram presentes na comunidade. Por outro lado, apenas três espécies de Cerrado sentido restrito foram registradas como recrutas na comunidade e três espécies desapareceram (Tabela 3).

Apesar da constatação do aumento na riqueza de espécies, a diversidade e a equabilidade não apresentaram grandes alterações. Os valores dos índices de Shannon e Pielou registrados em 2004 e 2024 foram similares, mesmo tendo passado 20 anos. Portanto, a chegada de novas espécies na área não influenciou nos índices de diversidade e equabilidade. Em 2004, os valores dos índices de Shannon e de Pielou foram iguais a 3,37 e 0,83, respectivamente, e em 2024 esses valores passaram a ser iguais a 3,44 e 0,81.

3.1.2 Mudanças na estrutura da vegetação

Em 2004 foi registrado 1.268 ind ha⁻¹ e área basal correspondente de 18,98 m² ha⁻¹, incluindo indivíduos vivos e mortos em pé. Em 2024 houve a densidade aumentou para 1.806 ind ha⁻¹, e a área basal para 22,32 m² ha⁻¹. Em 20 anos, os aumentos em densidade e área basal foram de 42,4% e 17,6%, respectivamente.

Por outro lado, de 2004 para 2024 houve redução nos valores médios de Db e DAP na comunidade. A média dos valores de Db passou de 11,4 cm (mínimo de 5 cm e máximo de 47,7 cm) para 10,9 cm (mínimo de 5 cm e máximo de 54 cm). A média dos valores de DAP passou de 9,7 cm (mínimo de 5 cm e máximo de 43,3 cm) para 6,4 cm (mínimo de 5 cm e máximo de 45,6 cm). Contudo, a comunidade apresentou aumento na altura média dos indivíduos, que passou de 5,1 m (máximo de 15,5 m) para 6,4 m (máximo de 17 m).

Tabela 4 – Espécies lenhosas típicas da fitofisionomia Cerrado sentido restrito e espécies preferenciais e/ou exclusivas de formações florestais registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Espécies de Cerrado sentido restrito	Espécies florestais preferências e/ou exclusivas de formações florestais
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	<i>Callisthene major</i> Mart. & Zucc.
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schltld.
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	<i>Casearia grandiflora</i> Cambess.
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC. (L.) DC.	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	<i>Miconia cuspidata</i> Naudin
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	<i>Miconia sellowiana</i> Naudin
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.
<i>Didymopanax macrocarpum</i> (Cham. & Schltld.) Seem.	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	<i>Ocotea acyphylla</i> (Meisn.) Mez
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	<i>Ocotea spixiana</i> (Nees) Mez
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.
<i>Erythroxyllum suberosum</i> A.St.-Hil.	<i>Qualea dichotoma</i> (Mart.) Warm.
<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex Schmidt) Lundell	<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	<i>Siphoneugena densiflora</i> O.Berg
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho
<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A.Juss	<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	<i>Virola sebifera</i> Aubl.
<i>Leptolobium dasy carpum</i> Vogel	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	<i>Vitex polygama</i> Cham.
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.
<i>Miconia leucocarpa</i> DC.	<i>Xylopia sericea</i> A.St.-Hil.
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	
<i>Palicourea rigida</i> Kunth.	
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.	
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	
<i>Roupala montana</i> Aubl.	
<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. Ex Schult.) G. Don	
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	

Durante os dois monitoramentos foram registrados muitos indivíduos lenhosos com mais de um fuste. Em 2004, dos 713 fustes registrados, 111 (15,56%) estavam mortos em pé, porém, em 2024, embora a quantidade de fustes tenha aumentado (1037), a quantidade de fustes mortos em pé reduziu para 68, ou seja, apenas 6,5% do total de fustes amostrados estavam mortos em pé. A maior parte dos fustes mortos em pé registrados em 2004 caiu e desapareceu ao longo dos 20 anos.

Das 56 espécies registradas em 2004, 10 espécies representavam 42,65% do IVI total da comunidade, sendo que cerca de 50% dessas espécies eram típicas de formação savânica (Cerrado sentido restrito) e o restante era representado por espécies preferenciais e/ou exclusivas de formações florestais (Figura 2). Em 2024, as 10 espécies de maior IVI representaram 48,42% do IVI total da comunidade, e dessas, sete eram preferenciais e/ou exclusivas de formações florestais e três eram típicas de formações savânicas (Figura 3).

É importante destacar que em 2004 os indivíduos mortos em pé ocupavam a posição de maior IVI da comunidade, representando 14,89% do IVI total. Porém, em 2024, os indivíduos mortos em pé reduziram, passando a ocupar a 21ª posição do IVI (1,89%).

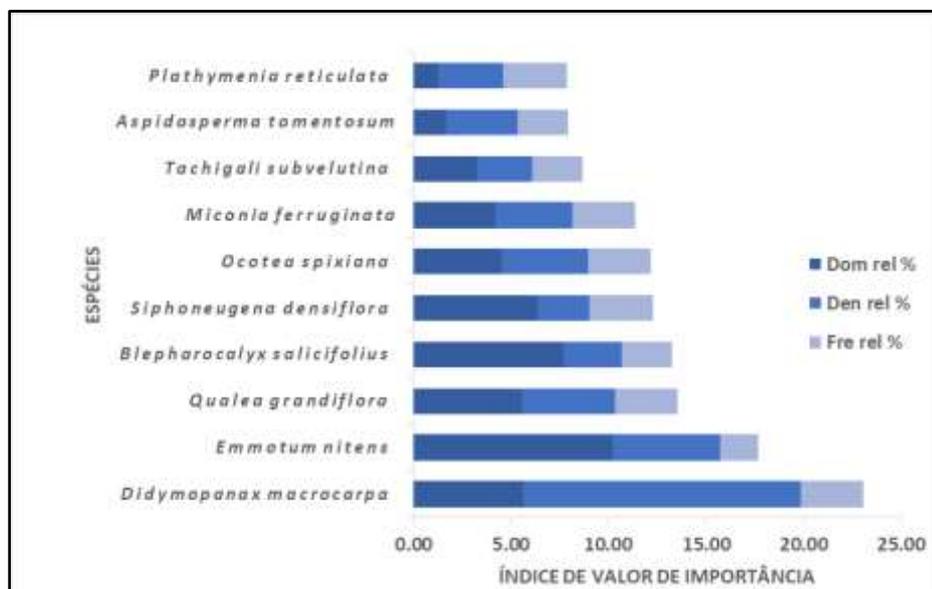


Figura 2 - Contribuição dos parâmetros que compõem o IVI, considerando as 10 espécies de maior IVI registradas no inventário florestal realizado em 2004 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

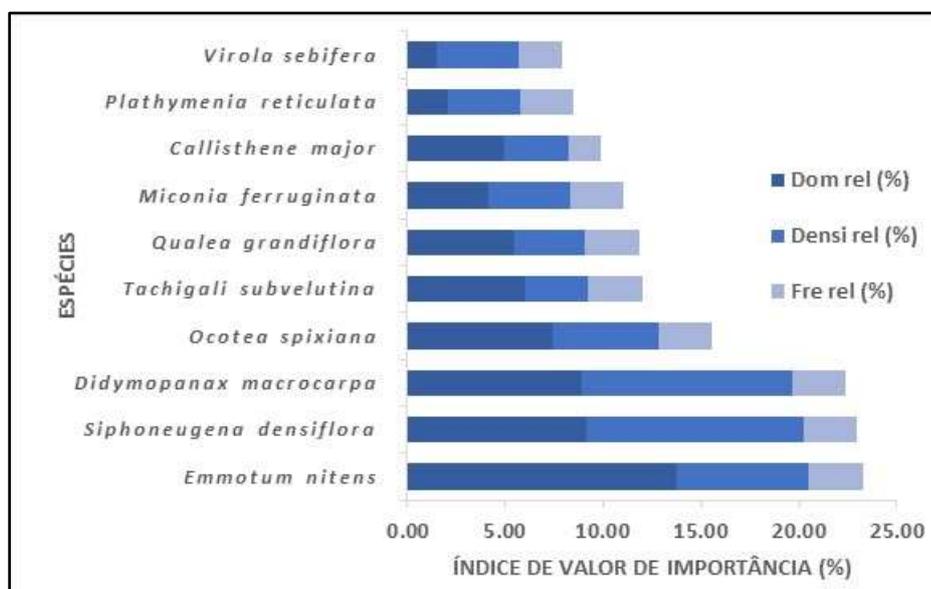


Figura 3 - Contribuição dos parâmetros que compõem o IVI, considerando as 10 espécies de maior IVI registradas no inventário florestal realizado em 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal

Didymopanax macrocarpus se destacou em 2004 por ser a espécie de maior IVI na comunidade. O destaque da espécie foi devido, principalmente, a sua elevada densidade de indivíduos na época. Porém, em 2024 foram observadas alterações significativas nas posições hierárquicas entre as espécies em relação ao IVI. A espécie *Emmotum nitens* passou a ocupar a posição antes ocupada por *Didymopanax macrocarpus* e se tornou a espécie de maior IVI. A projeção da espécie *Emmotum nitens* na hierarquia da comunidade foi resultado do aumento da sua dominância na área.

