



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - DCBIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E RECURSOS
NATURAIS - PPGDR

GABRIEL VENANCIO CRUZ

Diversidade, fitossociologia e potencial de sequestro de carbono em uma área de
Cerradão na Chapada do Araripe

CRATO/CE.

2023

GABRIEL VENANCIO CRUZ

Diversidade, fitossociologia e potencial de sequestro de carbono em uma área de Cerradão na Chapada do Araripe.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri-URCA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

Orientador: Professor Dr. João Tavares Calixto Júnior

CRATO/ CEARÁ

2023

Gabriel Venancio Cruz, autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema de geração automático da
Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

Cruz, Gabriel Venancio C957d Diversidade, fitossociologia e potencial de sequestro de carbono em uma área de Cerradão na Chapada do Araripe / Gabriel Venancio Cruz. Crato-CE, 2023.
76p. il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri - URCA. Orientador(a): Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior

1. Fitossociologia, 2. Estoque de Carbono, 3. Cerradão, 4. Biomassa;

CDD: 577

GABRIEL VENANCIO CRUZ

DIVERSIDADE, FITOSSOCIOLOGIA E POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO EM UMA ÁREA DE CERRADÃO NA CHAPADA DO ARARIPE:

Dissertação do Mestrado em Diversidade Biológica e Recursos Naturais apresentada à Universidade Regional do Cariri – URCA, para obtenção do título de Mestre(a) em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

APROVADO(A) EM: 30/08/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior – Orientador(a)

Instituição vínculo: Universidade Regional do Cariri - URCA

Assinatura: 

Prof. Dr. Luiz Marivando Barros

Instituição vínculo: Universidade Regional do Cariri – URCA

Assinatura: 

Prof. Dr. Raimundo Luciano Soares Neto

Instituição vínculo: Universidade Regional do Cariri – URCA

Assinatura: 

AGRADECIMENTO

Agradeço a Universidade Regional do Cariri, ao meu professor e orientador João Tavares Calixto Júnior, a toda equipe do laboratório de estudos da flora regional do Cariri – LEFLORE, ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais (PPGDR) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

RESUMO

Estudos florísticos, fitossociológicos e fitogeográficos no Brasil, especificamente no Nordeste, tem se tornado cada vez mais importantes, principalmente para avaliar a diversidade das áreas e entre áreas. Avaliar a produção de serrapilheira é importante pois contribui para a definição de modelos de fluxo e conteúdo de carbono em determinadas regiões e mostram, de forma mais consistente, as suas dinâmicas ecossistêmicas. Nesse sentido, essa pesquisa teve como propósito quantificar a capacidade de sequestro e estocagem de carbono em uma área de Cerradão no Crato, na Chapada do Araripe, Sul do Ceará. Foram utilizadas 10 parcelas permanentes de 20x50m (1 ha), em que foram inventariados todos os indivíduos com DAS $\geq$ 3 cm, observando-se altura total. Coletores de serrapilheira foram instalados na área para determinação do teor de C em três componentes (folhas, galhos e miscelânea) a fim de relacionar a sua produção com variáveis climáticas (umidade, temperatura e pluviosidade). Foram encontradas 38 espécies distribuídas em 26 famílias, num total de 1.253 indivíduos com a área basal (AB) = 11,08 m²ha⁻¹. Fabaceae (sete) e Myrtaceae (seis) apresentaram maior número de espécies e *Ocotea nitida* apresentou maior IVI. O índice de Shannon-Wiener (H'): 2,42; Equabilidade de Pielou (J') 0,70 e índice de concentração de Simpson (C'): 0,08. A diversidade beta foi feita através da comparação por meio do índice similaridade de Jaccard (J') que expressa a semelhança entre os ambientes baseando-se no número de espécies comuns, mostrou uma similaridade média/baixa e com proximidades a áreas que estão geograficamente mais próximas. A partir do teor médio de carbono de cada componente e do volume de madeira estocado na floresta observou-se 11,28 t.ha⁻¹ de carbono estocado na biomassa viva com incremento anual de 0,75 t.ha⁻¹ano⁻¹. A média anual dos componentes da serrapilheira foi 16,92 t.ha⁻¹ano⁻¹, com teor médio dos componentes de 50% (26,40 t.ha⁻¹) apresentando massa de carbono acumulado de 0,576 t.ha⁻¹. Dos três compartimentos, todos apresentaram correlação significativa com pelo menos uma variável climática. O valor do carbono sequestrado/ano foi 1,32 t.ha⁻¹ [carbono incorporado na serrapilheira (0,75 t.ha⁻¹) + incremento médio anual de carbono no volume comercial (0,576 t.ha⁻¹)] apontando sequestro médio de 40 t.ha⁻¹ CO₂eq. Os resultados evidenciam o potencial (ainda inexplorado) de sumidouro de carbono da Savana Florestada dessa região do Brasil e sugerem seu aproveitamento para projetos de créditos de carbono a nível nacional e mundial como alternativa para melhor uso dos terrenos e na mitigação das mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Fitossociologia; Estoque de Carbono; Cerradão; Biomassa.

ABSTRACT

Floristic, phytosociological and phytogeographic studies in Brazil, specifically in the Northeast, have become increasingly important, mainly to assess the diversity of areas and between areas. Evaluating litter production is important because it contributes to the definition of carbon flow and content models in certain regions and shows, more consistently, their ecosystem dynamics. In this sense, this research aimed to quantify the carbon sequestration and storage capacity in a Cerradão area in Chapada do Araripe in Crato, southern Ceará. Ten permanent plots of 20x50m (1 ha) were used, in which all individuals with DAS ≥ 3 cm were inventoried, observing total height. Leaf litter collectors were installed in the area to determine the C content in three components (leaves, branches and litter) in order to relate their production to climatic variables (humidity, temperature and rainfall). Thirty-eight species distributed in 26 families were found, totalling 1,253 individuals with basal area (BA) = 11.08 m²ha⁻¹. Fabaceae (seven) and Myrtaceae (six) presented the highest number of species and *Ocotea nitida* presented the highest IVI. The Shannon-Wiener index (H'): 2.42; Pielou's Equability (J') 0.70 and Simpson's concentration index (C'): 0.08. The beta diversity was made through the comparison by means of the Jaccard similarity index (J') that expresses the similarity between the environments based on the number of common species, showed a medium/low similarity and with proximities to areas that are geographically closer. From the average carbon content of each component and the volume of wood stored in the forest, 11.28 t.ha⁻¹ of carbon stored in the living biomass was observed with an annual increase of 0.75 t.ha⁻¹year⁻¹. The annual average of the litter components was 16.92 t.ha⁻¹year⁻¹, with an average content of the components of 50% (26.40 t.ha⁻¹) presenting an accumulated carbon mass of 0.576 t.ha⁻¹. Of the three compartments, all showed significant correlation with at least one climatic variable. The value of sequestered carbon/year was 1.32 t.ha⁻¹ [carbon incorporated into the litter (0.75 t.ha⁻¹) + average annual carbon increment in the commercial volume (0.576 t.ha⁻¹)] indicating an average sequestration of 40 t.ha⁻¹ CO₂eq. The results highlight the (still unexploited) carbon sink potential of the Savannah Forest in this region of Brazil and suggest its utilisation for carbon credit projects at national and global level as an alternative for better land use and mitigation of global climate change.

Keywords: Phytosociology; Carbon Stock; Wetland Refuge; PES; Biomass.

Sumário

1.Introdução	10
2. Material e Métodos	12
2.1 Área de estudo	12
2.2 Coleta e tratamento de dados.....	13
2.3 Distribuição diamétrica e hipsométrica	13
2.4 Análise fitossociológica e diversidade alfa.....	14
2.5 Similaridade (Diversidade beta)	16
2.6 Deposição de serrapilheira.....	17
2.7 Quantificação de carbono	18
2.7.1 <i>Inventário florestal</i>	18
2.7.2 <i>Teor de matéria orgânica</i>	18
2.7.3 <i>Biomassa da floresta em pé e valores de sequestro e estoque C</i>	19
2.8 Análise estatística	20
2.9 Variáveis climáticas	20
3. Referências	21
4. Resultados.....	26
4.1 Cap.I: Estrutura e diversidade de comunidade lenhosa de Cerradão (FLONA Araripe-Apodi, sul do Ceará)	26
4.2 Cap. II: Incremento periódico anual e relações climáticas em estudo de caso de potencial de sequestro e estoque de carbono em Savana Florestada (Cerradão), semiárido brasileiro ..	47

LISTA DE FIGURAS

1. Fig.1: Localização da área de estudo – Cerradão na Floresta Nacional do Araripe – Apodi, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.....	12
2. Fig.2: Demarcação das 10 parcelas na área de estudo	13
3. Fig.3: Instalação dos coletores na área de estudo	18
4. Fig.4: Instalação da estação meteorológica.....	20

Cap. I:

5. Fig.1: Localização da área de estudo – Cerradão na Floresta Nacional do Araripe – Apodi, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.....	28
6. Fig.2: Distribuição dos indivíduos por classes de diâmetro.....	34
7. Fig.3: Distribuição dos indivíduos por classes hipsométricas	35
8. Fig.4 e 5: Diagrama de dispersão dos Índices de Diversidade de Shannon (H') e Equabilidade de Pielou (J') e sua relação com o número de espécies (NE), em diferentes levantamentos de Cerrado s.s. e "cerradão" no Brasil.....	37
9. Fig.6: Dendrograma gerado pelo índice de similaridade de Jaccard entre nove áreas em sete diferentes estados brasileiros	39

Cap. II:

10. Fig.1: Localização da área de estudo – Cerradão na Floresta Nacional do Araripe – Apodi, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.....	51
11. Fig.2: Aporte de serrapilheira frente as variáveis climáticas	57
12. Fig.3: Valores das variáveis climáticas e aporte de serrapilheira nos compartimentos de folha, galhos e miscelâneas de maneiras separadas	58

LISTA DE TABELAS

Cap.I:

1. **Tab.1:** Parâmetros fitossociológicos observados na área do "Cerradão" na Floresta Nacional do Araripe em Crato - Ceará.....31
2. **Tab.2:** Comparação entre os parâmetros fitossociológicos do cerradão da Floresta Nacional do Araripe e outras áreas de cerrado s.s. e cerradão no Brasil.37
3. **Tab.3:** Matriz de similaridade de Jaccard para nove áreas de Cerradão/Cerrado em diferentes regiões do Brasil38

Cap.II:

4. **Tab.1:** Deposição total de serrapilheira senescente em kg ha⁻¹ coletada55
5. **Tab.2:** Valores das variáveis climáticas (temperatura, umidade e precipitação pluviométrica) de março de 2022 a fevereiro de 2023 em área de Savana Florestada56
6. **Tab.3:** Correlação entre valores da produção de serrapilheira e variáveis climáticas entre março de 2022 e fevereiro de 2023 em área de Savana Florestada59
7. **Tab.4:** Valores de diâmetro médio, área basal, volume, biomassa viva, carbono estocado e incremento periódico anual (IPA) em área de Savana Florestada59
8. **Tab.5:** Média de valores de massa de serrapilheira, teor e massa de carbono acumulados em área de Savana Florestada64

1. INTRODUÇÃO

Florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) compreendem um bioma globalmente extenso, configurando sua presença em cinco continentes, ocupando uma área de aproximadamente 3,3 milhões de km² das terras secas, dos quais 45% estão localizados dentro da América do Sul (BASTIN et al., 2017). Nas Américas, as FTSS se estendem da América Central ao norte da Colômbia, norte da Venezuela, norte da Argentina, oeste do Paraguai, leste da Bolívia e nordeste do Brasil (QUEIROZ et al., 2017).

Durante as últimas décadas, mudanças climáticas se tornaram tema central no debate público, principalmente sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável (OTTO et al., 2019). As consequências de maneira negativas sobre o planeta, seus habitantes e recursos, tem gerado preocupação nas nações (MOLTHAN-HILL et al., 2019). Fatos científicos demonstram a influência inequívoca que os seres humanos tiveram nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) nos últimos séculos e o consequente aquecimento da atmosfera, dos oceanos e da Terra (IPCC, 2022).

A conservação das florestas tem sido reconhecida como um fator essencial para a mitigação das mudanças climáticas (HERR et al., 2012) e medições de teor de carbono são promissoras em fornecer informações para avaliar o comportamento das plantas em termos de clima, bioma, estado de conservação e alteração dos ambientes florestais (ANJALI et al., 2020). O sequestro de carbono é um importante serviço ecossistêmico provido pelas florestas. A vegetação, por meio do processo de fotossíntese, absorve gás carbônico da atmosfera e durante certo tempo, armazena o carbono orgânico na biomassa da árvore, fixando cerca de 200 bilhões de toneladas de carbono anualmente (LIN et al., 2016).

O Cerrado no Nordeste possui aspectos que os torna bastante diferentes dos demais domínios fitogeográficos savânicos encontrados no restante do Brasil (ANDRADE et al., 2019), pois sua localização é marginal em relação ao Cerrado central (MACEDO et al., 2019). A nítida diversidade e o alto endemismo de espécies vegetais elevam o nível do Cerrado como um patrimônio genético natural, de grande relevância para a conservação da biodiversidade brasileira e mundial (FRANÇOSO et al., 2020).

Estudos florísticos, fitossociológicos e fitogeográficos no Brasil, especificamente no Nordeste, tem se tornado cada vez mais importantes, principalmente para avaliar a diversidade das áreas e entre áreas. Trabalhos como o de Libano e Felfili (2006); Costa e Araújo (2007); Calixto Júnior e Drumond (2011), Moro et al., (2015), e Souza, Silva e Loiola (2021), contribuem para isto.

Conforme Meira et al., (2020) informações obtidas a partir da estimativa da biomassa e carbono florestais fornecem estratégias para programas de conservação, tanto de florestas nativas quanto de áreas em processo de restauração ou recuperação, servindo também como subsídios para a elaboração de projetos de créditos de carbono. Os desafios advindos da sustentabilidade e da conservação da biodiversidade requerem soluções baseadas em ações de mercado (CHAN et al., 2017).

Estudos de produção de serrapilheira são importantes pois contribuem para a definição de modelos de fluxo e conteúdo de carbono em determinadas regiões e mostram, de forma mais consistente, as suas dinâmicas ecossistêmicas (SANCHES et al., 2009). A serrapilheira está diretamente relacionada à produtividade em ecossistemas florestais e possui um padrão de produção diversificado com períodos de maior e menor intensidade associados a fatores ambientais e à estacionalidade climática e genética (GIWETA, 2020).

Para Lopes e Miola (2010) essas áreas de Cerradão apresentam destaque importante que as diferenciam de outras fitofisionomias do bioma Cerrado, em termos de sequestro de carbono. A Chapada do Araripe é um acidente geográfico e sítio paleontológico de relevante valor ecológico localizado entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, na região semiárida do Nordeste brasileiro (bioma Caatinga), com intensa diversidade fossilífera, de fauna e vegetal em distintas fitofisionomias (Silva et al., 2022). A heterogeneidade fisionômica aponta a presença de savana (Cerrado *sensu stricto* e Cerradão), Floresta Estacional Sempre-Verde (Mata úmida) e Savana Estépica (Carrasco) (LOIOLA et al., 2015), abrigando em seus domínios uma Floresta Nacional (FLONA Araripe-Apodi), uma Área de Proteção Ambiental (APA) e um Geoparque.

Diante disto o estudo teve como objetivo a divisão em duas partes: a primeira voltada a fitossociologia na qual buscava responder alguns questionamentos como o estágio de sucessão ecológica da área de Cerradão da FLONA, quando observada a sua estrutura diamétrico/hipsométrica? Os valores de diversidade alfa apontam para a necessidade de tomadas de decisões específicas no plano de manejo? Qual o grau de dissimilaridade florística da área quando comparada a outras áreas de Cerrado (disjuntas ou *core*) no Brasil? Já na segunda parte o objetivo foi avaliar o potencial de sequestro de carbono a fim de apontar alternativas mais eficientes de uso da terra e minimizar impactos causados pelo aquecimento global. Este é o primeiro estudo que apresenta dados sobre viabilidade para geração de créditos de carbono nessa formação vegetal na Chapada do Araripe e faz parte de um projeto amplo de investigação dessa viabilidade em distintas fitofisionomias na região semiárida do nordeste brasileiro.

2. MÉTODOS

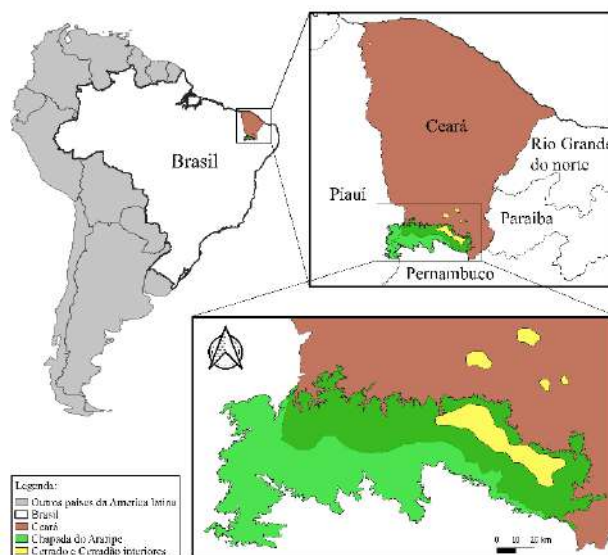
2.1. Área de estudo

A pesquisa foi realizada em uma área de Cerradão (Savana Florestada) na FLONA Araripe-Apodi (Floresta Nacional do Araripe–Apodi), localizada na Chapada do Araripe, município de Crato (7°14'55.31"S 39°29'43.49"O, 960 m de altitude), sul do Estado do Ceará (Fig. 1). A FLONA foi criada através do decreto nº 9.226 de 02 de maio de 1946, sendo a primeira do Brasil, com uma área de 38.968 ha.

A área de Cerradão estudada apresenta uma vegetação formada por maciços intercalados por grandes clareiras. Estes maciços apresentam árvores tortuosas de médio e pequeno portes, bastante esgalhados, com cascas rugosas e fendilhadas e um sub-bosque arbustivo denso (LIMA et al., 1983). Essa área apresenta em seu histórico de uso um nível de preservação considerado alto, sem ocorrências de grandes devastações por incêndios ou cortes, e possui 10.618,75 ha, cerca de 27,5% da área total desta Unidade de Conservação (COSTA e ARAÚJO, 2007).

O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura média a argilosa e permeável às chuvas (EMBRAPA, 2018). A área apresenta características de clima tropical úmido, marcado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de dezembro a abril, e outra estação seca, de maio a novembro, apesar da natureza transitória do clima semiárido do Nordeste do Brasil (BSw) (BENÍCIO et al., 2022). A média da precipitação mensal no período chuvoso é de 1.033 mm (INMET, 2023) e a temperatura média anual é de 24 °C (FUNCEME, 2023).

Fig. 1. Localização da área de estudo – Cerradão na Floresta Nacional do Araripe – Apodi, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.



Fonte: Autores (2023)

2.2. Coleta e tratamento de dados

Conforme Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) foram plotadas 10 parcelas permanentes, medindo 1000 m² (20m x 50m) o que equivale a 1 ha, escolhidas de forma sistemática, com espaçamento de 60m entre parcelas. O inventário foi realizado entre os meses de fevereiro e maio de 2022 (período chuvoso na região).

Por meio de suta foram mensuradas todas as árvores e arbustos vivos com DAS (diâmetro à altura do solo) ≥ 3 cm, assim como estimadas as alturas totais dos indivíduos por meio de haste telescópica graduada.

As identificações foram realizadas após coleta do material botânico por comparação com exsicatas do Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL) da Universidade Regional do Cariri (URCA). De forma *on-line*, consultas foram realizadas em bases de dados da plataforma REFLORA, Lista de Espécies da Flora do Brasil (2023) para validação dos nomes das espécies, exclusão de sinônimas e correto uso da grafia e autoria das espécies. A lista florística foi ordenada de forma alfabética por família e fundamentada no Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2019).

Fig. 2. Demarcação das 10 parcelas na área de estudo



Fonte: O autor

2.3. Distribuição diamétrica e hipsométrica

O número de classes de diâmetro foi calculado de acordo com Spiegel (2006), para minimizar o número de classes sem representação.

$$IC = A/NC$$

Onde podemos dizer que: IC (Intervalo de Classes); A (É a amplitude, ou seja, diâmetro máximo e mínimo); NC (É o número de classes).

O intervalo de classes foi considerado neste estudo a cada 5 cm de diâmetro.

Para a análise da estrutura hipsométrica, foi gerado um gráfico com número de indivíduos por centro de classe de altura, com amplitude de 5 m e início da primeira classe 2m.

2.4. Análise fitossociológica e diversidade alfa

Para os parâmetros fitossociológicos utilizou-se o *software* Mata Nativa 2 (CIENDEC, 2006) que possibilitou a análise de parâmetros gerais da comunidade: densidade total, área basal, alturas e diâmetros e parâmetros relativos às espécies: densidade relativa (DR), frequência relativa (FR), dominância absoluta relativa (DoR), índice de valor de cobertura (VC) e índice de valor de importância (VI), assim como análise da diversidade alfa. Para essa análise foram calculados o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H'), em base logarítmica neperiana, o índice de equabilidade de Pielou (J') e o índice de concentração de Simpson (C'), que permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre todas as espécies existentes (MAGURRAN, 1988). Foi aplicado o teste T de Student para a observação do grau de significância entre as médias com o erro de aceitação de no máximo 0,05 (5%).

Onde: Densidade - (Refere-se ao grau de participação das diferentes espécies identificadas na comunidade vegetal.)

Densidade Relativa – (Porcentagem do número de indivíduos de uma espécie em relação ao número total de indivíduos amostrados).

$$DR = \left(\frac{n}{N} \right) \cdot 100 (\%)$$

Onde Podemos dizer que:

DR - (Densidade Relativa em porcentagem);

N - (Total de indivíduos de todas as espécies).

Frequência - É dada pela probabilidade de se encontrar uma espécie numa unidade de amostragem e seu valor estimado indica o número de vezes que a espécie ocorre, num dado número de amostra.

Frequência Relativa - Valor percentual de uma espécie em relação ao somatório das frequências absolutas de todas as espécies.

$$FRi = \frac{\sum_{i=1}^P FAi}{P} \times 100$$

Onde Podemos dizer que:

FAi - (Frequência absoluta da i-ésima espécie na comunidade vegetal);

FRi (Frenquência relativa da i-ésima espécie na comunidade vegetal);

P (Número de espécies amostradas).

Dominância Relativa - Porcentagem da área basal de uma espécie em relação à área basa total dos indivíduos amostrados.

$$DoR = \left(\frac{ABi}{ABt} \right) \times 100 (\%)$$

Onde Podemos dizer que:

DoR – (Dominância Relativa (%));

ABi – (Total da área basal da espécie i (cm²/ha);

ABt – (Total da área basal de todas as espécies (cm²/ha).

Índice De Valor de Importância (IVI) - Expressa a importância ecológica da espécie no ambiente em razão dos valores relativos de densidade, dominância e frequência.

$$IVI = DRI + DoRi + FRi$$

Onde podemos dizer que:

DRI – (densidade relativa da i-ésima espécie);

DoRi - (dominância relatica (%) a i-ésima espécie);

FRi – (frequência relativa (%) da i-ésima espécie);

FAi – (frequência absoluta da i-ésima espécie na comunidade vegetal).

Índice de Shannon-Wiener (H') - Quanto maior o valor de H, maior a diversidade florística, essa expressa a riqueza e a uniformidade.

$$H' = \frac{[N \cdot \ln(N) - \sum_{i=1}^S ni \ln(ni)]}{N}$$

Onde podemos dizer que:

H' – (Índice de Shannon-Wiener);

N – (número total de indivíduos amostrados);

ni – (número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie);

S – (número de espécies amostradas);

ln – (logaritmo de base neperiana).

Simpson (C):

$$C = \frac{1}{\sum \left[\frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \right]}$$

Onde podemos dizer que:

1 – (é a medida de dominância);

C – (índice de dominância de Simpson);

n_i – (número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie);

N – (número total de indivíduos amostrados);

S (número de espécies amostradas).

Equabilidade de Pielou (J):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Onde podemos dizer que:

J' – (índice de Equabilidade de Pielou);

H' max – (ln(S) = diversidade máxima);

S – (número de espécies amostradas = riqueza).

2.5. Similaridade (Diversidade Beta)

Com o objetivo de identificar a similaridade florística da área estudada com outros levantamentos realizados em áreas de Cerrado e Cerradão foi elaborada uma matriz de presença/ausência de espécies identificadas em outros nove levantamentos em Estados brasileiros distintos: Kunz (2009) no município de Canarana; Verly et al., (2020) em Cáceres e Felfili et al., (2002) no município de Água Boa, todos no Estado de Mato Grosso; Da Costa Gama et al., (2018) em Formoso do Araguaia, Tocantins; Giácomo et al., (2015) em Pirapitinga, Minas Gerais; Pinheiro et al., (2020) em Aquidauana, Mato Grosso do Sul; Andriani et al., (2020) em Jandaia, Goiás; Cerqueira et al., (2017) em Jaborandi, Bahia e Costa e Araújo (2007), na Chapada do Araripe, município de Barbalha, Estado do Ceará.

A comparação foi realizada por meio do índice similaridade de Jaccard (J') que expressa a semelhança entre os ambientes baseando-se no número de espécies comuns. A matriz de similaridade florística resultante foi utilizada na análise de agrupamentos pelo método de médias aritméticas não ponderadas (UPGMA) e pela geração de um dendrograma, utilizando-

se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade, através do software PAST v. 3.23 1999-2019 (HAMMER et al., 2011).

2.6. Deposição de serrapilheira

Foram instaladas, sistematicamente entre as parcelas, cinco cestas para coletar a serrapilheira senescente, com diâmetro de 1m², equidistantes 50 m. Os coletores foram confeccionados com arame 5/8 sustentados por vergalhão de ferro galvanizado de 1½ polegadas e arames, suspensos a um metro do nível do solo e envolvidos por duas camadas de um tecido do tipo filó, com finalidade de impedir a perda do material de menor dimensão e permitir a passagem da água da chuva.

O material senescente acumulado nos coletores foi retirado de forma mensal durante o período de doze meses (março de 2022 a fevereiro de 2023), embalado em sacos plásticos identificados e transportados para o Laboratório de Estudos da Flora Regional do Cariri – LEFLORE, da Universidade Regional do Cariri – URCA, para posterior separação por compartimentos: folhas, caules e miscelânea (flores, frutos, sementes, excrementos, insetos, etc.). As frações foram pesadas em balança digital com três casas decimais e mantidas em estufa a 60°C até que o material atingisse massa constante em três pesagens para a determinação da massa seca. Em seguida, foram moídas em um moinho do tipo Willey e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados. A produção de serrapilheira, em cada um dos coletores foi baseada no modelo proposto por Ferreira et al., (2014) e Ferreira e Uchiyama (2015):

$$PS = \frac{(\Sigma PMS \times 10.000)}{Ac}$$

Onde:

PS = Produção de serrapilheira (kg ha⁻¹ano⁻¹);

PMS = Produção mensal de serrapilheira (kg ha⁻¹mês⁻¹);

Ac = Área do coletor (m²).

O aporte de serrapilheira foi avaliado mensalmente, o total mensal foi obtido e determinado a partir da média aritmética dos cinco coletores.

Fig. 3. Instalação dos coletores na área de estudo



Fonte: O autor

2.7. Quantificação de carbono

2.7.1. Inventário Florestal

Após todo o processo de parcela e medições através do programa de software *Mata Nativa 2* que possibilitou a análise comparativa entre os parâmetros gerais da comunidade durante os dois anos, dentre estes, área basal por hectare, volume por hectare, biomassa viva total e carbono estocado. O incremento periódico anual foi calculado por meio das seguintes equações:

$$\text{Crescimento} = C_2 - C_1$$

$$\text{IPA} = \frac{\text{Crescimento}}{\text{Intervalo de meses}}$$

Onde:

C_1 e C_2 = Mensurações no final do período e no início do período, respectivamente;

IPA = Incremento periódico anual.

2.7.2. Teor de matéria orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica na serrapilheira senescente (folhas, galhos e miscelânea) foi realizada pelo método da calcinação em forno do tipo mufla no Laboratório de Química Analítica do Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO), Juazeiro do Norte, Ceará e seguiu o método estabelecido por Goldin (1987), em que cada amostra (folhas, galhos e miscelânea) foi inserida em cadinho de porcelana sem tampa e acondicionada em forno mufla em temperatura de 550°C por quatro horas, ou até completar a calcinação.

Posteriormente, as amostras foram retiradas e resfriadas para pesagem. O teor de carbono foi calculado pela equação:

$$CT = Ms/Mr * 100$$

Onde:

CT = Teor de carbono em porcentagem (%)

Ms = Massa do resíduo em gramas (g)

Mr = Massa da amostra seca em gramas (g)

2.7.3. Biomassa da floresta em pé e valores de sequestro e estoque C

O cálculo da biomassa foi realizado para cada indivíduo, através da equação de Brown, Gillespie e Lugo (1989). Essa equação, também utilizada por Castro e Kauffman (1998) para áreas de Cerrado no Brasil e por Fernandes et al., (2008) considera parâmetros do inventário florestal (diâmetro e altura total dos indivíduos arbóreos inseridos no critério de inclusão: DAS $\geq$ 3cm), que são contribuintes para a quantificação do carbono estocado na floresta em pé. A equação considera $R^2=0,97$ para a conversão da biomassa em estoque de carbono. Este cálculo foi também utilizado por Waltzlawick et al., (2011) e Embrapa (2008) e é descrito como:

$$B = \exp[-3,1441 + 0,9719 * \ln(DAS^2 * Ht)]$$

Onde:

B = Biomassa

DAS= Diâmetro à Altura do Solo

Ht = Altura Total

O cálculo do potencial de sequestro de carbono deu-se pelo método indireto não destrutivo, conforme especificado por Salati (1994). O uso do método não destrutivo, baseado em estimações de parâmetros provenientes de inventários florestais foi utilizado por melhor se adaptar à complexidade e às condições florísticas da área, conforme utilizado por Fajardo e Timofeiczky Júnior (2015) para a APA da Serra de Baturité (Ceará) e Benício et al., (2022) para área de mata úmida na Chapada do Araripe (Ceará).

Os estoques de carbono foram calculados considerando-se que esses representam 50% da biomassa seca. Para Fernandes et al., (2008) a estimativa dos estoques de carbono significa, de um modo geral, a quantidade que foi retirada da atmosfera e que se encontra aprisionada na biomassa aérea, na forma de carbono orgânico. Para se encontrar o valor de CO₂, considera-se que 1 tonelada (t) de carbono corresponde a 3,67 t.CO₂. Consequentemente, multiplica-se o

valor total de carbono em toneladas por 3,67 e obtém-se o valor de CO₂ retirado da superfície terrestre (Fernandes et al., 2008). Após a quantificação de massa de carbono, foi realizada a mensuração do estoque de carbono. O valor utilizado como referência é o que corresponde a média de valores atuais de carbono nos últimos dois anos.