A espécie *Qualea grandiflora*, que ocupava a terceira posição de maior IVI em 2004, foi ultrapassada por espécies florestais (*Siphonougena densiflora*, *Ocotea spixiana* e *Tachigali subvelutina*) e passou a ocupar a sexta posição de maior IVI.

As espécies florestais *Virola sebifera* e *Callisthene major*, que em 2004 não se destacavam no fragmento de Cerradão, passaram a figurar, em 2024, entre as 10 espécies de maior IVI. O contrário foi observado para as espécies savânicas *Blepharocalyx salicifolius* e *Aspidosperma tomentosum*. Em 2004, as duas espécies ocupavam, respectivamente, a sexta e nona posições do IVI, porém em 2024, tais espécies foram excluídas do grupo de espécies de maior IVI, devido principalmente a morte de alguns de seus indivíduos e fustes, pertencentes

as maiores classes de diâmetro, que causou a redução na área basal (dominância) de ambas as espécies.

Os resultados mostraram também o ganho de importância de outras espécies florestais na comunidade. É o caso de *Maprounea guianensis*, que saiu da 16ª posição em IVI, em 2004, e passou a ocupar a 11ª posição, e *Myrcia splendens*, que saiu da 24ª posição em IVI, em 2004, para ocupar a 17ª em 2024.

Tanto para toda a comunidade, quanto para os dois grupos de espécies, a maior concentração de indivíduos lenhosos ocorreu nas menores classes de diâmetro em ambos os períodos monitorados (2004 e 2024). Sendo que essa concentração foi reduzindo com o aumento das classes diamétricas (Figuras 4, 5 e 6). Esse padrão de distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro, que foi encontrado para as três situações avaliadas, ou seja, indivíduos de toda a comunidade (Figura 4), indivíduos pertencentes a espécies do *Grupo 1* (Figura 5) e indivíduos pertencentes a espécies do *Grupo 2* (Figura 6) era o esperado, pelo fato do Cerradão ser formação florestal tropical.

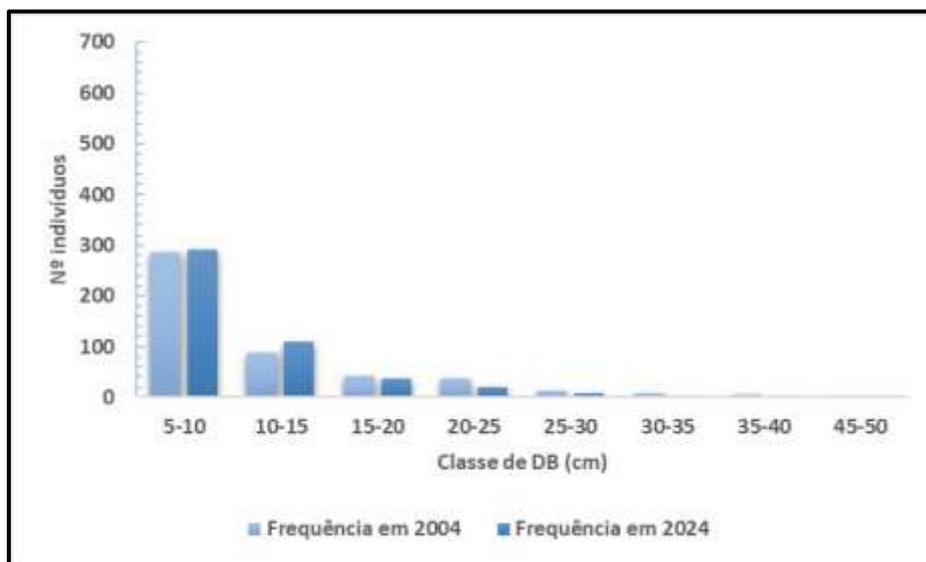


Figura 4 - Distribuição diamétrica dos indivíduos de espécies savânicas por classe de Db, registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

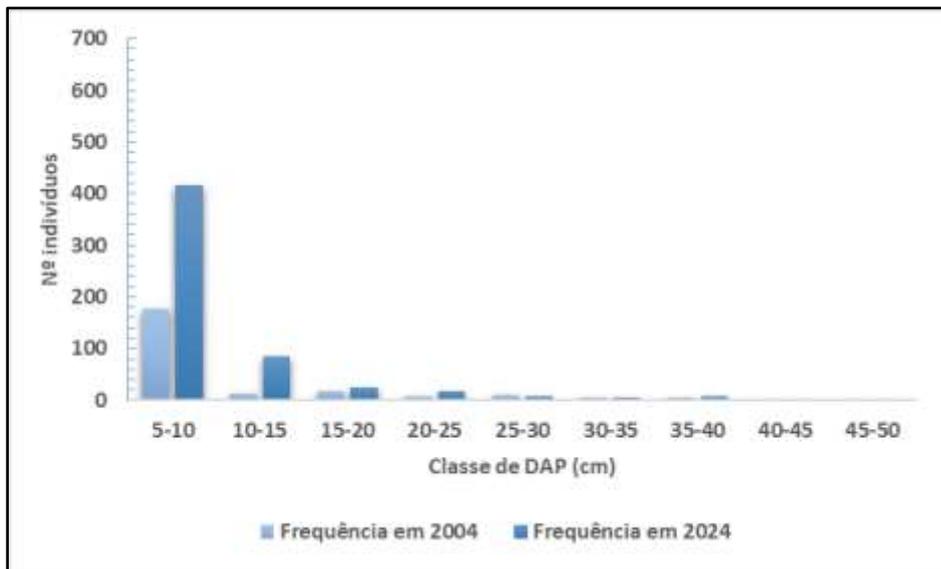


Figura 5 - Distribuição diamétrica dos indivíduos de espécies florestais por classe de DAP, registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

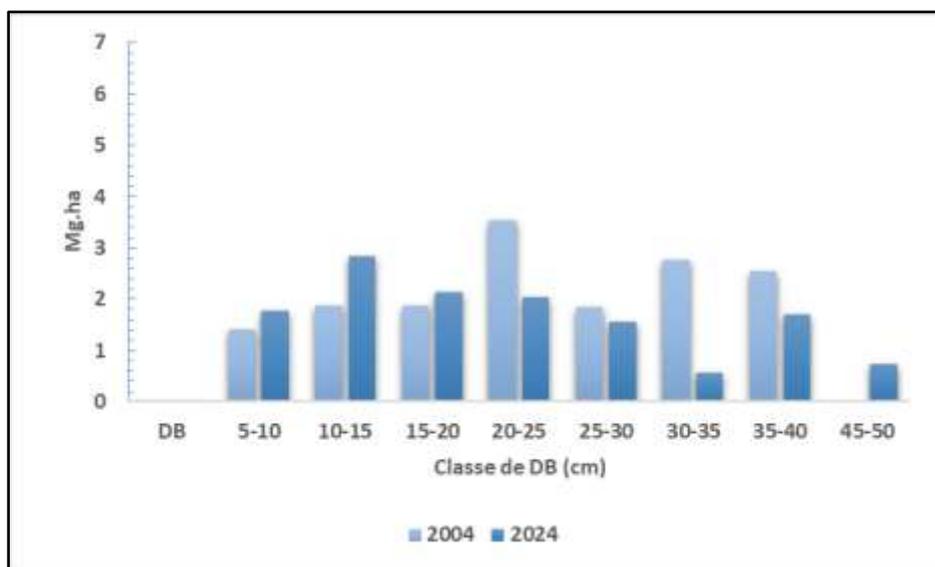


Figura 6 - Estoques de carbono por classe de Db para as espécies savânicas, registrados nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Entre 2004 e 2024 foi observado o ingresso de uma nova classe de diâmetro (45-50 cm). Para ambas as espécies savânicas e florestais houve a passagem de um indivíduo da classe anterior para a nova classe diamétrica. No entanto, o padrão de distribuição dos indivíduos de espécies savânicas por classe de diâmetro (Figura 5) foi diferente do padrão observado para as

espécies florestais (Figura 6). Enquanto para as espécies savânicas houve redução de indivíduos em todas as classes superiores de diâmetro, a partir da classe 15-20 cm, para as espécies florestais houve aumento, com exceção da classe 25-30 cm

Nas classes inferiores e mais abundantes (5-10 cm e 10-15 cm), a entrada de novos indivíduos apresentou intensidades diferentes para os dois grupos. Houve aumento de apenas 6,95% na densidade dessas classes para as espécies savânicas, e para as espécies florestais houve aumento de 164,55%. Por outro lado, quando se avalia toda a comunidade, é possível observar ganhos em todas as classes diamétricas (Figura 4), com exceção de três classes superiores (20-25 cm, 25-30 cm e 30-35 cm).