2.8. *Análise estatística*

Para verificar a presença de variação nos teores de carbono entre os compartimentos da serrapilheira (folhas, galhos e miscelânea), os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA One-Way), sendo utilizado o teste de Tukey. Em seguida, para verificar a presença de variação na correlação entre as variáveis climáticas e os teores de carbono dos compartimentos foi utilizada análise de correlação ranqueada de Spearman. Todas as análises foram realizadas no software R (R development Core Team, 2023), com um valor de significância adotado de $\alpha = 0.05$.

2.9. *Variáveis climáticas*

Para avaliar a influência de fatores abióticos (clima) na deposição de serrapilheira foi instalada em área de clareira na Floresta Nacional do Araripe-Apodi, uma Estação Meteorológica Digital Completa (HM-1080), onde dados referentes à temperatura, umidade relativa do ar e precipitação foram coletados e mensurados, obtendo-se média mensal.

Fig. 4. Instalação da estação meteorológica



Fonte: O autor

3. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Fabricio Napoleao et al. Floristic and structural composition of a cerrado and caatinga transition are in rural settlement in the municipality of Milton Brandão-PI, Brazil. **Scientia Forestalis**, n. 122, p. 203-215, 2019.

ANDRIANI, M. S. et al Fitossociologia da vegetação arbórea em ecótono de floresta estacional decidual-cerrado rupestre, Jandaia, GO. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 17, n. 33, p. 257-270, 2020.

ANJALI, K., KHUMAN, Y., SOKHI, J., 2020. A Review of the interrelations of terrestrial carbon sequestration and urban forests. **AIMS Environmental Science** 7 (6), 464–485

APG IV. Na update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 181: 1– 20, 2019.

BASTIN, Jean-François et al., The extent of forest in dryland biomes. **Science**, v. 356, n. 6338, p. 635-638, 2017.

BENÍCIO, R.M.A et al., Estoque e sequestro de carbono como forma de pagamento por serviços ambientais em um refúgio de floresta úmida de bacia sedimentar no semiárido brasileiro. **Desenvolvimento Ambiental**, v.45 , 100796, 2022.

BROWN, Sandra; GILLESPIE, Andrew JR; LUGO, Ariel E. Métodos de estimativa de biomassa para florestas tropicais com aplicações a dados de inventário florestal. **Ciência florestal** , v. 35, n. 4, pág. 881-902, 1989.

CALIXTO, Júnior et al. Structure and spatial distribution of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. in two caatinga fragments in Pernambuco. **Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 95-100, 2011.

CASTRO, Elmar Andrade; KAUFFMAN, J. Boone. Estrutura do ecossistema no Cerrado brasileiro: um gradiente de vegetação de biomassa aérea, massa radicular e consumo pelo fogo. **Journal of tropical ecology** , v. 14, n. 3, pág. 263-283, 1998.

CERQUEIRA, Clebson Lima et al. Florística, fitossociologia e distribuição diamétrica em um remanescente de Cerrado sensu stricto, Brasil. **Espacios**, v. 38, n. 23, p. 13, 2017.

CHAN, K.M.A., ANDERSON, E.K., CHAPMAN, M., JESPERSEN, K., OLMSTED, P., 2017. Payments for ecosystem services: rife with problems and potential for transformation towards sustainability. **Ecol. Econ.** 140, 110–12

CIENTEC (Consultoria e desenvolvimento de sistemas). **Sistema para análise fitossociológica e elaboração dos planos de manejo de florestas nativas**. Viçosa, MG, 2006. 295 p.

COSTA, Itayguara Ribeiro da; ARAÚJO, Francisca Soares de. Community organization of cerrado sensu stricto within the Caatinga Biome, Araripe plateau, Barbalha Municipality, Ceará. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, p. 281-291, 2007.

DA COSTA GAMA, Rafaella 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.

DE QUEIROZ, Luciano Paganucci et al., Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**, p. 23-63, 2017.

EMBRAPA, 2008. Estoques de carbono do estrato arbóreo de cerrados no pantanal da Nhecolândia. Corumbá, MS, vol. 68. Embrapa; Comunicado Técnico n.

EMBRAPA, 2018. In: Brasília (Ed.), Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. DF: Embrapa.

FAJARDO, Ana Milena Plata; TIMOFEICZYK JUNIOR, Romano. Avaliação financeira do sequestro de carbono na Serra de Baturité, Brasil, 2012. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 391-399, 2015.

FELFILI, Jeanine Maria et al. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa-MT. **Acta botanica brasilica**, v. 16, p. 103-112, 2002.

FERNANDES, Tarcísio José Gualberto et al., Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. **Revista Árvore**, v. 31, p. 657-665, 2008.

FERREIRA, Maurício Lamano et al., Produção e decomposição de serrapilheira num fragmento de floresta secundária Atlântica de São Paulo, sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 591-600, 2014.

FERREIRA, Maurício Lamano; UCHIYAMA, Elizabete Akemi. Avaliação da serrapilheira em um fragmento de floresta tropical secundária, Ibiúna, SP, sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 39, p. 791-799, 2015.

FRANCOSO, Renata D. et al. Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1477-1500, 2020.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário chuvoso. <http://www.funceme.br/> (Accessed 18 February 2023).

GIÁCOMO, Rômulo Guimarães et al. Florística e fitossociologia em áreas de Cerradão e Mata Mesofítica na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 287-298, 2015.

GIWETA, Mekonnen. Papel da produção de serrapilheira e sua decomposição e fatores que afetam os processos em um ecossistema de floresta tropical: uma revisão. **Revista de Ecologia e Meio Ambiente**, v. 44, n. 1, pág. 11 de 2020.

GOLDIN, Alan. Reassessing the use of loss on ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.

HAMMER, O. et al. Paleontological Statistic software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletrônica**, 4: 1-9, 2011.

HERR, Dorothée; PIDGEON, Emily; LAFFOLEY, D. d'A. **Blue carbon policy framework 2.0: based on the discussion of the International Blue Carbon Policy Working Group**. IUCN, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2023. Normas Climatológicas do Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. Accessed. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=>. (Accessed 27 January 2022).

KUNZ, Sustanis Horn; IVANAUSKAS, Natália Macedo; MARTINS, Sebastião Venâncio. Estrutura fitossociológica de uma área de cerradão em Canarana, Estado do Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 31, n. 3, p. 255-261, 2009.

LIBANO, Andrea Marilza; FELFILI, Jeanine Maria. Temporal changes in floristic composition and diversity of cerrado "sensu stricto" in Central Brazil over 18 years (1985-2003). **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 927-936, 2006.

LIMA, Mauro Ferreira et al., Mapeamento e demarcação da Floresta Nacional do Araripe. **Fortaleza: IBDF/FCPC/UFC**, 1983.

LIN, Hanzhi et al., The fate of photons absorbed by phytoplankton in the global ocean. **Science**, v. 351, n. 6270, p. 264-267, 2016.

LOIOLA, Maria Iracema Bezerra et al., Flora da Chapada do Araripe. **Sociobiodiversidade na Chapada do Araripe**, v. 1, p. 103-148, 2015.

LOPES, Rosimeire Batista; MIOLA, Deise Tatiane Bueno. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. **SYNTHESIS| Revistal Digital FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 127-143, 2010.

MACEDO, W. de S.; DA SILVA, L. S.; ALVES, A. R.; MARTINS, A. da R. Análise do componente arbóreo em uma área de ecótono Cerrado-Caatinga no sul do Piauí, Brasil. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2019.

MAGURRAN, A. E. Ecological Diversity and its measurement. **Princeton**, Newjersey, p. 179, 1988.

MEIRA, A. C. S. et al. Estimativas de biomassa e carbono em área de Mata Atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto. **Biofix Scientific Journal** v. 5 n. 1 p. 130- 134 2020.

MOLTHAN-HILL, Petra et al., Climate change education for universities: A conceptual framework from an international study. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 1092-1101, 2019.

MORO, Marcelo Freire et al. Vegetation, phytoecological regions and landscape diversity in Ceará state, northeastern Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, p. 717-743, 2015.

MUELLER-DOMBOIS, D. ELLEMBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: **John Wiley**. 1974.

OTTO, Daniel et al., Can MOOCs empower people to critically think about climate change? A learning outcome based comparison of two MOOCs. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, p. 12-21, 2019.

PINHEIRO, Evelyn Dias; DE SOUZA PEIXOTO, Erica; FINA, Bruna Gardenal. Florística e fitossociologia de um remanescente de cerradão, Aquidauana–MS. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 103413-103428, 2020.

PÖRTNER, Hans-O. et al., **Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability**. Geneva, Switzerland:: IPCC, 2022.

SALATI, Eneas. Emissão x seqüestro de CO₂—uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. **Anais do Seminário emissão x sequestro de CO₂—uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**, p. 15-37, 1994.

SANCHES, Luciana et al. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 183-189, 2009.

SOUZA, Francisca Graciele Leite Sampaio de et al. Flora of Ceará, Brasil: Passifloraceae ss. **Rodriguésia**, v. 72, p. e01222020, 2021.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3^a Ed.: Pearson Makron Books, 2006. 643p.

VERLY, Otávio Miranda et al. Caracterização florística e fitossociologia de um fragmento de Cerradão em Cáceres, Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, 2020.

WATZLAWICK, L.F., EBLING, A.A., RODRIGUES, A.L., VERES, Q.L., LIMA, A.M., 2011. Variação nos Teores de Carbono Orgânico em Espécies Arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente** 8 (3), 248–258

4. RESULTADOS

4.1. Cap.1 Estrutura e diversidade de comunidade lenhosa de Cerradão (FLONA Araripe-Apodi, sul do Ceará)

RESUMO

A partir da caracterização fitossociológica e das diversidades alfa e beta de uma comunidade lenhosa de Cerradão (Savana Florestada) na Floresta Nacional do Araripe-Apodi (Crato, Ceará), área de relevante valor ecológico, cultural e de biodiversidade, objetivou-se maior entendimento sobre sua ecologia florestal para fins de manejo e conservação. Foram distribuídas dez parcelas de 20 x 50 m (1 ha) e mensurados todos os indivíduos arbustivo-arbóreos com $DAS \geq 3$ cm. Padrões estruturais e de diversidade alfa foram observados por meio do *software* Mata Nativa 2 e a similaridade com outras áreas no Brasil foi realizada por análise de agrupamento (UPGMA). Foram amostrados 1.253 indivíduos de 38 espécies e 26 famílias botânicas. A área basal foi 11,08 m²/ha e as espécies com maior valor de importância (IVI) foram: *Ocotea nitida*, *Byrsonima sericea* e *Casearia sylvestris*. O resultado da diversidade de Shannon (H') apontou 2,42 nats. ind.⁻¹ e a equabilidade de Pielou (J') foi 0,70, assemelhando-se a trabalhos em matas secundárias. A maioria das espécies (66%) apresentou índice de Payandeh superior a 1,0 indicando distribuição agregada. O estudo também apontou quantidade elevada de indivíduos de *Caryocar coriaceum* (pequi) mortos, o que está relacionado a fatores fenológicos em desequilíbrio e à exploração ilegal, mesmo em Unidade de Conservação Federal. Disparidades entre critérios de inclusão e a fragmentação dos habitats podem contribuir para os resultados de dissimilaridade entre esta área e outras no Brasil, aqui expostos. Medidas de conservação são apontadas para subsidiar ações de manejo florestal específicas e comunitárias.

Palavras-chave: Fitossociologia; Floresta Nacional do Araripe-Apodi; Savana Florestada.

ABSTRACT

Cerradão (Forested Savanna) in the Araripe-Apodi National Forest (Crato, Ceará), an area of relevant ecological, cultural and biodiversity value, the objective was to better understand its forest ecology for management and conservation purposes. Ten 20 x 50 m (1 ha) plots were distributed and all living shrubby-arboreal individuals with $DAS \geq 3$ cm were measured. Structural patterns and alpha diversity were observed using the software Mata Nativa 2 and similarity with other areas in Brazil was performed by cluster analysis (UPGMA). A total of 1,253 individuals of 38 species and 26 botanical families were sampled. The basal area was 11.08 m²/ha and the species with the highest value of importance (IVI) were: *Ocotea nitida*, *Byrsonima sericea* and *Casearia sylvestris*. The result of the Shannon diversity (H') was 2.42 nats. ind.⁻¹ and the Pielou equability (J') was 0.70, similar to studies with secondary forests. Most species (66%) had a Payandeh index greater than 1.0 indicating aggregate distribution. The study also showed a high number of dead *Caryocar coriaceum* (pequi) individuals, which is related to unbalanced phenological factors and illegal exploitation, even in a Federal Conservation Unit. Disparities between inclusion criteria and habitat fragmentation may contribute to the results of dissimilarity between this area and others in Brazil, shown here. Conservation measures are indicated to subsidize specific and community forest management actions.

Keywords: Phytosociology; Araripe-Apodi National Forest; Forested Savanna.

1. INTRODUÇÃO

Florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) compreendem um bioma globalmente extenso, configurando sua presença em cinco continentes, ocupando uma área de aproximadamente 3,3 milhões de km² das terras secas, dos quais 45% estão localizados dentro da América do Sul (BASTIN et al., 2017). Nas Américas, as FTSS se estendem da América Central ao norte da Colômbia, norte da Venezuela, norte da Argentina, oeste do Paraguai, leste da Bolívia e nordeste do Brasil (QUEIROZ et al., 2017). A maior extensão dessas FTSS está localizada no bioma caatinga, no Nordeste brasileiro.

Atualmente, os remanescentes da Caatinga correspondem a mais da metade da vegetação original, sendo, no entanto, a maior parte floresta de sucessão secundária (ANTONGIOVANNI et al., 2018). Essas eco regiões vêm contendo uma histórica ameaça de perturbação antrópica, o que pode levar à perda da biodiversidade e à redução dos serviços ecossistêmicos (ANDRADE et al., 2020). Áreas de Cerradão e Cerrado são as principais inseridas nesses remanescentes. Conforme Sano et al. (2019), a importância de sua preservação ocorre por conta da sua imensa riqueza em biodiversidade e dos altos níveis de endemismo.

O Cerrado é uma das áreas que mais sofre com queimadas, de acordo com o projeto “MapBiomias” de 2021, apenas no século XXI (2000-2019), 17,5% da área do país já foram vitimadas por incêndios, sendo 41% destas áreas pertencentes ao Cerrado.

O Cerrado no Nordeste possui aspectos que os torna bastante diferentes dos demais domínios fitogeográficos savânicos encontrados no restante do Brasil (ANDRADE et al., 2019), pois sua localização é marginal em relação ao Cerrado central (MACEDO et al., 2019). A nítida diversidade e o alto endemismo de espécies vegetais eleva o nível do Cerrado como um patrimônio genético natural, de grande relevância para a conservação da biodiversidade brasileira e mundial (FRANÇOSO et al., 2020).

Estudos florísticos, fitossociológicos e fitogeográficos no Brasil, especificamente no Nordeste, tem se tornado cada vez mais importantes, principalmente para avaliar a diversidade das áreas e entre áreas. Trabalhos como o de Libano e Felfili (2006); Costa e Araújo (2007); Calixto Júnior e Drumond (2011), Moro et al., (2015), Calixto Júnior et al. (2021) e Souza, Silva e Loiola (2021), contribuem para isto.

A Chapada do Araripe é um acidente geográfico e sítio paleontológico de relevante valor ecológico localizado entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, na região semiárida do Nordeste brasileiro (bioma Caatinga), com intensa diversidade fossilífera, de fauna e vegetal em distintas fitofisionomias (Silva et al., 2022). A heterogeneidade fisionômica aponta a presença de savana (Cerrado *sensu stricto* e Cerradão), Floresta Estacional Sempre-Verde (Mata

úmida) e Savana Estépica (Carrasco) (Loiola et al., 2015), abrigando em seus domínios uma Floresta Nacional (FLONA Araripe-Apodi), uma Área de Proteção Ambiental (APA) e um Geoparque. A Chapada do Araripe é classificada como uma área de extrema importância por abrigar testemunhos de antigas faunas e floras, de inestimável valor científico e reconhecida mundialmente por seu diversificado conteúdo fossilífero e preservação excepcional (SANTOS et al., 2020). No entanto, estudos sobre a estrutura de suas comunidades vegetais, nas suas diferentes fitofisionomias, não são suficientes e faltam informações de interesse aos planos de manejo nas áreas protegidas por unidades de conservação, como a FLONA Araripe-Apodi (Floresta Nacional do Araripe-Apodi), que apresenta cerca de 39 mil hectares de extensão.

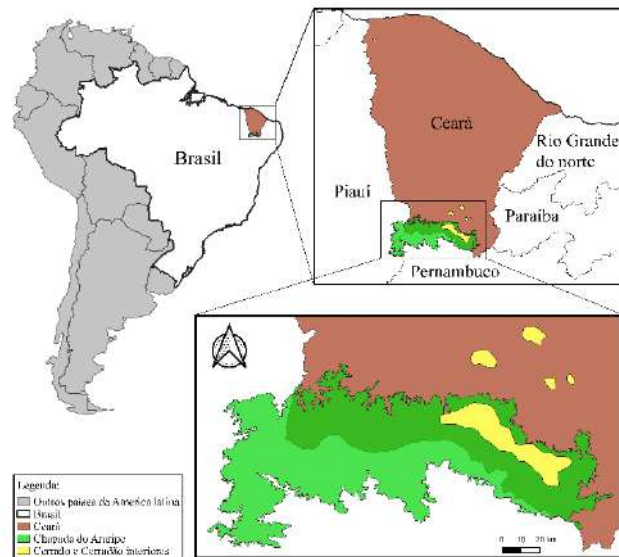
Neste sentido, este trabalho objetivou responder ao que segue: I) Qual o estágio de sucessão ecológica da área de Cerradão da FLONA, quando observada a sua estrutura diamétrico/hipsométrica? II) Os valores de diversidade alfa apontam para a necessidade de tomadas de decisões específicas no plano de manejo? III) Qual o grau de dissimilaridade florística da área quando comparada a outras áreas de Cerrado (disjuntas ou *core*) no Brasil?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada em uma área de Cerradão (savana florestada) na FLONA Araripe-Apodi (Floresta Nacional do Araripe–Apodi), localizada na Chapada do Araripe, município de Crato (7°14'55.31"S 39°29'43.49"O, 960 m), sul do Estado do Ceará. A FLONA foi criada através do decreto nº 9.226 de 02 de maio de 1946, sendo a primeira do Brasil, com uma área de 38.968 ha.

Figura 1: Localização da área de estudo – Cerradão na Floresta Nacional do Araripe – APODI.



Fonte: Autores (2023)

A área de Cerradão estudada apresenta uma vegetação formada por maciços intercalados por grandes clareiras. Estes maciços apresentam árvores tortuosas de médio e pequeno portes, bastante esgalhados, com cascas rugosas e fendilhadas e um sub-bosque arbustivo denso (LIMA, 1983). Essa área apresenta em seu histórico de uso um nível de preservação considerado alto, sem ocorrências de grandes devastações por incêndios ou cortes, e possui 10.618,75 ha, cerca de 27,5% da área total desta Unidade de Conservação (COSTA e ARAÚJO, 2007).

2.2 Coleta e tratamento de dados

Conforme Mueller-Dumbois e Ellenberg (1974) foram plotadas 10 parcelas permanentes, medindo 1000 m² (20m x 50m) o que equivale a 1 ha, escolhidas de forma sistemática, com espaçamento de 60m entre parcelas. O inventário foi realizado entre os meses de fevereiro e maio de 2022 (período chuvoso na região).

Por meio de suta foram mensuradas todas as árvores e arbustos vivos com DAS (diâmetro à altura do solo) ≥ 3 cm, assim como estimadas as alturas totais dos indivíduos por meio de haste telescópica graduada.

As identificações foram realizadas após coleta do material botânico por comparação com exsicatas do Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL) da Universidade Regional do Cariri (URCA). De forma *on-line*, consultas foram realizadas em bases de dados da plataforma REFLORA, Lista de Espécies da Flora do Brasil (2023) para validação dos nomes das espécies, exclusão de sinônimas e correto uso da grafia e autoria das espécies. A lista florística foi ordenada de forma alfabética por família e fundamentada no Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2019).

2.3 Análise fitossociológica e de diversidade alfa

Para os parâmetros fitossociológicos utilizou-se o *software* Mata Nativa 2 (CIENTEC, 2006) que possibilitou a análise de parâmetros gerais da comunidade: densidade total, área basal, alturas e diâmetros e parâmetros relativos às espécies: densidade relativa (DR), frequência relativa (FR), dominância absoluta relativa (DoR), índice de valor de cobertura (VC) e índice de valor de importância (VI), assim como análise da diversidade alfa. Para essa análise foram calculados o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H'), em base logarítmica neperiana, o índice de equabilidade de Pielou (J') e o índice de concentração de Simpson (C'), que permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre todas as espécies existentes (MAGURRAN, 1988). Foi aplicado o teste T de Student para a observação do grau de significância entre as médias com o erro de aceitação de no máximo 0,05 (5%).

2.4 Similaridade (diversidade beta)

Com o objetivo de identificar a similaridade florística da área estudada com outros levantamentos realizados em áreas de Cerrado e Cerradão foi elaborada uma matriz de presença/ausência de espécies identificadas em outros nove levantamentos em Estados brasileiros distintos: Kunz (2009) no município de Canarana; Verly et al. (2020) em Cáceres e Felfili et al. (2002) no município de Água Boa, todos no Estado de Mato Grosso; Gama et al. (2018) em Formoso do Araguaia, Tocantins; Giácomo et al., (2015) em Pirapitinga, Minas Gerais; Pinheiro (2020) em Aquidauana, Mato Grosso do Sul; Adriani et al. (2020) em Jandaia, Goiás; Cerqueira et al. (2017) em Jaborandi, Bahia e Costa e Araújo (2007), na Chapada do Araripe, município de Barbalha, Estado do Ceará.

A comparação foi realizada por meio do índice similaridade de Jaccard (J') que expressa a semelhança entre os ambientes baseando-se no número de espécies comuns. A matriz de similaridade florística resultante foi utilizada na análise de agrupamentos pelo método de médias aritméticas não ponderadas (UPGMA) e pela geração de um dendrograma, utilizando-se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade, através do *software* PAST v. 3.23 1999-2019 (HAMMER et al., 2011).

3. RESULTADOS E DISCURSÃO

3.1 Parâmetros fitossociológicos, composição florística e diversidade alfa

Foram amostrados 1253 indivíduos arbustivo-arbóreos pertencentes a 38 espécies e distribuídas em 32 gêneros e 26 famílias botânicas. As famílias mais representativas em relação ao número de espécies foram: Fabaceae (sete), Salicaceae (três) e Malpighiaceae, Lauraceae, Myrtaceae e Chrysobalanaceae (duas), o que corresponde a 46% do total estudado. Estudos realizados em áreas de Cerrado no Piauí (municípios de Brasileira e Piracuruca) (HAIDAR, 2007) e em Jaborandi, Bahia (OLIVEIRA et al., 2015) apontam para resultados semelhantes aos deste estudo.

A florística não apontou gêneros com grande representatividade de espécies, sendo os principais: *Casearia* (3 spp.) e *Byrsonima*, *Hirtella*, *Myrcia* e *Ocotea* (2 spp.). Resultados similares podem ser observados em estudos realizados no cerrado de Minas Gerais (GIÁCOMO, 2015) e em Barbalha, Ceará, em fitofisionomia de cerradão e com grande proximidade geográfica a área deste trabalho (COSTA e ARAÚJO, 2007).

Ocotea nitida, *Byrsonima sericea* e as duas espécies de *Casearia*: *C. sylvestris* e *C. javitensis* e *Copaifera langsdorffii* se destacam como as de maior índice de valor de importância (IVI), representando 62,74% do total (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros fitossociológicos observados na área de Cerradão na Floresta Nacional do Araripe em Crato – Ceará.

Taxon	Habito	N	BA	RD	RF	RDo	CVI	IVI
<i>Ocotea nitida</i> Meins. (Lauraceae)	Shr./Tr.	322	2.931	25.7	5.75	26.44	52.139	57.886
<i>Byrsonima sericea</i> D.C (Malpighiaceae)	Shr./Tr.	98	4.48	7.82	5.75	40.41	48.235	53.982
<i>Casearia sylvestris</i> S.W (Salicaceae)	Shr./Tr.	379	0.6654	30.25	5.75	6	36.25	41.997
<i>Casearia javitensis</i> Kunth (Salicaceae)	Shr./Tr.	134	0.3935	10.69	5.75	3.55	14.244	19.991
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. (Fabaceae)	Tr.	38	0.6195	3.03	5.75	5.59	8.621	14.368
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC. (Myrtaceae)	Shr./Tr.	64	0.2644	5.11	5.17	2.39	7.493	12.666
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl. (Ochnaceae)	Tr.	36	0.2922	2.87	5.17	2.64	5.509	10.681
<i>Casearia grandiflora</i> Cambess. (Salicaceae)	Shr./Tr.	33	0.0795	2.63	5.75	0.72	3.351	9.098
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl. (Euphorbiaceae)	Tr.	27	0.1699	2.15	5.17	1.53	3.687	8.86
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth (Fabaceae)	Shr./Tr.	8	0.2432	0.64	2.87	2.19	2.833	5.706
<i>Terminalia actinophylla</i> Mart. (Combretaceae)	Tr.	6	0.092	0.48	3.45	0.83	1.308	4.757
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Simaroubaceae)	Tr.	6	0.1016	0.48	2.87	0.92	1.396	4.269
<i>Myrcia sylvatica</i> (G.Mey.) DC. (Myrtaceae)	Shr./Tr.	9	0.008	0.72	3.45	0.07	0.791	4.239
<i>Parkia platycephala</i> Benth. (Fabaceae)	Tr.	5	0.0957	0.4	2.87	0.86	1.263	4.136
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth) Ducke (Fabaceae)	Shr./Tr.	4	0.1531	0.32	2.3	1.38	1.7	3.999
<i>Qualea parviflora</i> Mart. (Vochysiaceae)	Shr./Tr.	6	0.0296	0.48	2.87	0.27	0.746	3.62
<i>Erythroxylum barbatum</i> O.E.Schulz (Erythroxylaceae)	Shr./Tr.	8	0.0108	0.64	2.87	0.1	0.736	3.609
<i>Chrysophyllum arenarium</i> Allemão (Sapotaceae)	Shr.	11	0.0252	0.88	2.3	0.23	1.105	3.404

<i>Hirtella ciliata</i> Mart. & Zucc. (Chrysobalanaceae)	Shr./Tr.	7	0.0483	0.56	2.3	0.44	0.994	3.293
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand (Burseraceae)	Shr./Tr.	5	0.0382	0.4	2.3	0.35	0.744	3.043
<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul. (Fabaceae)	Tr.	5	0.024	0.4	2.3	0.22	0.616	2.915
<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel (Apocynaceae)	Tr.	4	0.0253	0.32	2.3	0.23	0.547	2.846
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth. (Fabaceae)	Shr./Tr.	5	0.0073	0.4	1.72	0.07	0.465	2.189
<i>Hirtella racemosa</i> Lam. (Chrysobalanaceae)	Shr./Tr.	3	0.0032	0.24	1.72	0.03	0.268	1.993
<i>Matayba guianensis</i> Aubl. (Sapindaceae)	Shr./Tr.	7	0.0191	0.56	1.15	0.17	0.731	1.88
<i>Lepidaploa remotiflora</i> (Rich.) H.Rob. (Asteraceae)	Shr.	6	0.0204	0.48	1.15	0.18	0.663	1.812
<i>Anacardium occidentale</i> L. (Anacardiaceae)	Tr.	2	0.0265	0.16	1.15	0.24	0.399	1.549
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul (Moraceae)	Shr./Tr.	1	0.0855	0.08	0.57	0.77	0.851	1.426
<i>Cordia bicolor</i> A.DC. (Boraginaceae)	Tr.	2	0.0126	0.16	1.15	0.11	0.273	1.422
<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex Schmidt) (Nyctaginaceae)	Shr./Tr.	2	0.0041	0.16	1.15	0.04	0.196	1.346
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy (Hypericaceae)	Shr./Tr.	2	0.0039	0.16	1.15	0.04	0.195	1.344
<i>Caryocar coriaceum</i> Wittm. (Caryocaceae)	Tr.	1	0.0755	0.08	0.57	0.68	0.761	1.335
<i>Byrsonima gardneriana</i> A. Juss (Malpighiaceae)	Shr./Tr.	2	0.0208	0.16	0.57	0.19	0.347	0.922
<i>Ocotea fasciculata</i> (Nees) Mez (Lauraceae)	Shr./Tr.	1	0.0113	0.08	0.57	0.1	0.182	0.757
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud. (Melastomataceae)	Shr./Tr.	1	0.0013	0.08	0.57	0.01	0.091	0.672
<i>Xylopia frutescens</i> Aubl. (Annonaceae)	Shr./Tr.	1	0.002	0.08	0.57	0.02	0.098	0.666
<i>Senna rugosa</i> (G.Don) H.S.Irwin & Barneby (Fabaceae)	Shr./Sub.	1	0.0007	0.08	0.57	0.01	0.086	0.661
<i>Cordia myrciifolia</i> (K.Schum.) C.H.Perss. & Delprete (Rubiaceae)	Shr.	1	0.0007	0.08	0.57	0.01	0.086	0.661
		1253	11.0853	100	100	100	200	300

Fonte: Autores (2022)

Onde: **N** = Número de espécies; **AB** = Área Basal; **DR** = Densidade Relativa; **FR** = Frequência Relativa; **DoR** = Dominância Relativa; **VC** = Índice de valor de cobertura; **VI** = Índice de Valor de Imporência; **Tree** = Árvore

O. nitida, *B. sericea*, *C. sylvestris*, *C. javitensis*, *C. langsdorffii* e *C. grandiflora* estiveram presentes em 100% das parcelas estudadas. Quanto a área basal, *O. nitida* e *B. sericea* foram as que apresentaram resultados mais expressivos quando comparados às outras espécies. *C. sylvestris* foi a de maior densidade relativa e *B. sericea*, a que apresentou maior dominância relativa. *C. sylvestris* foi ainda a espécie que se apresentou mais amplamente distribuída na área. Ela apresenta floração e frutificação durante todo o ano e é típica de áreas de Cerrado e Cerradão no Brasil.

As espécies de maior IVI observadas na área têm grande destaque no setor madeireiro e fitoquímico, sendo necessária a discussão de suas importâncias ecológicas para uma melhor uniformidade na preservação e plano de manejo.

O. nitida, espécie endêmica do Brasil e de maior IVI neste estudo, é facilmente encontrada no nordeste brasileiro, florescendo entre setembro e dezembro (FLORA E FUNGA DO

BRASIL, 2023), despertando interesse fitoquímico e sendo também procurada pela indústria madeireira. *B. sericea* tem importante função ecológica, já que seus frutos e flores atraem polinizadores e dispersores, favorecendo a regeneração de outras espécies nativas (TEIXEIRA e MACHADO, 2000). *C. sylvestris*, que também é distribuída de forma homogênea por quase todo o Brasil (FLORA E FUNGA BRASIL, 2023), apresenta importância devido a sua composição, havendo diversos estudos apontando a eficiência de sua atividade antioxidante (SANTOS et al., 2009).