3.1.3 Mudanças no estoque de carbono da biomassa lenhosa aérea da vegetação

O teste de F da Análise de Variância não detectou diferenças significativas entre as médias dos valores de volume real obtidos pela cubagem e as médias dos valores de volume estimados a partir do uso de cada uma das quatro equações volumétricas testadas ($p > 0,05$), indicando que todas as equações poderiam ser utilizadas para estimar o volume de indivíduos pertencentes a espécies florestais.

A partir da aplicação do método de Diferença Agregada (DA), a equação CETEC 1 foi selecionada para estimar os volumes dos indivíduos lenhosos pertencentes as espécies do *Grupo 2*, por apresentar menor DA, quando comparada as outras equações (Tabela 5). A partir dos volumes estimados de cada árvore e dos correspondentes valores de Deb, foram estimados os valores de massa seca e o correspondente estoque de carbono (EC) de cada indivíduo.

Tabela 5– Resultado da seleção da melhor equação volumétrica para estimar volume dos indivíduos lenhosos, com base no Método da Diferença Agregada, pertencentes às espécies florestais, registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Equações	Diferença Agregada (%)
MIGUEL (2014)	58,01
SCOCLFORO (2008)	19,39
CETEC 1 (1995)	6,21
CETEC 2 (1995)	7,07

Os resultados obtidos mostraram que entre 2004 e 2024, o EC médio da comunidade aumentou, passando de 26,78 Mg ha⁻¹ (\pm 1,71 Mg ha⁻¹) para 36,72 (\pm 5,96 Mg ha⁻¹) a 5 % de probabilidade, resultando em ganho líquido de 1,88% ano⁻¹. De acordo com o teste t pareado, a quantidade de carbono que estava estocado na biomassa lenhosa em 2004 é estatisticamente diferente da quantidade estocada em 2024 ($p < 0,05$). O IPA_{liq} no período monitorado foi de 0,49 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e o IPA_{bruto} foi de 1,65 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A mudança líquida do EC na comunidade foi de 1,61%. Esse valor é maior que a mudança líquida observada para a área basal (0,81 %), e menor que a obtida para a densidade de indivíduos (2,68 %).

O crescimento dos indivíduos remanescentes contribuiu com 13,15 Mg ha⁻¹ do estoque total de carbono acumulado no período de 20 anos, sendo considerado, portanto, o fator que mais impulsionou o ganho em estoque de carbono na biomassa lenhosa na comunidade. Essa contribuição representa 61% do estoque total de carbono acumulado em 20 anos. Por outro lado, a contribuição dos indivíduos recrutados durante o período monitorado também foi alta, ou seja, 8,18 Mg ha⁻¹, o que representa 49% do estoque de carbono total acumulado em 2024, na biomassa lenhosa da comunidade. As perdas em estoque de carbono decorrentes da mortalidade dos indivíduos durante o período monitorado foi de 11,29 Mg ha⁻¹ (97,33%), e as perdas oriundas da quebra de fuste ou outros danos foram iguais a 0,31 Mg ha⁻¹ (2,67%).

Os maiores estoques de carbono para o *Grupo 1* se concentraram nas menores classes de Db e nas classes medianas, devido à alta mortalidade de indivíduos nas classes de diâmetro superiores (> 20 cm). A baixa inclusão de novos indivíduos nessas classes fez com que os estoques de carbono das espécies savânicas ficassem mais concentrados nas classes inferiores de Db no ano de 2024 (Figura 7).

Para as espécies florestais houve ganho em EC armazenado na biomassa lenhosa aérea dos indivíduos de todas as classes de DAP, porém, os maiores ganhos ocorreram nas duas menores classes de diâmetro, ou seja, 5-10 cm e 10-15 cm, devido às altas taxas de recrutamento ocorridas no período (Figura 8). O ganho em EC nas menores classes de DAP garantiu o destaque dessas classes como detentoras dos maiores estoques de carbono na comunidade.

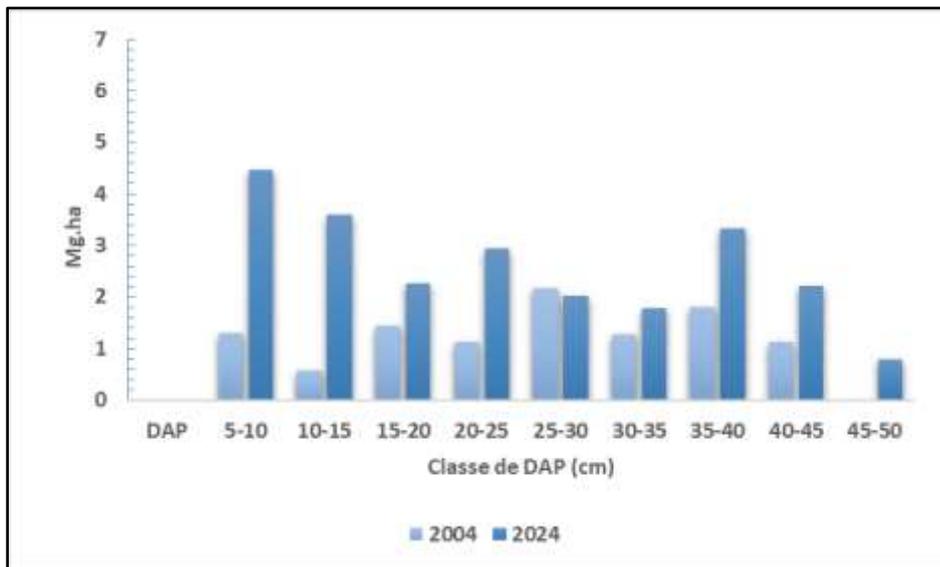


Figura 7 - Estoques de carbono por classe de DAP para as espécies florestais registradas nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

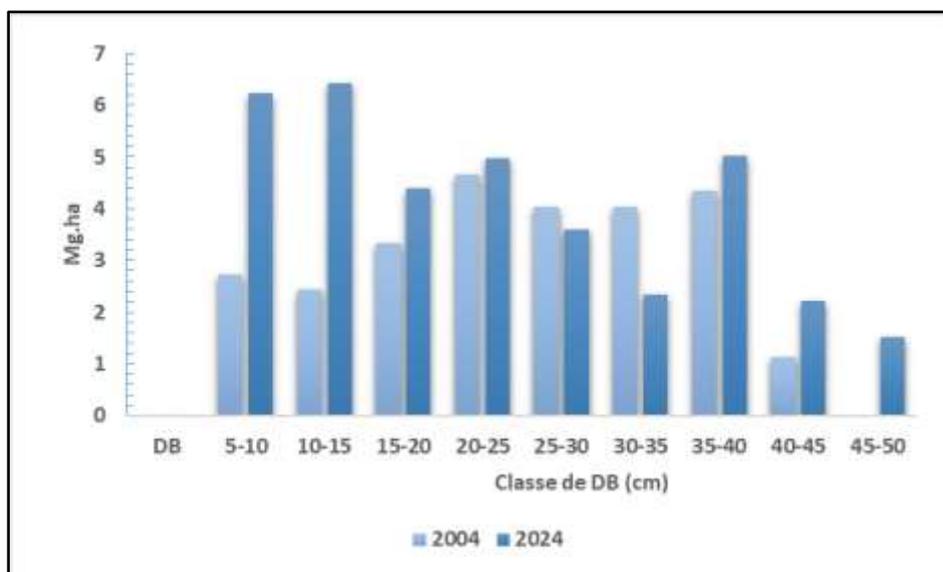


Figura 8 - Estoques de carbono por classe de Db para a vegetação lenhosa registrada nos inventários florestais realizados em 2004 e 2024, no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Os incrementos em EC observados nas classes de DAP maiores que 20 cm foram atribuídos, principalmente, ao crescimento em altura dos indivíduos lenhosos dessas classes, e, ao incremento em DAP dos indivíduos remanescentes, que contribuíram com 4,94 Mg ha⁻¹ (98,8 %), enquanto quatro indivíduos recrutados nessas mesmas classes responderam pelo ganho de apenas 0,6 Mg ha⁻¹ (1,2 %).

A alta densidade de indivíduos mortos em pé, registrada em 2004, contribuiu com grande parte do EC na comunidade do Cerradão. Em 2004, o EC dos indivíduos mortos foi de 6,25 Mg ha⁻¹ (23,34 % do total).

Em 2024 houve queda significativa no EC proveniente de indivíduos mortos, em relação ao encontrado em 2004. Essa queda foi causada pela redução na densidade de indivíduos mortos na comunidade durante o período de 20 anos. Em 2024 o total de carbono estocado na biomassa lenhosa aérea dos indivíduos mortos foi de apenas 0,29 Mg ha⁻¹.

Avaliando o EC em nível de populações, foi possível verificar que *Emmotum nitens* e *Siphonougena densiflora* apresentaram os maiores estoques de carbono nos dois períodos monitorados (Figuras 9 e 10), devido, principalmente, a alta densidade e dominância dessas duas espécies na área.

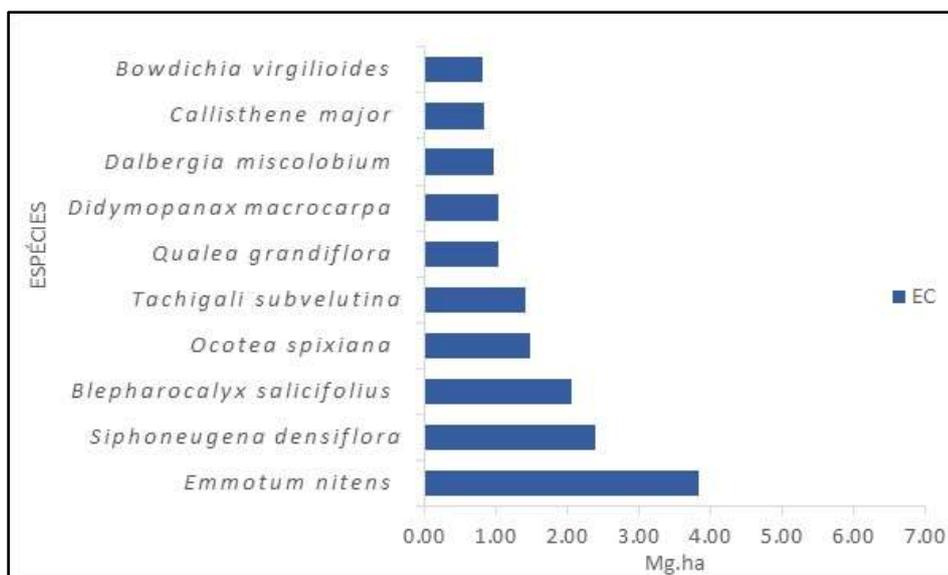


Figura 9 - Contribuição das 10 espécies que mais estocaram carbono registradas no inventário florestal realizado em 2004 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

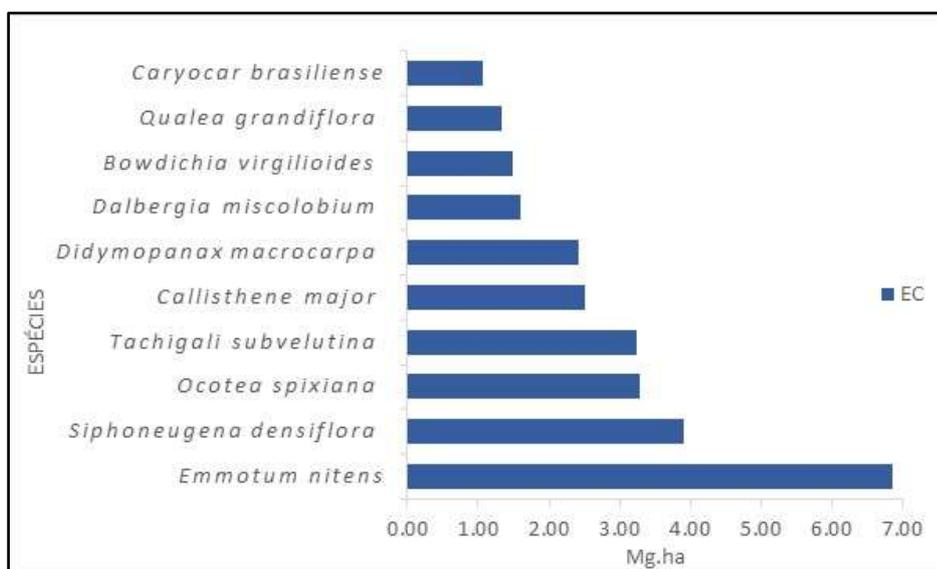


Figura 10 - Contribuição das 10 espécies que mais estocaram carbono registradas no inventário florestal realizado em 2024 no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Outra espécie que merece destaque por estar entre as 10 de maior EC é *Dalbergia miscolobium*, que é típica do Cerrado sentido restrito. Embora esta espécie não tenha sido incluída entre as espécies de maior IVI do fragmento, seus indivíduos apresentaram nos dois monitoramentos, diâmetros e alturas superiores a maioria dos indivíduos pertencentes as outras espécies, o que contribuiu na quantidade de carbono estocado. Além disso, a madeira desta espécie também apresenta alta densidade, comparada a madeira da maioria das espécies do Cerrado sentido restrito.

Algumas espécies apresentaram redução na quantidade de carbono estocado na biomassa lenhosa. É o caso de *Blepharocalyx salicifolius*, espécie típica do Cerrado sentido restrito, e que em 2004 estava entre as espécies com maior EC, mas, devido à alta mortalidade de indivíduos durante o período monitorado (8,82 %), o EC da população reduziu e a espécie foi excluída em 2024 da lista das espécies que mais estocaram carbono.

Entre as espécies que foram recrutadas, merece atenção *Miconia cuspidata*, que embora não tenha sido incluída na lista das 10 espécies que mais estocaram carbono em 2024, apresentou valor alto de EC na comunidade, pois, sua madeira apresenta a maior densidade básica (837 kg/m³) quando comparada a densidade básica de todas as demais espécies registradas no fragmento de Cerradão (623,4 kg/m³ é a média de densidade básica das espécies na comunidade).

Comparando os estoques de carbono das espécies do *Grupo 1* e *Grupo 2*, foi possível verificar que em 2024, as espécies florestais estocaram muito mais carbono que as espécies savânicas. O EC nas espécies florestais foi de 23,69 Mg ha⁻¹ (64,51 % do total da comunidade) enquanto o EC das espécies savânicas foi de 12,75 Mg ha⁻¹ (34,72% do total da comunidade), portanto 29,79 % de diferença. Porém, em 2004 essa diferença foi menor (3,75%), já que as espécies florestais estocaram na época 10,82 Mg ha⁻¹ (40,57 % do total da comunidade) e as savânicas 9,82 Mg ha⁻¹ (36,82 % do total da comunidade). O ganho líquido para as espécies florestais foi de 5,80% ano⁻¹, e para as espécies savânicas foi de 1,79% ano⁻¹. A mudança líquida também foi contrastante entre as espécies dos *Grupo 1* (3,92% ano⁻¹) e *Grupo 2* (1,59% ano⁻¹). De acordo com o teste t, o *Grupo 1* apresentou médias de mudança líquida do estoque de carbono significativamente maior do que o *Grupo 2* ($p < 0,05$).

3.1.4 Dinâmica da vegetação entre 2004 e 2024

Entre 2004 e 2024 foram recrutados 520 indivíduos. A mortalidade no período foi de 154 indivíduos. Essa mortalidade incluiu todos os indivíduos que foram registrados vivos em 2004 e morreram e caíram durante o período monitorado ou que morreram e permaneceram em pé em 2024. Indivíduos registrados como mortos em pé em 2004 e que caíram durante o período monitorado não foram incluídos nos cálculos de mortalidade.

O aumento na densidade de indivíduos lenhosos na área durante o período monitorado foi influenciado pelo recrutamento (4,29%) e pela mortalidade (1,72%) de indivíduos na comunidade, resultando numa taxa de rotatividade (*turnover*) de 3,01% (Tabela 6). A taxa de sobrevivência na área foi alta, pois, 70,61% dos indivíduos registrados vivos em 2004 permaneceram vivos em 2024.