O plano de manejo da Floresta Nacional do Araripe, elaborado no ano de 2004, propõe a divisão por zoneamento de sua área, tendo como principais zonas: I) Zona de conservação; II) Zona de Recuperação; III) Zona de Uso Público; IV) Zona de Manejo Florestal; V) Zona de Uso Conflitante (Plano de Manejo – FLONA/ARARIPE, 2004). Em áreas como esta, torna-se fundamental a atualização das medidas de planejamento e de preservação, já que comunidades tradicionais de suas áreas adjacentes garantem a sobrevivência com atividades extrativistas dentro do espaço florestal, tornando assim necessárias estratégias para preservação da biodiversidade e equilíbrio para o uso do homem (ALVES, BEZERRA e MATIAS, 2011). Portanto, o conhecimento da ecofisiologia e fenologia das espécies de alto índice de importância na comunidade, como as supracitadas, se torna um fator determinante para a conservação da área, por permitir reduzir impactos e assegurar maior equilíbrio.

Foi observada quantidade elevada de indivíduos mortos (32) de pequizeiro (*Caryocar coriaceum*), distribuídos em 70% das parcelas. Isso pode ser explicado por sua alta exploração, realizada ainda de forma extrativista e com intensidade na área, principalmente no período das chuvas e durante a safra. O pequi representa uma fonte de renda extra para o agricultor local, porém, poucas são as informações disponíveis sobre corretas estratégias de manejo da espécie na região, o que gera um efeito negativo para a melhoria do sistema atual de exploração, o que afeta, dentre outras bases, o surgimento de empreendimentos agroindustriais racionais (OLIVEIRA et al., 2008). A fenologia de *C. coriaceum* aponta a espécie como semidecídua, com redução parcial das folhas durante todo o período seco da região. Em anos de índices pluviométricos elevados, a planta corresponde à irrigação, acelerando o crescimento e expondo um maior período de frutificação (SALVIANO et al., 2002).

A diversidade alfa indica e sugere uniformidade e compatibilidade com os demais estudos e que podem ser evidenciados por meio do índice de Shannon-Wiener (H'): 2,42; Equabilidade de Pielou (J') 0,70 e índice de concentração de Simpson (C'): 0,08.

O valor de H' se aproxima de estudos feitos áreas de Cerrado e Cerradão no Nordeste Brasileiro, que variam de 2,58 até 3,21 nats ind⁻¹ (RODAL et al. 1998; COSTA e ARAÚJO 2007; CONCEIÇÃO e CASTRO 2009; CERQUEIRA et al. 2017; CALIXTO JÚNIOR, et al.,

2021), embora os resultados tenham se aproximado mais da região nordeste, alguns dados são extremamente semelhantes a áreas do Centro-Oeste como no Município de Poconé – Mato Grosso (2,30) (MORETTI et al., 2013) e Jaguariaíva – Paraná, Sul do Brasil (2,79) (UHLMANN, 1998), sendo assim, o índice está dentro dos parâmetros estudados por demais autores, mesmo com metodologias distintas.

O valor de (J'), proporciona uma boa paridade e se aproxima de resultados encontrados em uma área de Cerrado em Carolina – Maranhão (0,77) (MEDEIROS, 2008) e no Cerrado Central do Brasil (0,73) (FELFILI e SILVA, 1993), indicando uma conformidade de distribuição de indivíduos.

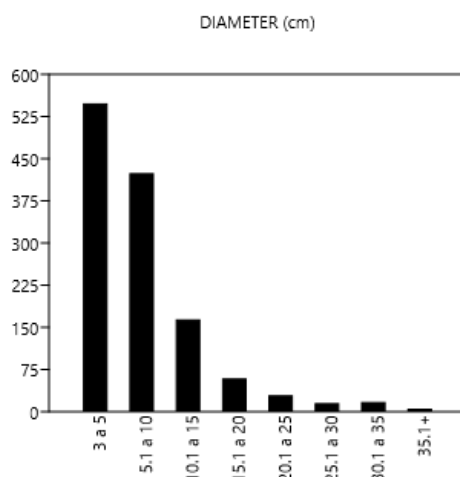
A maioria das espécies (66%) apresentou valores de agregação por meio do índice de Payandeh superior a 1,0, indicando distribuição espacial agregada ou com tendência ao agrupamento, tendo: *Casearia sylvestris*, *Lepidaploa remotiflora* e *Casearia javitensis* como as espécies fortemente agregadas. A distribuição das espécies na área estudada apresentou uma média de 125 indivíduos por parcela.

Os valores de diversidade alfa, apontam para uma área com espécies bem distribuídas, porém sem grandes representatividades e/ou danos ambientais, além disso, as espécies com maior IVI são as que mais se destacam em todas as análises, no entanto, é necessário aprofundamento no estudo do manejo florestal, já que, com isto, pode-se discutir questões de sustentabilidade da área, econômicas e ecológicas das espécies. O Manejo Florestal pode ser definido como o conjunto de ações em uma área florestal que visam obter de maneira continuada, produtos e serviços, mantendo a diversidade biológica local e regional (BRAND, 2017).

3.2 Distribuição diamétrica e hipsométrica

Os maiores diâmetros registrados foram de 89 cm, 73 cm, 61 cm, 44 cm, 35 cm e 34 cm em seis indivíduos de *Byrsonima sericea*. A média do diâmetro foi de 8,24 cm. Na primeira classe de diâmetro (Figura 2) foram observados 547 indivíduos (44%) (diâmetro entre 3 e 5 cm). Na segunda, 423 indivíduos (34%) (diâmetro entre 5.1 e 10cm) e na terceira, 163 indivíduos (13%) (diâmetro entre 10.1 e 15cm), constatando-se, que o maior número de indivíduos dentro do critério de inclusão na floresta está nas três primeiras classes diamétricas, o que configura um aspecto de “J” invertido.

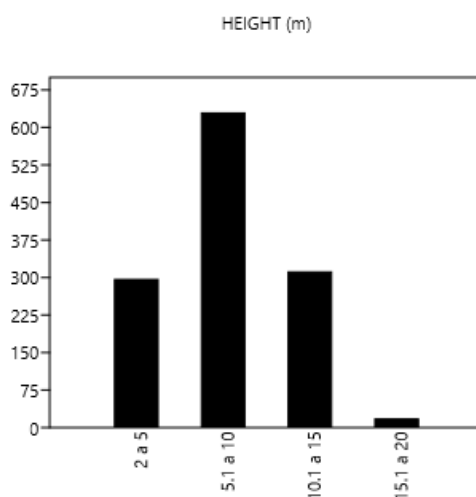
Figura 2: Distribuição dos indivíduos por classes diamétricas em área de Cerradão na Floresta Nacional do Araripe-Apodi, Crato, Ceará.



Fonte: Autores (2022)

A hipsometria apontou a maioria dos indivíduos nas classes intermediárias, com 629 indivíduos (50%) na segunda classe (5.1 até 10m); 311 indivíduos (25%) na terceira classe (10.1 até 15m); 296 indivíduos (24%) na primeira classe (2 até 5m) e 17 indivíduos (1%) foram observados na última classe (15.1 até 20m) (Figura 3). A maior altura foi observada em um indivíduo de *Copaifera langsdorffii*, com 20 metros. A média de altura da floresta foi de 8.35m.

Figura 3: Distribuição dos indivíduos por classes hipsométricas em área de Cerradão na Floresta Nacional do Araripe-Apodi, Crato, Ceará.



Fonte: Autores (2022)

Resultados semelhantes à média de diâmetro e altura foram encontrados por Saporetto Jr et.al. (2003) em Abaeté, Minas Gerais; Farias e Castro (2004) em Campo Maior no Piauí;

Ferreira et. al (2015) em Gurupi no Tocantins e Neto et al. (2016) em Dueré também em Tocantins.

Segundo Felfili (2003), a dinâmica da vegetação do Cerrado está ligada diretamente as estações climáticas. Apesar da área de Cerradão da Chapada do Araripe estar em área de proteção ambiental, diversos tipos de atividades antrópicas podem ser observados, como trilhas, exploração econômica de várias espécies como o pequi e caça. No entanto, os resultados de estrutura de diâmetro e da hipsometria observadas na área, que apontam para classes intermediárias, sugerem que a área esteja em estágio de sucessão secundária.

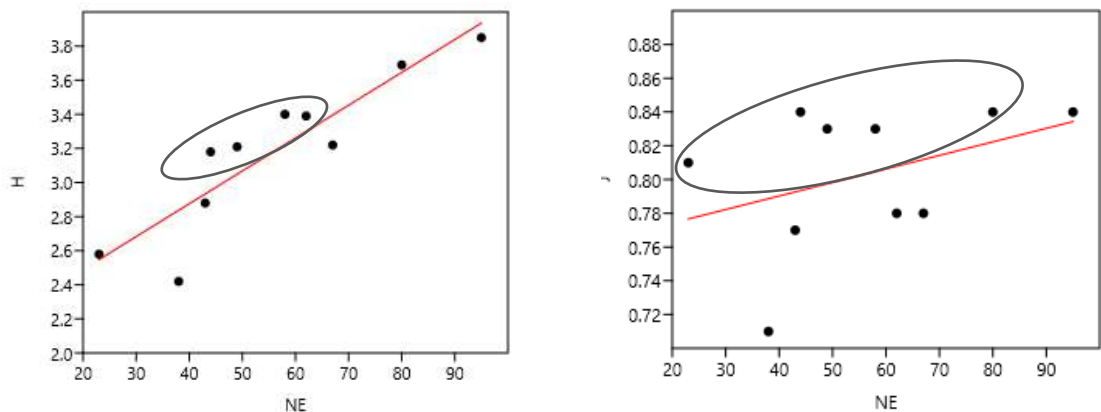
Pela fragmentação, e grande o espectro de outras áreas de cerrado e suas fitofisionomias no Brasil que se apresentam em estágio de sucessão secundária. Rezende (2002) debate em seu estudo que a vegetação do Cerrado mantém o seu equilíbrio quando comparado com a maioria das florestas tropicais por apresentar o processo dinâmico de sucessão e estar sempre em processo de recuperação da flora nativa.

3.3 Análise de similaridade

O resultado demonstra que área em questão se assemelha a resultados encontrados de outros estudos, principalmente em áreas de Cerrado e Cerradão no Nordeste e em Cerrado no Centro-Oeste do Brasil. Outro importante ponto, é que os resultados são mais semelhantes em áreas de proteção ambiental na qual não contém histórico de incêndio, desmatamento ou grandes interferências humanas, uma vez que o cerrado é uma região que sofre com grandes distúrbios e possui uma das mais altas taxas de desmatamento florestal, por apresentar um rápido crescimento das fronteiras agrícolas do Brasil, e essa tendência vem avançando ao longo do tempo (PAIVA, 2000).

Os índices de diversidade de Shannon (H') encontrados em outros levantamentos (Figura 4) variaram de 2,42 nats.ind⁻¹ (este estudo) até um máximo de 3,85 nats.ind⁻¹ em Canarana - Mato Grosso (KUNZ, 2009). A equabilidade de Pielou (J') (Figura 5) variou de 0.71 (este estudo) até 0.84 em Água Boa – Mato Grosso (FELFILI et al., 2002), Cárceres – Mato Grosso (VERLY et al., 2020) e em Canarana – Mato Grosso (KUNZ, 2009).

Figura 4 e 5: Diagrama de dispersão dos Índices de diversidade de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J') a sua relação com o número de espécies (NE), em diferentes levantamentos de cerrado s.s. e cerradão no Brasil. Os levantamentos utilizados constam na tabela 2.



Fonte: Autores (2022)

Mesmo com parâmetros metodológicos diferentes, os dados fitossociológicos comparativos fornecem subsídios para estudos relacionados à preservação e recuperação de áreas (IURK et al., 2009) (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação entre os parâmetros fitossociológicos do cerradão na Floresta Nacional do Araripe e outras áreas de cerrado s.s. e cerradão no Brasil.

Localização	NE	H'	J'	DT	BA	Metodologia	Referencia
A -Este estudo	38	2.42	0.71	1253	11.08	DAS $\geq$ 3cm/1h	<i>Este estudo</i>
B - Barbalha/CE	43	2.88	0.77	2224	19.20	DAS $\geq$ 3cm/1h	Costa & Araújo (2007)
C- Canarana/MT	95	3.85	0.84	2496	24.75	DAS $\geq$ 5cm/1h	Kunz (2009)
D- Formoso do Araguaia/TO	49	3.21	0.83	508	4.71	CAP $\geq$ 5cm/0.3h	Da Costa Gama <i>et al.</i> (2018)
E - Pirapitinga /MG	67	3.22	0.78	1716	22.10	CAS $\geq$ 16cm/1.1h	Giácomo <i>et al.</i> (2015)
F - Cáceres /MT	44	3.18	0.84	513	13.32	DAP $\geq$ 10cm/ 0.8h	Verly <i>et al.</i> (2020)
G- Aquidauana/MS	62	3.39	0.78	2566	*	CAP $\geq$ 10cm/3h	Pinheiro (2020)
H - Jandaia/GO	58	3.40	0.83	495	10.55	DAP $\geq$ 10CM/1h	Andriani <i>et al.</i> (2020)
I - Jaborandi/BA	23	2.58	0.81	196	2.72	CAP $\geq$ 12.5cm/0.4h	Cerqueira <i>et al.</i> (2017)
J - Água Boa/MT	80	3.69	0.84	995	7.50	DAS $\geq$ 5cm/1h	Felfili <i>et al.</i> (2002)

Fonte: Autores (2022)

Onde: **NE** = Número de Espécies; **H'**= Índice de Diversidade de Shannon. **J'** = Equabilidade, **DT** = Densidade; **AB** = Área basal. Metodologia; (*) não informado.

Na tabela de comparação de parâmetros, o número de espécies foi semelhante ao estudo em Pirapitinga (Minas Gerais) e Barbalha (Ceará) Costa e Araújo (2006), onde os resultados

mais se aproximam. É importante salientar que tanto os métodos amostrais quanto o tamanho da área foram semelhantes.

Os índices de similaridade florística (matriz de Jaccard) calculados a partir da matriz binária de presença/ausência de espécies da área de estudo e de outros nove levantamentos em diferentes estados do Brasil mostram uma alta diversidade beta e uma média/baixa semelhança entre as áreas (Tabela 3).

Tabela 3. Similaridade da matriz Jaccard para nove áreas florestais de Cerradão/Cerrado em diferentes regiões do Brasil.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0,22	1	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0,25	0,34	1	-	-	-	-	-	-	-
D	0,26	0,36	0,26	1	-	-	-	-	-	-
E	0,15	0,25	0,23	0,28	1	-	-	-	-	-
F	0,17	0,3	0,27	0,25	0,26	1	-	-	-	-
G	0,28	0,31	0,26	0,3	0,48	0,34	1	-	-	-
H	0,17	0,19	0,19	0,11	0,18	0,25	0,18	1	-	-
I	0,19	0,44	0,33	0,38	0,29	0,32	0,33	0,18	1	-
J	0,45	0,19	0,24	0,18	0,12	0,18	0,16	0,14	0,18	1

Fonte: Autores (2022)

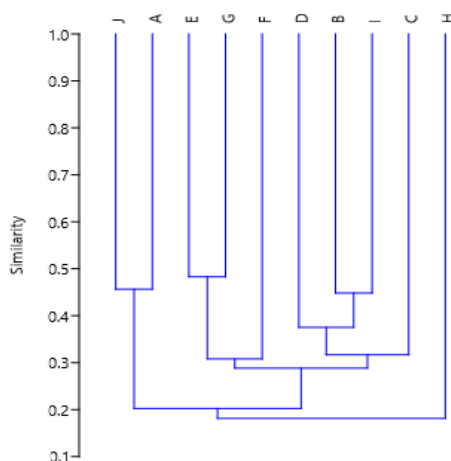
Essa similaridade média/baixa pode ser explicada por fatores climáticos por se tratar de diferentes regiões do Brasil, estado de conservação da área, se é ou não uma área em regeneração e por fatores metodológicos da própria análise, com levantamento de dados e critérios de inclusão.