A diferença entre as taxas de recrutamento e de mortalidade no período representaram aumento médio de 42% na densidade de indivíduos, e mudança líquida positiva de 2,68% ao ano (Tabela 6). As taxas de recrutamento e de mudança líquida em densidade de indivíduos foram altas, porém, para a variável área basal, a mudança líquida foi menor comparada as outras taxas supracitadas, mesmo tendo sido verificado aumento em área basal durante o período monitorado. Os resultados encontrados mostram que o aumento em área basal na comunidade ocorreu principalmente nas menores classes de diâmetro. Nas maiores classes as perdas em área basal foram elevadas devido a alta mortalidade de indivíduos.

Tabela 6 – Parâmetros da dinâmica por grupo de espécie e para comunidade da vegetação lenhosa do fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Parâmetros	Vegetação lenhosa		
	Comunidade	Grupo 1	Grupo 2
Re (%)	4,29	2,80	5,90
Mo (%)	1,72	1,38	1,38
T (%)	3,01	2,09	3,64
MI_{ind} (% ano ⁻¹)	2,68	-0,24	4,80
MI_G (% ano ⁻¹)	0,82	-1,05	3,55
MI_{EC} (% ano ⁻¹)	1,61	1,54	3,93
IP em diâmetro (cm)	4,9	3,20	6,94
IPA em diâmetro (cm ano ⁻¹)	0,2	0,16	0,34

Re = taxa de recrutamento; Mo = taxa de mortalidade; MI_{ind} = mudança líquida em densidade de indivíduos; MI_G = mudança líquida em área basal; MI_{EC} = mudança líquida em estoque de carbono.

O padrão de mortalidade e de recrutamento por classe diamétrica apresentou comportamento semelhante a distribuição diamétrica da comunidade (Figura 11).

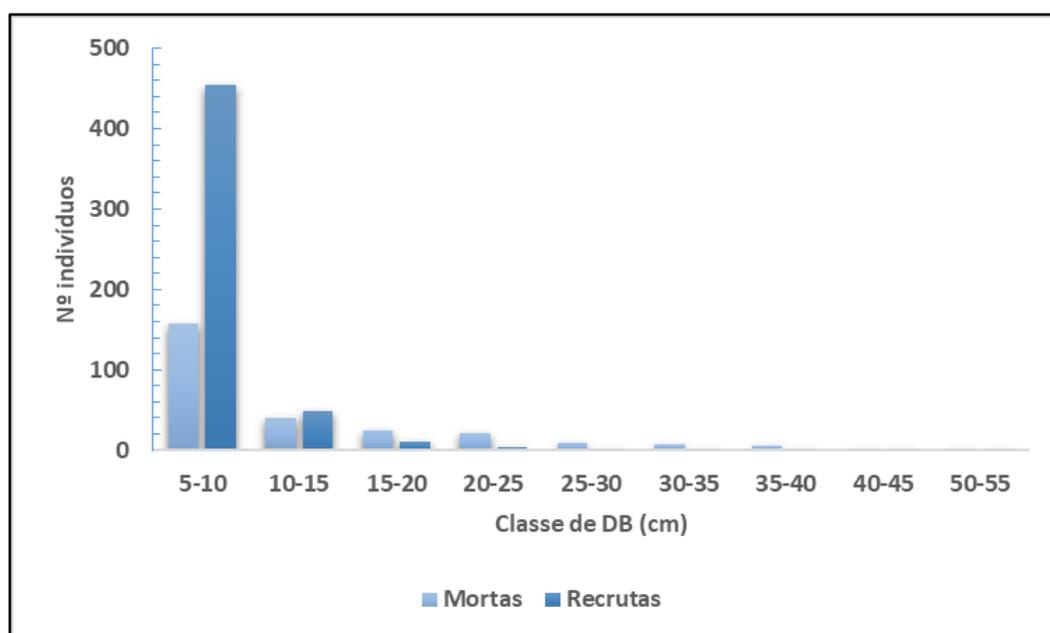


Figura 11– Mortalidade e de recrutamento por classe de Db, registradas no período de 2004 a 2024 para a vegetação lenhosa amostrada no fragmento de Cerradão, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Dos 520 indivíduos recrutados 335 (64,42%) eram de espécies florestais, com destaque para *Siphoneugena densiflora*, *Emmotum nitens*, *Virola sebifera* e *Ocotea spixiana*. Portanto, durante o período de monitoramento, a taxa de recrutamento do *Grupo 2* foi superior a do *Grupo 1*. No *Grupo 2*, a taxa de recrutamento foi de 5,90% ano⁻¹ enquanto no *Grupo 1* foi de 2,79% ano⁻¹.

Além de apresentarem menor taxa de recrutamento, as espécies do *Grupo 1* também apresentaram alta mortalidade. Cerca de 70% do total de indivíduos que morreram no período pertenciam ao *Grupo 1*. Algumas espécies contribuíram muito com essa alta mortalidade ocorrida no *Grupo 1*, com destaque especial para *Blepharocalyx salicifolius*, *Didimopanax macrocarpa* e *Miconia ferruginata*. Porém, as taxas de mortalidade foram idênticas para os dois grupos de espécies (1,38% ano⁻¹), pois, apesar do grupo 1 ter registrado maior contribuição na mortalidade em número absolutos, esse grupo também possuía maior densidade de indivíduos no primeiro ano de monitoramento.

4 DISCUSSÃO

Entre 2004 e 2024 o fragmento de Cerradão da FAL apresentou incremento elevado de espécies florestais que influenciou não apenas na composição florística, mas também na sua estrutura e dinâmica da vegetação. Porém, apesar do aumento observado na riqueza de espécies, causado sobretudo pelo recrutamento de novas espécies florestais na área, a diversidade não alterou muito no período. Também não houve alteração no índice de Pielou, pois apesar das mudanças florísticas observadas, não foi verificada uma dominância de uma ou de um pequeno grupo de espécies. Os valores encontrados também foram próximos aos obtidos por Solorzano (2012) que avaliou a composição florística em diferentes áreas de Cerradão no país, e encontrou valores variando de 3,06 a 4 nats ind⁻¹ para o índice de diversidade de Shannon e 0,78 a 0,89 para o índice de equabilidade de Pielou. Se comparado com outros fragmentos de Cerradão no DF, o índice de diversidade de Shannon encontrado neste estudo é próximo ao registrado por Felfili (2004), na APA Gama-Cabeça do Veado (3,17 nats ind⁻¹), e por Casella (2013), no Cerradão do Parque dos Pequizeiros (3,64 nats ind⁻¹).

A densidade de indivíduos registrada em cada período monitorado está dentro do intervalo encontrado em vários estudos realizados em diferentes fragmentos de Cerradão estudados na região Centro Oeste do Brasil, os quais variam entre 1.228 e 2.780 ind ha⁻¹

(SOLORZANO, 2012; CASELLA; SILVA JUNIOR, 2013; MIRANDA, 2017; MIGUEL, 2017; GUILHERME, 2020). O mesmo pode ser dito para a área basal, já que os valores obtidos neste estudo estão dentro da faixa de 16,55 a 26,28 m² ha⁻¹, encontrada em estudos realizados por pesquisadores em outros fragmentos de Cerradão (MARIMON JUNIOR; HARIDASSAN, 2005; SOLORZANO, 2012; CASELLA; SILVA JUNIOR, 2013; MIRANDA, 2017; MIGUEL, 2017; GUILHERME, 2020).

Em 2024, a participação das espécies florestais em termos de IVI ganhou maior importância na comunidade em relação às espécies savânicas. As espécies do florestais responderam por 49,54% do IVI total, enquanto as espécies do savânicas responderam por 50,46 %. Esses valores divergem dos encontrados 20 anos atrás, considerando que naquela época as espécies savânicas respondiam por 64,56 % do IVI total e as espécies do florestais por apenas 35,44 %.

A mudança no padrão florístico do Cerradão da FAL é corroborada com outros estudos que indicam que o adensamento da formação florestal e o consequente sombreamento favorece a entrada, o estabelecimento e a colonização da área por espécies florestais (OLIVEIRA; FELIFILI, 2005; FRAN CZAK, 2011). Por outro lado, as espécies savânicas perdem espaço nessas comunidades, sendo observado declínio principalmente daquelas caracterizadas como heliófitas (WERNECK et al., 2000; MARIANO et al., 2019). A entrada de 12 novas espécies florestais na comunidade, comparada a entrada de apenas três espécies savânicas é indicativo da mudança de estágio de sucessão da vegetação. Miranda (2014), estudando a área de Cerrado sentido restrito do Jardim Botânico de Brasília, registrou alta taxa de mortalidade para indivíduos de *Blepharocalyx salicifolius*, que é espécie de alta exigência por luz. Miranda atribuiu essa taxa elevada de mortalidade à elevada densidade de indivíduos na comunidade (2.193 ind ha⁻¹). Portanto, no presente estudo, a grande competitividade das espécies florestais por luz, gerada pelo adensamento da vegetação lenhosa, pode ter sido o principal motivador da perda de importância das savânicas durante o período monitorado.

Comparando os resultados deste estudo com a composição florística de uma Mata de Galeria (OLIVEIRA et al., 2011), também localizada na Fazenda Água Limpa, e próxima ao fragmento de Cerradão estudado, foi possível verificar que das 12 espécies florestais que foram recrutadas na área no período monitorado, 9 delas fazem parte da composição florística dessa mata, ou seja, *Byrsonima laxiflora*, *Casearia grandiflora*, *Copaifera langsdorffii*, *Miconia*

cuspidata, *Miconia sellowiana*, *Myrsine coriacea*, *Ocotea aciphylla*, *Xylopia sericea* e *Zanthoxylum rhoifolium*. Além disso, das 29 espécies florestais registradas no Cerradão, 23 ocorrem nessa Mata de Galeria. Portanto, o que mostra a existência de possível influência dessa Mata de Galeria adjacente na composição da flora do Cerradão, já que o ecossistema tem se tornado mais propício a suportar espécies típicas de locais úmidos.

O recrutamento acima da média foi catalisado pela expansão das espécies florestais na comunidade, responsáveis por 64% do recrutamento. O ganho em importância dessas espécies também indica avanço à um novo estágio sucessional. De acordo com Maracahipes-Santos et al. (2018), que avaliaram as mudanças florísticas em Cerradão em função de variações temporais, a espécie *Emmotum nitens*, por exemplo, possui a tendência de ampliar sua população em fisionomias que estão em processo de sucessão florestal ou em regimes de proteção contra o fogo. O mesmo ocorre com a espécie *Tachigali vulgaris*. Porém no presente estudo, foi outra espécie do gênero *Tachigali* (*Tachigali subvelutina*), que apresentou evolução hierárquica na população, subindo da 8ª para a 5ª posição. Em outras palavras, o avanço no estágio sucessional observado na comunidade favoreceu o aumento da importância ecológica dessas espécies na comunidade.

A taxa anual de mortalidade encontrada se assemelha as taxas observadas em outras formações florestais tropicais, tanto em condições naturais e quanto em condições normais de estresse ambiental ou antrópico (PHILLIPS; GENTRY, 1994; MIGUEL et al., 2011), cujos valores variam de 1 a 2%. O valor encontrado também é corroborado com outros estudos que indicam a passagem de fogo como sendo o fator de maior impacto na mortalidade em vegetações do Cerrado (GOMES et al., 2014; LENZA, 2017). Um exemplo é o estudo sobre a composição florística em uma área de Cerradão, localizada em Curvelo-MG, que foi impactada por incêndio florestal, e que apresentou taxa de mortalidade igual a 8% ano⁻¹ após a passagem do fogo (SILVA, 2020). No geral quanto maior o tempo de monitoramento, em ambientes que não sejam submetidos a estresses ambientais severos, a mortalidade tende a ser reduzida (LEWIS, 2004).

Vegetação florestal em equilíbrio dinâmico, apesar de apresentarem oscilações em torno das taxas de mortalidade e de recrutamento durante o ciclo natural de crescimento (REZENDE, 2007; FELFILLI et al., 2000) tendem a estabilizar essas flutuações e apresentarem diferença

pequena entre as taxas de mortalidade e de recrutamento, e por conseguinte a rotatividade é de menor grau de intensidade nessas populações (HENRIQUES; HAY, 2002).

A taxa de recrutamento, consideravelmente acima da taxa de mortalidade, que gerou adensamento da vegetação durante os últimos 20 anos e rotatividade acelerada, é indício de desenvolvimento da floresta em estágios sucessionais avançados (HENRIQUES; HAY, 2002), que pode ter sido fomentado pela ausência de fogo ao longo dos últimos anos, como indicado por outros autores (FELFILI et al., 2000; ROITMAN et al., 2008; SILVA NETO et al., 2017).

O avanço sucessional fica ainda mais claro quando se compara as taxas de mortalidade e de recrutamento dos grupos de espécies florestais e savânicas. Enquanto as espécies savânicas apresentaram pequena diferença no balanço entre mortalidade e recrutamento, as espécies florestais apresentaram expressiva diferença a favor do recrutamento. Ao analisar as taxas de mudança líquida em densidade de indivíduos por grupo de espécie, é notável a divergência entre as dinâmicas das espécies savânicas e florestais. Enquanto houve perda, expressa pela mudança líquida, para as espécies savânicas ($-0,24\% \text{ ano}^{-1}$), as espécies florestais apresentaram ganhos expressivos ($4,81\% \text{ ano}^{-1}$). A superioridade elevada do recrutamento sobre a mortalidade indica que a vegetação, embora esteja em mudanças no estágio de sucessão, ela ainda não atingiu seu equilíbrio dinâmico. Portanto, considerando o alcance pela floresta nos próximos níveis de sucessão ecológica, a tendência é a redução do incremento em relação a número de indivíduos e estoque de carbono e a estabilização da dinâmica (WANG et al., 2017).

O estoque de carbono em 2024 foi maior que o registrado em outros fragmentos de Cerradão. Santana (2013), por exemplo, registrou média $12,28 \text{ Mg ha}^{-1}$ em sete fragmentos de Cerradão no Oeste Baiano, porém esses cerradões apresentaram densidades de 913 ind ha^{-1} , em média. Miguel et al. (2017), estudando um Cerradão na região do Tocantins, registraram $30,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e densidade de $1.228 \text{ ind ha}^{-1}$. Morais et al. (2013), estudando um Cerradão em Minas Gerais, encontraram EC próximo ao encontrado no presente estudo. Os autores registraram estoque de $36,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $1.649 \text{ ind ha}^{-1}$. O EC encontrado no Cerradão da FAL também foi próximo ao valor médio registrado por Scolforo (2008), que trabalhou com cinco fragmentos de Cerradão em Minas Gerais, e obteve estoque médio de $35,08 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Martins (2022), trabalhando no Estado do Tocantins, verificou que mesmo com densidade inferior ($1.162 \text{ ind ha}^{-1}$), o Cerradão apresentou EC superior (cerca de 40 Mg ha^{-1}). Mas, o Cerradão estudado por Martins é mesotrófico, com grande quantidade de árvores altas,

atingindo até 23 m de altura e está localizado em região de maior influência do bioma Amazônico, enquanto no presente estudo a maior altura registrada foi 17 m.

As taxas de mudança líquida para o estoque de carbono seguiram padrão parecido com o registrado para o número de indivíduos, com saldos maiores para as espécies florestais. Porém, a dinâmica de crescimento em biomassa se encontra em níveis menos acelerados que o crescimento em número de indivíduos. Durante a sucessão ecológica da floresta, em um período caracterizado pela supressão das espécies intolerantes a sombra, há intenso recrutamento e aumento da densidade e expansão das espécies ombrófilas (OLIVER; LARSON, 1990; CHAZDON, 2008). Porém, com o passar dos anos, essas altas taxas de recrutamento são reduzidas com a estabilização da produtividade primária, devido a maior competitividade por recursos entre os indivíduos em uma comunidade densa (CHAZDON, 2008).

Wang (2017) também definiu os primeiros anos de avanço sucessional como altamente dinâmicos e com taxas elevadas de crescimento em densidade e biomassa, e complementa que, após a fase secundária inicial e a secundária avançada, ocorre redução mais próxima à zero do incremento em número de indivíduos, enquanto o incremento em biomassa continua elevado (POORTER et al., 2016; WANG, 2017). No fragmento de Cerradão estudado em Tocantins, foi uma mudança líquida positiva e incremento maior para a biomassa em comparação com a quantidade de indivíduos, o que indica um estágio de maior maturidade dessa floresta em relação ao fragmento de Cerradão da FAL (MARTINS, 2022).

Vale destacar que mesmo os indivíduos mortos em pé, que já se encontram em fase de deterioração (necromassa em pé), também continuam estocando boa parte do carbono aéreo de ambientes florestais. Sendo responsáveis por cerca de 8% do estoque de carbono das florestas mundiais (PAN et al., 2011), os indivíduos mortos em pé apresentaram uma queda acentuada no monitoramento, de 23,04 % do estoque de carbono total da comunidade em 2004 para 1,08% em 2024.