Duas áreas apresentaram maior similaridade em número de espécies com a área de estudo, Barbalha, Ceará, de grande proximidade geográfica, porém, em área caracterizada como cerrado e a segunda, no município de Jandaia – Goiás.

A análise de similaridade evidenciou a formação de pelo menos 3 grupos: o grupo 1 (A e J) o grupo 2 (E, F, H e G) e o grupo 3 (D, B, I e C), conforme mostra o dendrograma (Figura 6). O grupo 1 é formado por uma área de Cerradão (este estudo) e uma de Cerrado em Barbalha – Ceará. O grupo 2 é formado por duas áreas de Cerradão, uma em Cárceres – Mato Grosso e outra em Aquidauana – Mato Grosso do Sul, uma área de Cerrado Rupestre em Jandaia – Goiás, e uma área de Cerrado em regeneração em Jaborandi – Bahia. O grupo 3 é formado por 2 áreas

de Cerradão, uma em Canarana – Mato Grosso e outra em Pirapitinga – Minas Gerais e duas áreas de Cerrado, uma em Água Boa – Mato Grosso e outra em Formoso do Araguaia – Tocantins. (Figura 6)

Figura 6. Dendrograma gerado pelo índice de similaridade de Jaccard entre nove áreas em 7 estados diferentes.



Fonte: Autores (2022)

O dendrograma informa que os valores de similaridade variam entre 0.11 e 0.45 o que demonstra uma similaridade baixa. De acordo com Felfili et al. (2011) 0,5 é um valor limite inferior para indicar baixa semelhança florística entre áreas. Os grupos formados são de regiões próximas uns dos outros o que pode indicar que o fator regional seja um importante meio de diferença entre eles.

A importância de estudos como este e de suas comparações servem como ponte para novos estudos e para estratégias de manejo e conservação da biodiversidade local, a área de Cerradão na Chapada do Araripe em questão mesmo estando em equilíbrio sem grandes danos, precisa de melhores medidas de conservação, tanto para que o meio ambiente permaneça protegido com sua flora local intacta, quanto para o homem e seu uso.

Dentre as principais medidas de conservação que podem ajudar neste processo de preservação estão as políticas ambientais no auxílio de tomada de decisões da área e seus afins, pois, para o olhar socioambiental, as modificações resultantes da interação entre os seres humanos e a natureza nem sempre são nefastas; podem muitas vezes ser sustentáveis, propiciando, não raro, um aumento da biodiversidade pelo tipo de ação humana ali exercida. (CARVALHO, 2004).

4. CONCLUSÃO

Os padrões estruturais, com a maioria dos indivíduos nas classes diamétricas hipsométricas primárias e intermediárias, apontam para uma comunidade em estágio de sucessão ecológica secundária.

A diversidade beta apresenta alta heterogeneidade e baixos valores de similaridade florística, indicando maior similaridade com uma área de maior proximidade geográfica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Regional do Cariri (URCA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) em Crato por todo suporte durante a pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, C. C. E.; BEZERRA, L. M. A.; DA COSTA MATIAS, A. C. A importância da conservação/preservação ambiental da Floresta Nacional do Araripe para a região do Cariri–Ceará/Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-10, 2011.

ANDRADE, F.N., LOPES, J.B., BARROS, R.F.M., LOPES, C.G.R., SOUSA, H.S., Composição florística e estrutural de uma área de transição entre cerrado e caatinga em assentamento rural no município de Milton Brandão-PI, Brasil. **Scientia Forestalis**. v. 47, p. 203- 215, 2019.

ANDRADE, E. M.; GUERREIRO M. S.; PALÁCIO, Q.; CAMPOS, D. A. Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 27, n. 2019, p. 100649, 2020.

ANDRIANI, M.; SOUZA, A. P.; SILVA, G.; BORGES, P.; GUILHERME, F. A. Fitossociologia da vegetação arbórea em ecótono de floresta estacional decidual-cerrado rupestre, Jandaia, GO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 33, 2020.

ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 8, p. 1353– 1367, 2018.

APG IV. Na update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 181: 1– 20, 2019.

BASTIN, J. F. BERRAHMOUNI, N.; GRAINGER, A.; MANIATIS, D.; MOLLICONE, D.; MOORE, R.; PATRIARCA, C.; PICARD, N.; SPARROW, B.; ABRAHAM, E. M.; ALOUI, K.; ATESOGU, A.; ATTORE, F.; BASSÜLLÜ, C.; BEY, A.; GARZUGLIA, M.; GARCÍA-MONTEIRO, L. G.; GROOT, N.; GUERIN, G.; LAESTADIUS, L.; LOWE, A. J.; MAMANE, B.; MARCHI, G.; PATTERSON, P.; REZENDE, M.; RICCI, S.; SALCEDO, I.; SANCHEZ-PAUS DIAZ, A.; STOLLE, F.; SURAPPAEVA, V.; CASTRO, R. The extent of forest in dryland biomes. **Science**, v. 356, n. 6338, p. 635–638, 2017.

BRAND, M. A. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 117-127, 2017.

CARVALHO, I. C. M. **Educação ambiental**: a formação do sujeito ecológico. São Paulo: Cortez, 2004.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A.; ALVES JÚNIOR, F. T. "Estrutura e distribuição espacial de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. em dois fragmentos de Caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, 2011.

CERQUEIRA, C. L.; LISBOA, G. D. S.; STEPKA, T.; FRANÇA, L. D. J.; FONSECA, N. C.; ABREU, Y. K. L.; SANTOS, J. D. Florística, fitossociologia e distribuição diamétrica em um remanescente de Cerrado sensu stricto, Brasil. **Espacios**, v. 38, n. 23, p. 13, 2017.

CIENTEC_CONSULTORIA E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS. **Software Mata Nativa 2**: Sistema para Análise Fitossociológica, Elaboração de Inventários e Planos de Manejo de Florestas Nativas. Viçosa: Cientec, 2006. 295 p.

COSTA, I. R. D.; ARAÚJO, F. S. D. Organização comunitária de um enclave de cerrado sensu stricto no bioma Caatinga, chapada do Araripe, Barbalha, Ceará. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, p. 281-291, 2007.

DA COSTA GAMA, R.; SANTANA, T.T.C.; SILVA, T. G. C.; ANDRADE, V. C. L.; SOUZA, P. B. 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.

DA CONCEIÇÃO, G. M., CASTRO, A. A. J. F. Fitossociologia de uma área de cerrado marginal, Parque Estadual do Mirador, Mirador, Maranhão. **Scientia Plena**, v. 5, n. 10, 2009.

DA SILVA, L. V. A., ARAÚJO, I. F., BENÍCIO, R. M. A., DA SILVA, A., CRUZ, G. V., FABRICANTE, J. R., & CALIXTO-JÚNIOR, J. T. Plantas exóticas na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil): ocorrência e usos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n. 3, 2022.

DE FARIAS, R. R. S.; CASTRO, A. A. J. F. Fitossociologia de trechos da vegetação do Complexo de Campo Maior, Campo Maior, PI, Brasil. **Acta botanica brasílica**, v. 18, n. 4, p. 949-963, 2004.

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C. D.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa-MT. **Acta botanica brasílica**, v. 16, p. 103-112, 2002.

FELFILI, J.M.; SILVA J. R., M.C. A comparative study of cerrado (sensu stricto) vegetation in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 277-289, 1993.

FELFILI, J. M. Fragmentos de florestas estacionais do Brasil Central: diagnóstico e proposta de corredores ecológicos. In: COSTA, R. B. (Org.). **Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na Região Centro-Oeste**. Campo Grande. Universidade Católica Dom Bosco, p. 195-263, 2003.

FELFILI J.M.; ROITMAN, I.; MEDEIROS, M.M.; SANCHEZ, M. 2011. Procedimentos e Métodos de Amostragem de Vegetação. In: **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de caso**. FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F. (Eds). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, s/v, p. 86-121, 2011.

FERREIRA, S. R. Q.; CAMARGO, M. O.; SOUZA, P. B.; ANDRADE, V. C. L. Fitossociologia e estrutura diamétrica de um cerrado sensu stricto, Gurupi, TO. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 36, 2015.

FLORA E FUNGA DO BRASIL (2023). In **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB216>

FRANÇOZO, R.D.; DEXTER, K.G.; MACHADO, R.B.; PENNINGTON, R.T.; PINTO, J.R.R.; BRANDÃO, R.A.; RATTER, J.A. Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, p. 1477-1500, 2020.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, D. C.; MEDEIROS, V. S.; GAUI, T. D. Florística e Fitossociologia em Áreas de Cerradão e Mata Mesofítica na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3. p. 287-298, 2015.

HAIDAR, R. F. **Fitossociologia, diversidade e sua relação com variáveis ambientais em florestas estacionais do bioma cerrado no planalto central e nordeste do Brasil**. 2007. 254 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/3264>>. Acesso em: 11 set. 2022.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Paleontological Statistic software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletrônica**, v. 4 p. 1-9, 2011.

IURK, M. C.; SANTOS, E. P.; DLUGOSZ, F. L.; TARDIVO, R. C. Levantamento florístico de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial do Rio Iguaçu, município de Palmeira, PR. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 605-617. 2009.

KUNZ, S. H.; IVANAUSKAS, N. M.; MARTINS, S. V. Estrutura fitossociológica de uma área de cerradão em Canarana, Estado do Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 31, n. 3, p. 255-261, 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.

LIMA, M. F.; LIMA, F. A. M.; SAMPAIO, M. M. Mapeamento e Demarcação da Floresta Nacional do Araripe—Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. **Ciência agronômica**. 1983.

MACEDO, W. S.; SILVA, L. S.; ALVES, A. R.; MARTINS, A. R., Análise do componente arbóreo em uma área de ecótono Cerrado-Caatinga no sul do Piauí, Brasil, **Scientia Plena**, v.15, p.010201, 2019.

MAGURRAN, A. E. Ecological Diversity and its measurement. **Princeton**, Newjersey, p. 179, 1988.

MEDEIROS, M. B.; WALTER, B. M. T.; SILVA, G. P. Fitossociologia do cerrado stricto sensu no município de Carolina, MA, Brasil. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 285-294. 2008.

MORETTI, M. S.; RIBEIRO, E. S.; CABRAL, R. S. O.; BARROS, L. S.; SOARES, G. S. Levantamento fitossociológico de Mata de Galeria e Cerradão no Município de Poconé, Mato Grosso. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. p. 193-208, 2013.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R.C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia** v. 66, p. 717–743, 2015.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: **John Wiley**. 1974.

NETO, V. L. S.; DE OLIVEIRA, A. L.; DE SOUZA FERREIRA, R. Q.; DE SOUZA, P. B.; VIOLA, M. R. Fitossociologia e distribuição diamétrica de uma área de Cerrado sensu stricto, Dueré-TO. **Revista de Ciências Ambientais**, v.10, n. 1, p. 91-106, 2016.

OLIVEIRA, C. P. D.; FRANCELINO, M. R.; CYSNEIROS, V. C.; ANDRADE, F. C. D.; BOOTH, M. C. Composição florística e estrutura de um cerrado sensu stricto no oeste da Bahia. **Cerne**, v. 21, p. 545-552, 2015.

OLIVEIRA, M.E.B.; GUERRA, N.B.; BARROS, L.M.; ALVES, R.E. Aspectos Agronômicos e de Qualidade do Pequi. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2008. 32p. (Documentos, 113).

PAIVA, P. H. V. A reserva da biosfera do cerrado: fase II. Tópicos atuais em Botânica: Palestras convidadas do 51º Congresso Nacional de Botânica do Brasil. **Anais**, Brasília. EMBRAPA-Cenargen. 2000.

PINHEIRO, E. D.; PEIXOTO, E. S.; FINA, B. G. Florística e fitossociologia de um remanescente de cerradão, Aquidauana – MS / Floristic and phytosociology of an cerrado florestal remnant, Aquidauana – MS. **Brazilian Journal of Development**, 6(12), 103413–103428. 2020.

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In: SILVA, J.M.C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. (org.). **Caatinga**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. p. 23–63.

REZENDE, A. V. Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um Cerrado Sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento. 269 fls. 2002. Tese de

Doutorado (Engenharia florestal) - Universidade Federal do Paraná; 2002. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26755/T%20-%20REZENDE%2c%20ALBA%20VALERIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jan. 2023.

RODAL, M. J. N.; ANDRADE, K. V. D. A.; SALES, M. F.; GOMES, A. P. S. Fitossociologia do componente lenhoso de um refúgio vegetacional no município de Buíque, Pernambuco. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, p. 517-526, 1998.

SALVIANO, A.; GUERRA, A.F.; GOMES, A.C. Avaliação agronômica do pequi (Caryocar brasiliense Camb.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Anais**, Belém: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2002. 1CD-ROM.

SANO, E. E.; RODRIGUES, E. S.; MARTINS, G. M., BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S. COUTO JR. A. F.; VASCONCELOS, V. SCHULLER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, 2019.

SANTOS, J.E.G.; BENÍCIO, R.M.A.; SILVA, J.M.; BRITO, C.M.; RICARTE, M.C.C.; FIGUEIREDO, C.U.L.; Fortalecendo o ensino de ciências através da pesquisa paleontológica na bacia sedimentar do araripe, Ceará - Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p. 28872- 28885, 2020.

SAPORETTI JUNIOR, R.A.W.; MEIRA NETO, J. A. A.; ALMADO, R. D. P. Fitossociologia de cerrado sensu stricto no município de Abaeté-MG. **Revista Árvore**, v. 27, p. 413-419, 2003.

SANTOS, P. A.; WYREPKOWSKI, C. D. C.; SANTOS, F. N.; MENEZES, J. F.; ANDRADE, J. I. A.; LIMA, E. A.; PEREIRA JUNIOR, O. L.; NUNEZ, C. V. Atividade antioxidante dos extratos diclorometânico, metanólico e aquoso de folhas e galhos de *Casearia javitensis* Kunth. **Anais da 32a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Amazonas, CD de resumos, v. 1, n. 1, 2009.

SOUZA, F. G. L. S.; SILVA, M. A. P. S.; LOIOLA, M. I. B. Passifloraceae ss na Chapada do Araripe, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, 2021.

TEIXEIRA, L. A. G.; MACHADO, I. C. Pollination and reproductive system of *Byrsonima sericea* DC (Malpighiaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 14, n. 3, p. 347-357, 2000

UHLMANN, A.; GALVÃO, F.; SILVA, S.M. Análise da estrutura de duas unidades fitofisionômicas de Savana (Cerrado) no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 12, p. 231-247, 1998.

VERLY, O. M.; OLIVEIRA, I. M. M.; SANTOS, C. T. F.; FIALHO JUNIOR, L. L.; ROSA, P. R.; CHAVES, A. G. S.; FRANCO, F. M. Caracterização florística e fitossociologia de um fragmento de Cerradão em Cáceres, Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, 2020.