Nas últimas décadas tem ocorrido aumento na dinâmica, biomassa e no estoque de carbono das florestas tropicais devido ao incremento da concentração de carbono atmosférico (PHILLIPS et al., 2002; BAKER et al., 2004; LEWIS et al., 2009; MAIA et al., 2020), que favorece a elevação das taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, aceleram o ritmo de crescimento da vegetação, devido ao valor fundamental do dióxido de carbono na realização da fotossíntese pelas árvores (SCHIMEL et al., 2015; HUBAU et al., 2020). Esse fenômeno

relatado, pode ter influenciado no aumento do EC da vegetação lenhosa no fragmento de Cerradão da FAL nos últimos 20 anos.

5 CONCLUSÕES

Ao longo de duas décadas de monitoramento ficou evidente que a vegetação lenhosa do Cerradão passou por transformações significativas. O destacado aumento na importância das espécies florestais em relação às savânicas indica mudanças florísticas e estruturais impulsionada pelo adensamento de indivíduos e pelo consequente sombreamento da vegetação. A entrada de novas espécies florestais e o recrutamento superior a mortalidade sugerem mudanças no estágio sucessional. A Mata de Galeria adjacente ao fragmento de Cerradão revela a influência dessa fisionomia no aumento da riqueza de espécies. As taxas de mortalidade e de recrutamento, assim como os estoques de carbono, refletem não apenas a dinâmica natural da floresta, mas também a ausência ou reduzida intervenção antrópica, assim como a não ocorrência de incêndios no fragmento. Apesar da superioridade do recrutamento sobre a mortalidade indicar que a comunidade do Cerradão se encontra num estágio sucessional avançado, o equilíbrio dinâmico dessa comunidade ainda não foi atingido. O aumento do estoque de carbono ao longo do período de estudo está relacionado ao aumento da densidade de indivíduos da população, assim como o incremento em diâmetro e altura positivos durante o monitoramento, e pode ter relação com o incremento da concentração de carbono atmosférico, que estimula as taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, o crescimento das árvores. Em suma, os resultados deste estudo fornecem *insights* valiosos sobre as mudanças ecológicas em um fragmento de Cerradão ao longo do tempo, destacando que fragmentos florestais sob regime de proteção podem apresentar mudanças em seu estágio sucessional.

6 REFERÊNCIAS

- ARAUJO, E.C.G. et al. Estoque de carbono na madeira de Eucalyptus: relação material genético x espaçamento entre árvores. **Rev Agro Amb**, v. 14, n. 2, p. 505-513, 2021.
- ARAUJO, G.M.; HARIDASAN, M.A. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1075-1089, 1989.
- AZEVEDO, G.B. et al. Prognosis of aboveground woody biomass in a central Brazilian Cerrado monitored for 27 years after the implementation of management systems. **European Journal of Forest Research**, v. 141, n. 1, p. 1-15, 2022.

- BAKER, T.R. et al. Increasing biomass in Amazonian forest plots. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 359, p. 353-365, 2004.
- BFG-THE BRAZIL FLORA GROUP et al. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.
- BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. Krieger Publishing Company, 735p, 1963.
- BRAGA, F.M.S.; REZENDE, A.V. Dinâmica da vegetação arbórea da mata de galeria do Catetinho, Brasília - DF. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 138-148, 2007.
- CALDEIRA, M.V.W. et al. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. plantados no Rio Grande do Sul. Revista Acadêmica: **Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 47-54, 2003.
- CARVALHO, M.A.F. et al. Florística, fitossociologia e estrutura diamétrica de um remanescente florestal no município de Gurupi, Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, p. 59-66, 2016.
- CARVALHO, P.E.R. **Murta: *Blepharocalyx salicifolius***. 2006. Acesso em <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1140854>
- CASELLA, F.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. Florística, diversidade e estrutura da vegetação arbórea de cerrado sentido restrito e Cerradão adjacentes, Parque Ecológico dos Pequizeiros, Distrito Federal. **Heringeriana**, v. 7, n. 2, p. 127-142, 2013.
- CAVALCANTI, R.B. et al. Cerrado. In: **Biomass brasileiros: retratos de um país plural**. Casa da Palavra, Rio de Janeiro, p. 57-91, 2012.
- CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.
- CHAZDON, R.L. Chance and determinism in tropical forest succession. In: CARSON, W.P.; SCHNITZER, S.A. (Eds.). **Tropical forest community ecology**. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford. p. 384-408, 2008.
- DLUGOKENCKY, E.; TANS, P. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. Disponível em: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/. Acesso em: 07 jul. 2024.
- EITEN, G. Delimitation of the Cerrado concept. **Vegetation**, v. 36, n. 3, p.169-178, 1978.
- FAL – **Fazenda Água Limpa-UnB**. Apresentação. 2019. Disponível em:www.fal.unb.br. Acesso em: 06/07/2024.
- FELFILI, J.M. Crescimento, recrutamento e mortalidade nas matas de galeria do Planalto Central. In: CAVALCANTE, T.B.; WALTER, B.M.T. (Eds.). **Tópicos atuais em botânica**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2000. p. 152–158.
- FELFILI, J.M. Diameter and height distributions of a gallery forest community and some of its main species in central Brazil over a six-year period (1985-1991). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 20, p. 155-162, 1997.

- FELFILI, J.M. Principais fisionomias do Espigão Mestre do São Francisco. In: FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. (Orgs.). **Biogeografia do Bioma Cerrado: Estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco**. Brasília, DF: Ed da UnB, p. 18-30, 2001.
- FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. **Journal of tropical ecology**, v. 9, n. 3, p. 277-289, 1993.
- FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. Floristic composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forests at Fazenda Água Limpa, Federal District, Brazil. **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**, p. 393-415, 1992.
- FELFILI, J.M. et al. Vegetação e flora da APA Gama e Cabeça de Veado. **Flora e diretrizes ao plano de manejo da APA Gama e Cabeça de Veado**. Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, p. 7-16, 2004.
- FELFILI, J.M.; REZENDE, R.P. Conceitos e métodos em fitossociologia. **Comunicações Técnicas Florestais**, v.5, n.1, Brasília: Universidade de Brasília, Depto. de Engenharia Florestal, 2003. 68p.
- FELFILI, J.M. et al. Plantas da APA Gama e Cabeça de Veado: **Espécies, Ecossistemas e Recuperação**. 1ª Ed. Brasília: Departamento de Engenharia Florestal - UnB, 52 p, 2002.
- FRANCZAK, D.D. et al. Changes in the structure of a savanna forest over a six-year period in the Amazon-Cerrado transition, Mato Grosso state, Brazil. **Rodriguésia**, v. 62, p. 425-436, 2011.
- FURLEY, P.A.; RATTER, J.A. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, p. 97-108, 1988.
- GAMA, C.R. et al. Fitossociologia e estrutura diamétrica de um fragmento de Cerrado sensu stricto, Formoso do Araguaia, Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 501-507, 2018.
- GOMES, L. et al. Post-fire recovery of savanna vegetation from rocky outcrops. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 209, n. 3-4, p. 201-208, 2014.
- GUILHERME, F.A. et al. Estrutura arbórea em um Cerradão no sul do estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 32, p. 318, 2020.
- HARIDASAN, M.A. Solos do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2ª edição. Brasília: Ed. UnB, p. 321-344, 1993.
- HARIDASAN, M.; ARAÚJO, G.M. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. **Forest ecology and management**, v. 24, n. 1, p. 15-26, 1988.
- HARRIS, N.L. et al. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 232, p. 234-240, 2021.
- HENRIQUES, R.P.B.; HAY, J.D. Patterns and Dynamics of Plant Populations. In: **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 140-158.