4.2 Cap.II Incremento periódico anual e relações climáticas em estudo de caso de potencial de sequestro e estoque de carbono em Savana Florestada (Cerradão), semiárido brasileiro

O capítulo se encontra nas normas da revista submetida

Artigo Submetido a Revista: Environmental Development – Qualis: A1 (Biodiversidade)

RESUMO

A emissão de altas concentrações de CO₂ é hoje um dos principais problemas globais e a vegetação arbórea, com alta capacidade de armazenamento de carbono na biomassa, é alternativa importante na redução dessas emissões. Este estudo analisou estoque e dinâmica do carbono e o potencial de remoção de CO₂eq na vegetação lenhosa acima do solo, para subsidiar viabilidade econômica na implantação de projetos de carbono em área de Savana Florestada (nordeste brasileiro). Coletores de serrapilheira foram instalados para determinação do teor de C em diferentes componentes visando relacionar essa produção com variáveis climáticas. Incremento de carbono e potencial de estoque/sequestro foram obtidos por informações coletadas em inventário florestal contínuo e fatores de conversão. A partir do teor médio de carbono de cada componente e do volume de madeira estocado na floresta observou-se 11,28 t.ha⁻¹ de carbono estocado na biomassa viva com incremento anual de 0,75 t.ha⁻¹ano⁻¹. A média anual dos componentes da serrapilheira foi 16,92 t.ha⁻¹ano⁻¹, com teor médio dos componentes de 50% (26,40 t.ha⁻¹) apresentando massa de carbono acumulado de 0,576 t.ha⁻¹. Dos três compartimentos, todos apresentaram correlação significativa com pelo menos uma variável climática. O valor do carbono sequestrado/ano foi 1,32 t.ha⁻¹ [carbono incorporado na serrapilheira (0,75 t.ha⁻¹) + incremento médio anual de carbono no volume comercial (0,576 t.ha⁻¹)] apontando sequestro médio de 40 t.ha⁻¹ CO₂eq. Os resultados evidenciam o potencial (ainda inexplorado) de sumidouro de carbono da Savana Florestada dessa região do Brasil e sugerem seu aproveitamento para projetos de créditos de carbono a nível nacional e mundial como alternativa para melhor uso dos terrenos e na mitigação das mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Mensuração Florestal, Serrapilheira, Teores de Carbono.

ABSTRACT

The emission of high concentrations of CO₂ is today one of the main global problems and tree vegetation, with high carbon storage capacity in biomass, is an important alternative in reducing these emissions. This study analysed carbon stock and dynamics and CO₂eq removal potential in above-ground woody vegetation to support economic feasibility in the implementation of carbon projects in a forested savanna area (northeastern Brazil). Leaf litter collectors were installed to determine the C content in different components in order to relate this production with climatic variables. Carbon increment and stock/sequestration potential were obtained by information collected in continuous forest inventory and conversion factors. From the average carbon content of each component and the volume of wood stored in the forest, 11.28 t.ha⁻¹ of carbon stored in the living biomass was observed with an annual increment of 0.75 t.ha⁻¹year⁻¹. The annual average of the litter components was 16.92 t.ha⁻¹year⁻¹, with an average content of the components of 50% (26.40 t.ha⁻¹) presenting an accumulated carbon mass of 0.576 t.ha⁻¹. Of the three compartments, all showed significant correlation with at least one climatic variable. The value of sequestered carbon/year was 1.32 t.ha⁻¹ [carbon incorporated in the litter (0.75 t.ha⁻¹) + average annual carbon increment in the commercial volume (0.576 t.ha⁻¹)] indicating an average sequestration of 40 t.ha⁻¹ CO₂eq. The results highlight the (still unexploited) carbon sink potential of the Savannah Forest in this region of Brazil and suggest its utilisation for carbon credit projects at national and global level as an alternative for better land use and mitigation of global climate change.

Keywords: Climate change, Forest measurement, litter, carbon content.

1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, mudanças climáticas se tornaram tema central no debate público, principalmente sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável (Otto et al., 2019). As consequências de maneira negativas sobre o planeta, seus habitantes e recursos, tem gerado preocupação nas nações (Molthan-Hill et al., 2019). Fatos científicos demonstram a influência inequívoca que os seres humanos tiveram nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) nos últimos séculos e o consequente aquecimento da atmosfera, dos oceanos e da Terra (IPCC, 2022). As mudanças climáticas são produtos dessa “cultura” que vem visando o “controle da natureza” a partir de práticas de desmatamento e extração com fins utilitários (Santisteban, 2019).

Saini, Sharma e Kumar (2018) apontam os diversos impactos da intensificação da emissão dos GEE e o consequente aquecimento da temperatura da Terra, exemplificando o derretimento mais acelerado das geleiras, aumento do nível do mar, precipitações excessivas, secas, mudanças na temperatura e nos padrões de vento. De acordo com Kosoe e Ahmed (2022), as mudanças climáticas estão também afetando a produção de atividades econômicas, especialmente no setor da agricultura.

Atualmente a concentração de CO₂ na atmosfera já alcança níveis de 418,9 ppm (valor referente a julho de 2022), segundo a divisão de monitoramento climático americana *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA. No mundo, o desmatamento que é uma das causas mais comuns de emissão de CO₂, corresponde a 6- 17% das emissões (Baccini et al., 2012), sendo responsável por cerca de 5.800 milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano (MtCO₂/ano) (Waheed et al., 2018; Benício et al., 2022).

A conservação das florestas tem sido reconhecida como um fator essencial para a mitigação das mudanças climáticas (Herr et al., 2012) e medições de teor de carbono são promissoras em fornecer informações para avaliar o comportamento das plantas em termos de clima, bioma, estado de conservação e alteração dos ambientes florestais (Anjali et al., 2020). O sequestro de carbono é um importante serviço ecossistêmico provido pelas florestas. A vegetação, por meio do processo de fotossíntese, absorve gás carbônico da atmosfera e durante certo tempo, armazena o carbono orgânico na biomassa da árvore, fixando cerca de 200 bilhões de toneladas de carbono anualmente (Lin et al., 2016).

Estudos de produção de serrapilheira são importantes pois contribuem para a definição de modelos de fluxo e conteúdo de carbono em determinadas regiões e mostram, de forma mais

consistente, as suas dinâmicas ecossistêmicas (Sanches et al., 2009). A serrapilheira está diretamente relacionada à produtividade em ecossistemas florestais e possui um padrão de produção diversificado com períodos de maior e menor intensidade associados a fatores ambientais e à estacionalidade climática e genética (Giweta, 2020). O seu acúmulo é variável de acordo com o ecossistema considerado e seu estágio de sucessão ecológica (Vital et al., 2004) e é influenciado por fatores como condições climáticas e edafoclimáticas (Caldeira et al., 2007).

Há consenso mundial sobre o papel relevante das formações florestais no ciclo global de carbono e muito se tem discutido sobre a relação da biomassa aérea da vegetação com atributos estruturais, funcionais ou taxonômicos em ambientes tropicais (Morandi et al., 2020; Villa et al., 2020; Zimbres et al., 2020). Conforme Meira et al. (2020) informações obtidas a partir da estimativa da biomassa e carbono florestais fornecem estratégias para programas de conservação, tanto de florestas nativas quanto de áreas em processo de restauração ou recuperação, servindo também como subsídios para a elaboração de projetos de créditos de carbono. Os desafios advindos da sustentabilidade e da conservação da biodiversidade requerem soluções baseadas em ações de mercado (Chan et al., 2017). A efetivação de políticas que favoreçam o desenvolvimento social, econômico e ambiental tem grande potencial para estimular a preservação de florestas (Bôas et al., 2019).

A nível de território brasileiro o Cerrado é o segundo maior bioma, sendo superado apenas pela Amazônia (Campos e Chaves, 2020). É a savana tropical mais biodiversa do mundo, protegendo mais de 12.400 espécies de plantas (JBRJ, 2017) e um terço da biodiversidade brasileira, com alto nível de endemismo, e atuando como um grande sequestrador de carbono atmosférico. A falta de estudos relacionados à quantificação de sua biomassa compromete totalmente o entendimento da dinâmica do CO₂ neste bioma. Assim, é relevante desenvolver estudos visando obter estimativas precisas do estoque de carbono nas diferentes fitofisionomias que compõem o Cerrado, para incluí-las em modelos de manejo florestal apropriados (Oliveira et al., 2019). A vegetação do Cerrado brasileiro é caracterizada por distintas variedades de fisionomias. O Cerradão (Savana Florestada) é a formação de uma floresta com altura média das espécies variando de 8 a 15 metros, proporcionando luminosidade que favorece a formação de camadas arbustivas e herbáceas (Lopes et al., 2020). O Cerrado compartilha zonas de transição ecológica com quatro dos cinco biomas brasileiros: Amazônia (floresta tropical), Caatinga (região semiárida), Pantanal (área úmida) e Mata Atlântica (floresta costeira) (Sano et al., 2019).

Na região semiárida do nordeste brasileiro, está situada a Área de Proteção Ambiental (APA) Chapada do Araripe, uma Unidade de Conservação criada pelo Decreto Federal nº 148, de 04 de agosto de 1997. Abrange uma área de 1.063 hectares dos Estados do Ceará,

Pernambuco e Piauí, sendo considerado um dos relevos mais importantes do nordeste do Brasil (Tavares Filho et al., 2020), uma vez que abriga testemunhos de antigas faunas e floras de inestimável valor científico, sendo reconhecida mundialmente por seu diversificado conteúdo fossilífero e preservação excepcional (Santos et al., 2020). A sua heterogeneidade fisionômica aponta a presença de Savanas (Cerrado *sensu stricto* e Cerradão), Floresta Estacional Sempre-Verde (Mata úmida) e Savana Estépica (Carrasco) (Loiola et al., 2015), tendo assim em seus domínios um Geopark, uma Floresta Nacional (FLONA Araripe-Apodi), e uma Área de Proteção Ambiental (APA).

Para Lopes e Miola (2010) essas áreas de Cerradão apresentam destaque importante que as diferenciam de outras fitofisionomias do bioma Cerrado, em termos de sequestro de carbono. Diante disso, partindo da hipótese de que a quantidade de carbono armazenada pode variar de acordo com a fitofisionomia e os compartimentos das árvores que a compõem, e que dados sobre incremento periódico anual fornecem informações de alta importância nesses estudos, torna-se relevante a apresentação dos resultados aqui discutidos, por darem suporte a pesquisadores na elaboração de estratégias de conservação de áreas de Savana Florestada no Brasil, assim como de programas de recuperação e de restauração de suas áreas degradadas, além de desempenhar importante papel para a elaboração e uso de projetos de neutralização e geração de créditos de carbono na esfera do Mercado Regulado (Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável – MDS) ou do Mercado Voluntário de carbono (Reduce Emissions for Deforestation and Degradation – REDD+), a fim de apontar alternativas mais eficientes de uso da terra e minimizar impactos causados pelo aquecimento global. Este é o primeiro estudo que apresenta dados sobre viabilidade para geração de créditos de carbono nessa formação vegetal na Chapada do Araripe e faz parte de um projeto amplo de investigação dessa viabilidade em distintas fitofisionomias na região semiárida do nordeste brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

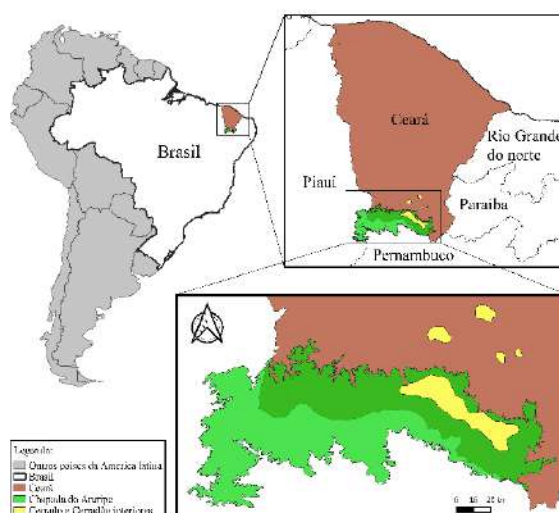
A pesquisa foi realizada em uma área de Cerradão (Savana Florestada) na FLONA Araripe-Apodi (Floresta Nacional do Araripe–Apodi), localizada na Chapada do Araripe, município de Crato (7°14'55.31"S 39°29'43.49"O, 960 m de altitude), sul do Estado do Ceará (Fig. 1). A FLONA foi criada através do decreto nº 9.226 de 02 de maio de 1946, sendo a primeira do Brasil, com uma área de 38.968 ha.

A área de Cerradão estudada apresenta uma vegetação formada por maciços intercalados por grandes clareiras. Estes maciços apresentam árvores tortuosas de médio e pequeno portes, bastante esgalhados, com cascas rugosas e fendilhadas e um sub-bosque arbustivo denso (Lima

et al., 1983). Essa área apresenta em seu histórico de uso um nível de preservação considerado alto, sem ocorrências de grandes devastações por incêndios ou cortes, e possui 10.618,75 ha, cerca de 27,5% da área total desta Unidade de Conservação (Costa e Araújo, 2007).

O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura média a argilosa e permeável às chuvas (Embrapa, 2018) e o clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo As (Álvares et al., 2013). A área apresenta características de clima tropical úmido, marcado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de dezembro a abril, e outra estação seca, de maio a novembro, apesar da natureza transitória do clima semiárido do Nordeste do Brasil (BSw) (Benício et al., 2022). A média da precipitação mensal no período chuvoso é de 1.033 mm (Inmet, 2023) e a temperatura média anual é de 24 °C (Funceme, 2023).

Fig. 1. Localização da área de estudo – Cerradão na Floresta Nacional do Araripe – Apodi, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.



2.2 Deposição de Serrapilheira

Foram instaladas, sistematicamente entre as parcelas, cinco cestas para coletar a serrapilheira senescente, com diâmetro de 1m², equidistantes 50 m. Os coletores foram confeccionados com arame 5/8 sustentados por vergalhão de ferro galvanizado de 1½ polegadas e arames, suspensos a um metro do nível do solo e envolvidos por duas camadas de um tecido do tipo filó, com finalidade de impedir a perda do material de menor dimensão e permitir a passagem da água da chuva.

O material senescente acumulado nos coletores foi retirado de forma mensal durante o período de doze meses (março de 2022 a fevereiro de 2023), embalado em sacos plásticos identificados e transportados para o Laboratório de Estudos da Flora Regional do Cariri –

LEFLORE, da Universidade Regional do Cariri – URCA, para posterior separação por compartimentos: folhas, caules e miscelânea (flores, frutos, sementes, excrementos, insetos, etc.). As frações foram pesadas em balança digital com três casas decimais e mantidas em estufa a 60°C até que o material atingisse massa constante em três pesagens para a determinação da massa seca. Em seguida, foram moídas em um moinho do tipo Willey e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados. A produção de serrapilheira, em cada um dos coletores foi baseada no modelo proposto por Ferreira et al. (2014) e Ferreira e Uchiyama (2015):

$$PS = \frac{(\sum PMS \times 10.000)}{Ac}$$

Onde:

PS = Produção de serrapilheira (kg ha⁻¹ano⁻¹);

PMS = Produção mensal de serrapilheira (kg ha⁻¹mês⁻¹);

Ac = Área do coletor (m²).

O aporte de serrapilheira foi avaliado mensalmente, o total mensal foi obtido e determinado a partir da média aritmética dos cinco coletores.

2.3 Variáveis climáticas

Para avaliar a influência de fatores abióticos (clima) na deposição de serrapilheira foi instalada em área de clareira na Floresta Nacional do Araripe-Apodi, uma Estação Meteorológica Digital Completa (HM-1080), onde dados referentes à temperatura, umidade relativa do ar e precipitação foram coletados e mensurados, obtendo-se média mensal.