- HUBAU, W. et al. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature**, v. 579, n. 7797, p. 80-87, 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Biomassas do Brasil*, 2004. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomassas/>.
- KENT, M.; COKER, P. **Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach**. Belhaven Press, London. 363 p, 1992.
- KORNING, J.; BALSLEV, H. Growth and mortality of trees in Amazonian Tropical Rain forest in Ecuador. **Journal of Vegetation Science**, v. 4, n. 1, p. 77-86, 1994.
- LENZA, E. et al. Does fire determine distinct floristic composition of two Cerrado savanna communities on different substrates? **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, p. 250-259, 2017.
- LEWIS, S.L. et al. Tropical forest tree mortality, recruitment and turnover rates: Calculation, interpretation and comparison when census intervals vary. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 6, p. 929-944, 2004.
- LEWIS, S.L. et al. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. **Nature**, v. 457, n. 7232, p. 1003-1006, 2009.
- LIBANO, A.M.; FELFILI, J.M. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado *sensu stricto* do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 927-936, 2006.
- MAGURRAN, A.E. **Ecological Diversity and its Measurement**. Princeton University Press. p. 81-99, 1988.
- MAIA, V.A. et al. The carbon sink of tropical seasonal forests in southeastern Brazil can be under threat. **Science Advances**, v. 6, n. 51, p. 1-12, 2020.
- MAPBIOMAS. **Relatório anual de desmatamento no Brasil 2023**, São Paulo, 2024. Acesso em <https://alerta.mapbiomas.org/>.
- MARACAHIPES-SANTOS, L. et al. Temporal changes in species composition, diversity, and woody vegetation structure of savannas in the Cerrado-Amazon transition zone. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, p. 254-263, 2018.
- MARIANO, G.V.P. et al. Estrutura e dinâmica comparativa entre Cerradão distrófico e mesotrófico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 15, n. 3, p. 184-190, 2019.
- MARIMON-JUNIOR, B.H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um Cerradão e um cerrado *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.1, p. 913-926, 2005.
- MARTINS, M.S. **Dinâmica, atributos funcionais e produção de biomassa de vegetação lenhosa em Cerradão, Parque Estadual do Lajeado–TO**. Brasília: UnB. Dissertação (mestrado), 2022.
- MEA, MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Current states and trends**. Washington, District of Columbia: Island Press, 2005.

- MEWS, H.A. et al. Dinâmica estrutural da comunidade lenhosa em floresta estacional semidecidual na transição cerrado-floresta amazônica, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, p. 845-857, 2011.
- MENDONÇA, R.C. et al. Flora vascular do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**. Eds Sano, S.M. et al. p. 1028-1059, 2008.
- MIGUEL, A. et al. Dinâmica da comunidade lenhosa de uma floresta de galeria na transição Cerrado-Floresta Amazônica no Leste de Mato Grosso, em um período de sete anos (1999 a 2006). **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 53–61, 2011.
- MIGUEL, E.P. **Caracterização da flora e da produção em volume, biomassa e carbono da vegetação arbórea em área de Cerradão no estado do Tocantins**. Brasília: UnB. Tese (doutorado). 96 p. il., 2014.
- MIGUEL, E.P. et al. Floristic, structural, and allometric equations to estimate arboreal volume and biomass in a Cerradão site. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1691-1702, 2017.
- MIRANDA, S. et al. O Cerradão de Goiás e suas relações florísticas e estruturais com outras áreas no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 1058-1069, 2017.
- MIRANDA, S.D.C. et al. O cerrado sentido restrito no Jardim Botânico de Brasília 24 anos sem incêndios. **Ecology**, v. 35, p. 422-433, 2009.
- MORAIS, V.A. et al. Estoques de carbono e biomassa de um fragmento de Cerradão em Minas Gerais, Brasil. **Cernea**, v. 19, p. 237-245, 2013.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and Methods of Vegetation Ecology**. Wiley, 547 p, 1974.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.
- OLIVEIRA, E.C.L.D.; FELFILI, J.M. Estrutura e dinâmica da regeneração natural de uma mata de galeria no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 801-811, 2005.
- OLIVEIRA, G.M.V. **Densidade da madeira em Minas Gerais: amostragem, espacialização e relação com variáveis ambientais**. Lavras: UFLA. Tese (doutorado). 125 p. il. 2014.
- OLIVEIRA, M.C. Análise florística e fitossociológica da comunidade arbórea da mata de galeria do Capetinga, após vinte anos de passagem de fogo, na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. **Heringeriana**, v. 5, n. 2, p. 19-31, 2011.
- OLIVEIRA FILHO, A.T.; RATTER, J.A. A study of the origin of central brazilian forest by analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 52, n. 2, p. 141-194, 1995.
- OLIVER, C.D.; LARSON, B.C. **Forest Stand Dynamics**. McGraw-Hill, Inc. 457 p, 1990.
- PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, p. 988-993, 2011.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. Curitiba, 1997.

- PEREIRA, I.S. et al. Fire effect on the seasonal forest structure in the Cerrado biome. **Floresta** v. 46, n. 4, p. 499-507, 2017.
- PHILLIPS, L.; GENTRY, A.H. Increasing Turnover Through Time in Tropical Forests. **Science**, v. 263, p. 954-958, 1994.
- PHILLIPS, O.L. et al. Changes in growth of tropical forests: evaluating potential biases. **Ecological Applications**, v.12, p. 576-587, 2002.
- PIELOU, E.C. **Ecological diversity**. New York: Willey, 1975. 165 p.
- POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211-214, 2016.
- RATTER, J.A. et al. Observations on forests of some mesotrophic soils in central Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, n. 1, p. 47-58, 1978.
- REZENDE, A.V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Florestalis**, v. 71, p. 65-76, 2006.
- RIBEIRO J.F. et al. Fitossociologia de tipos Fisionômicos de cerrado em Planaltina – DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 8, p. 131-142, 1985.
- RIBEIRO, J.F.; HARIDASAN, M.A. Comparação fitossociológica de um cerrado denso e um Cerradão em solos distróficos no Distrito Federal. **In: Anais do Congresso Nacional de Botânica**, 35, Manaus. Anais... Manaus: SBB, 1984.
- RIBEIRO, F.F. et al. Estrutura composição florística em tipos fisionômicos dos cerrados e sua interação com alguns parâmetros do solo. Pp. 141-156. **In: Anais do 32º Congresso Nacional de Botânica Sociedade Botânica do Brasil**, Teresina, 1981.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. **Cerrado: Ecologia e Flora**, v. 1, p. 151-212, 2008.
- ROITMAN, I. et al. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991–2004) in Bahia, Brazil. **Plant Ecology**, v. 197, p. 255-267, 2008.
- ROQUETTE, J.G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1350-1363, 2018.
- SANTANA, O.A. et al. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 783-794, 2013.
- SCHIMEL, D. et al. Effect of increasing CO₂ on the terrestrial carbon cycle. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 2, p. 436-441, 2015.
- SCOLFORO, J.R.S. et al. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Monitoramento dos Reflorestamentos e Tendências da Produção em Volume, Peso de Matéria seca e Carbono**. 1ª Edição. Editora UFLA, v.1, 2008a, 150p.
- SCOLFORO, J.R.S. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J.R.S. et al. (Eds.). **Florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de**

altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. Editora UFLA, 2008b. p. 361-439.

SHEIL, D. et al. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. **The Journal of Ecology**, v. 83, n. 2, p. 331-333, 1995.

SILVA JÚNIOR, M.C. Composição florística, fitossociologia e estrutura diamétrica na mata de galeria do Monjolo, Reserva Ecológica do IBGE, DF. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 4, p. 30-45, 1999.

SILVA, C.J.; VALE, A.T.; MIGUEL, E.P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.

SILVA, J.F. et al. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 536-548, 2006.

SILVA, L.S.D. et al. Variações temporais na estrutura em fitofisionomias de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 730-742, 2020.

SILVA, L.S. et al. Mudanças temporais na estrutura vegetacional de um fragmento de Caatinga, sul do Piauí. **Scientia Plena**, v. 16, n. 2, 2020.

SILVA, M.R.; ARAÚJO, G.M.D. Dinâmica da comunidade arbórea de uma floresta semidecidual em Uberlândia, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 49-56, 2009.

SOLÓRZANO, A. et al. Perfil florístico e estrutural do componente lenhoso em seis áreas de Cerradão ao longo do bioma Cerrado. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 328-341, 2012.

SOUZA, P.B.D. et al. Composição florística da vegetação arbórea de um remanescente de Cerradão, Paraopeba, MG. **Revista Árvore**, v. 32, p. 781-790, 2008.

SOUZA, P.B. et al. Florística de uma área de Cerradão na Floresta Nacional de Paraopeba - Minas Gerais. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 86-93, 2010.

STRASSBURG, B.B.N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017.

THOM, D.; SEIDL, R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. **Biological Reviews**, v. 91, n. 3, p. 760-781, 2016.

WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Brasília: UnB. Tese (doutorado), 2006.

WANG, F. et al. Tropical forest restoration: Fast resilience of plant biomass contrasts with slow recovery of stable soil C stocks. **Functional Ecology**, v. 31, n. 12, p. 2344-2355, 2017.

WERNECK, M.S. et al. Mudanças florísticas e estrutura de uma floresta decídua durante um período de quatro anos (1994-1998), na região do Triângulo Mineiro, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, p. 399-411, 2000.