2.4 Quantificação de carbono

2.4.1 Inventário florestal e incremento periódico anual – IPA

O inventário florestal foi realizado por meio de amostragem sistemática, seguindo a metodologia proposta por Mueller-Dumbois e Ellenberg (1974). Foram plotadas sistematicamente 10 parcelas permanentes de 1000m² (20m x 50m – 1,0 ha), com distância de 50m, demarcadas com estacas de um metro de altura e fita de cor vermelha. Visando o monitoramento da comunidade florestal durante dois anos (2022/2023), foram inseridos nos indivíduos dentro do critério de inclusão placas de metal com número de identificação. Todas as árvores e arbustos vivos com DAS (diâmetro à altura do solo) ≥ 3 cm foram mensurados, assim como medidas as suas alturas totais. A medida do DAS foi realizada com suta e a altura

total com haste telescópica graduada. Para a obtenção dos parâmetros fitossociológicos utilizou-se o software *Mata Nativa 2* que possibilitou a análise comparativa entre os parâmetros gerais da comunidade durante os dois anos, dentre estes, área basal por hectare, volume por hectare, biomassa viva total e carbono estocado. O incremento periódico anual foi calculado por meio das seguintes equações:

$$\text{Crescimento} = C_2 - C_1$$

$$\text{IPA} = \frac{\text{Crescimento}}{\text{Intervalo de meses}}$$

Onde:

C_1 e C_2 = Mensurações no final do período e no início do período, respectivamente;

IPA = Incremento periódico anual.

2.4.2 Teor de matéria orgânica pelo método da calcinação em mufla

A determinação do teor de matéria orgânica na serrapilheira senescente (folhas, galhos e miscelânea) foi realizada pelo método da calcinação em forno do tipo mufla no Laboratório de Química Analítica do Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO), Juazeiro do Norte, Ceará e seguiu o método estabelecido por Goldin (1987), em que cada amostra (folhas, galhos e miscelânea) foi inserida em cadinho de porcelana sem tampa e acondicionada em forno mufla em temperatura de 550°C por quatro horas, ou até completar a calcinação. Posteriormente, as amostras foram retiradas e resfriadas para pesagem. O teor de carbono foi calculado pela equação:

$$CT = Ms/Mr * 100$$

Onde:

CT = Teor de carbono em porcentagem (%)

Ms = Massa do resíduo em gramas (g)

Mr = Massa da amostra seca em gramas (g)

2.4.3 Biomassa da floresta em pé e valores de sequestro e estoque de C

O cálculo da biomassa foi realizado para cada indivíduo, através da equação de Brown, Gillespie e Lugo (1989). Essa equação, também utilizada por Castro e Kauffman (1998) para áreas de Cerrado no Brasil e por Fernandes et al. (2008) considera parâmetros do inventário florestal (diâmetro e altura total dos indivíduos arbóreos inseridos no critério de inclusão: DAS ≥ 3 cm), que são contribuintes para a quantificação do carbono estocado na floresta em pé. A equação considera $R^2=0,97$ para a conversão da biomassa em estoque de carbono. Este cálculo foi também utilizado por Waltzlawick et al. (2011) e Embrapa (2008) e é descrito como:

$$B = \exp[-3,1441+0,9719*\ln(DAS^2*Ht)]$$

Onde:

B = Biomassa

DAS= Diâmetro à Altura do Solo

Ht = Altura Total

O cálculo do potencial de sequestro de carbono deu-se pelo método indireto não destrutivo, conforme especificado por Salati (1994). O uso do método não destrutivo, baseado em estimações de parâmetros provenientes de inventários florestais foi utilizado por melhor se adaptar à complexidade e às condições florísticas da área, conforme utilizado por Fajardo e Timofeiczky Júnior (2015) para a APA da Serra de Baturité (Ceará) e Benício et al. (2022) para área de mata úmida na Chapada do Araripe (Ceará).

Os estoques de carbono foram calculados considerando-se que esses representam 50% da biomassa seca. Para Fernandes et al. (2008) a estimativa dos estoques de carbono significa, de um modo geral, a quantidade que foi retirada da atmosfera e que se encontra aprisionada na biomassa aérea, na forma de carbono orgânico. Para se encontrar o valor de CO₂, considera-se que 1 tonelada (t) de carbono corresponde a 3,67 t.CO₂. Consequentemente, multiplica-se o valor total de carbono em toneladas por 3,67 e obtém-se o valor de CO₂ retirado da superfície terrestre (Fernandes et al., 2008). Após a quantificação de massa de carbono, foi realizada a mensuração do estoque de carbono. O valor utilizado como referência é o que corresponde a média de valores atuais de carbono nos últimos dois anos.

2.5 Análise estatística

Para verificar a presença de variação nos teores de carbono entre os compartimentos da serrapilheira (folhas, galhos e miscelânea), os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA One-Way), sendo utilizado o teste de Tukey. Em seguida, para verificar a presença de variação na correlação entre as variáveis climáticas e os teores de carbono dos compartimentos foi utilizada análise de correlação ranqueada de Spearman. Todas as análises foram realizadas no software R (R development Core Team, 2023), com um valor de significância adotado de $\alpha = 0.05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de serrapilheira

A deposição total de serrapilheira foi de 1.242,80 kg ha⁻¹ano⁻¹. Em todos os meses, exceto março, abril, maio e junho de 2022, a fração folha prevaleceu quantitativamente. A tabela 1 apresenta os valores encontrados nas frações folhas, galhos e miscelânea coletados no período de março de 2022 a fevereiro de 2023.

Tabela 1. Deposição total de serrapilheira senescente em kg ha⁻¹ coletada em área de Savana Florestada (Cerradão), Chapada do Araripe, Crato, Ceará, nordeste brasileiro.

Mês	Folhas (kg ha⁻¹ano⁻¹)	Galhos (kg ha⁻¹ano⁻¹)	Miscelânea (kg ha⁻¹ano⁻¹)
Mar/22	18,1	35,8	0,6
Abr/22	32,5	53,6	2,4
Mai/22	41,2	41,4	1,4
Jun/22	45,3	47,2	3,3
Jul/22	39,9	35,3	6,2
Ago/22	67,7	53,6	7,2
Set/22	69,3	52,3	7,1
Out/22	72,4	49,3	7,6
Nov/22	76,4	44,2	8,4
Dez/22	77,3	38,3	8,1
Jan/23	62,3	32,4	6,3
Fev/23	60,3	33,2	4,9
Total=	662,7	516,6	63,5
Média=	55,22	43,05	5,29
DP=	±16,5	±6,9	±2,3

O valor encontrado nesse estudo para deposição anual de folhas foi de 662,70 kg/ha⁻¹ano⁻¹ (±16,5), o que é equivalente a 53,30% do total. A segunda maior importância quantitativa foi referente à fração galhos, com deposição anual equivalente a 41,60%. A fração miscelânea representou 5,10% do total de serrapilheira senescente.

Os ecossistemas de florestas tropicais apresentam produção contínua de serrapilheira no decorrer do ano e a quantidade produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação (Leitão Filho et al., 1993; Carvalho et al., 2019) e/ou das variações climáticas. O aumento na queda de folhas em áreas de Cerrado no Brasil ocorre nos meses de menor precipitação e o brotamento das folhas, a floração e a frutificação, ocorrem no início e durante a estação de chuva, podendo ser influenciada por fatores ambientais variáveis como hidroperiodicidade e radiação solar. Trabalhos realizados em outras formações florestais no Brasil, com percentuais semelhantes aos resultados dessa pesquisa para folhas (de 50% até 75%) são amplamente apontados: Pagano (1989), Martins e Rodrigues (1999), Paula e Lemos Filho (2001), Werneck et al. (2001) e Arato et al. (2003), Scoriza e Piña-Rodrigues (2014), Toscan, Guimarães,

Temponi (2017), Sloboda et al. (2017) e Benício et al. (2022). Segundo Silva et al (2007) as folhas representam o compartimento mais importante na maioria dos estudos de produção de serrapilheira em florestas tropicais.

Convertendo-se a unidade de medida de quilograma (kg) para tonelada (t), a produção média anual de serrapilheira observada neste estudo é equivalente a 1,36 t. ha¹ano⁻¹. Conforme Silva et al. (2007) a produção de serrapilheira em áreas de Cerradão no Brasil pode variar de 10 a 261 kg.ha⁻¹.mês⁻¹. A qualidade da serrapilheira pode ser influenciada pelo tipo de cobertura florestal, manejo, concentrações de nutrientes e composição estrutural das espécies (Souza et al., 2016; Villa et al., 2016).

Os maiores índices de senescência de serrapilheira (folhas) ocorreram de agosto a dezembro (período seco). A observação da maior quantidade de material decíduo no período de menor concentração pluviométrica é comum nas diversas formações de Cerrado no Brasil e as condições climáticas estão intrinsecamente relacionadas à fenologia de grande parte das espécies arbustivo/arbóreas.

A temperatura média anual do período foi de 24,3°C. Os meses mais quentes foram agosto e outubro, com média de 24,8°C e o mais frio foi maio (22,5°C). A média anual de umidade foi 73,71%, sendo abril o mês que registrou maior percentual (82,1%) e agosto o que registrou menor percentual (59,1%). A precipitação total do período foi de 1050,5 mm e a média mensal foi de 87,5 mm. A Tabela 2 apresenta valores de médias mensais de temperatura, umidade e precipitação.

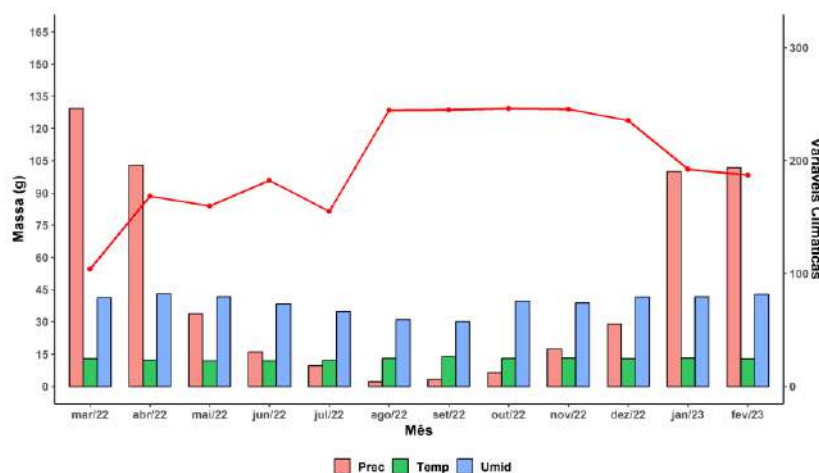
Tabela 2. Valores das variáveis climáticas (temperatura, umidade e precipitação pluviométrica) de março de 2022 a fevereiro de 2023 em área de Savana Florestada (Cerradão) na Chapada do Araripe, Crato, Ceará, nordeste brasileiro.

Período	Temperatura (C°)	Umidade (%)	Pluviometria (mm)
Mar/22	24,6	78,4	246,1
Abr/22	23,6	82,1	195,8
Mai/22	22,5	79,4	64,1
Jun/22	22,6	73,1	30,6
Jul/22	23,2	66,3	18,4
Ago/22	24,8	59,1	4,1
Set/22	26,7	57,1	6,5
Out/22	24,8	75,5	12,1
Nov/22	25	73,7	33,4
Dez/22	24,7	79,2	55,3
Jan/23	25	79,3	190,4
Fev/23	24,4	81,4	193,7

Na análise dos totais mensais é observado que o período chuvoso (janeiro a abril) apresentou maior registro no mês de março (246 mm), enquanto que no período seco (agosto a dezembro) a precipitação teve menor registro nos meses de agosto e setembro (4,1 e 6,3 mm, respectivamente) (Tabela 2). Resultados semelhantes, sobre esta influência, são observados em trabalhos dos últimos 50 anos na Amazônia brasileira: Klinge (1968); Luizão e Schubart (1987); Dantas e Phillipsson (1989); Rodrigues et al. (2000); em formações de Cerrado arborizado no Estado de São Paulo: Vital et al. (2004) no Centro-sul do Estado e Cianciaruso et al. (2006) no Nordeste do Estado; e no Estado do Ceará: Benício et al. (2022), em refúgio de mata úmida na Chapada do Araripe.

Valores das variáveis climáticas (temperatura, umidade e pluviometria) e a correlação com a produção de serrapilheira senescente coletada durante o período de estudo são apresentados na figura 10.

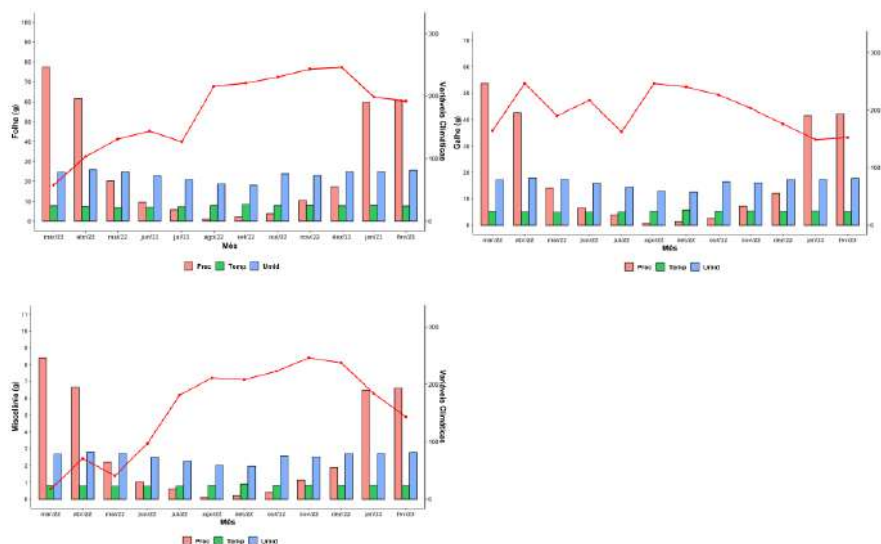
Fig. 2. Aporte de serrapilheira senescente frente às variáveis climáticas (temperatura, umidade e precipitação) entre março de 2022 e fevereiro de 2023 em área de Savana Florestada (Cerradão), Chapada do Araripe, Crato, Ceará, nordeste brasileiro. Os valores expressos com média $\pm$ S.E.M. com regressão não linear de curvas, analisados por ANOVA de duas vias, seguindo o teste de Tukey ($p < 0,01$).



Observa-se estabilidade na média dos valores de temperatura e umidade, que são independentes da precipitação. A curva de crescimento para o aporte de serrapilheira apresentou aumento no mês de agosto, com a redução do índice pluviométrico. De acordo com Maman et al. (2007), a ocorrência de maior produção de serrapilheira no período seco é influenciada principalmente pelo estresse hídrico podendo ser uma resposta da vegetação que, com a derrubada de folhas, reduziria a perda de água por transpiração.

A Fig. 11. (A, B e C) apresenta o aporte de diferentes compartimentos da serrapilheira (folhas, galhos e miscelânea, respectivamente) e a correlação com as variáveis climáticas (temperatura, umidade e precipitação).

Fig. 3. Valores das variáveis climáticas (temperatura, umidade e precipitação) e aporte de serrapilheira senescente nos compartimentos folhas, galhos e miscelânea de março de 2022 a fevereiro de 2023, em área de Savana Florestada (Cerradão), Chapada do Araripe, Crato, nordeste brasileiro.



É possível perceber a influência direta das chuvas na deposição de todas as frações de serrapilheira, principalmente no componente da folha (Fig. 3A), que apresenta aporte substancial no período seco (de menores índices pluviométricos), o que também foi observado por Benício et al. (2022), em área de mata úmida na Chapada do Araripe. A maior presença de galhos na serrapilheira observada no mês de agosto (Fig. 3B) pode ser explicada por ser este o período em que a velocidade dos ventos é maior na região. Observa-se também que o compartimento galhos permanece regular durante todo o período, com poucas variações quando comparada aos outros dois compartimentos. A miscelânea apresentou pouca significância na correlação com as variáveis climáticas, porém, observa-se maior incremento de sua produção na faixa de transição do período seco para o período úmido (Fig. 3C). Este padrão é influenciado por fatores como: diversidade reprodutiva das espécies e da estrutura da fitofisionomia e presença de frutos maiores (autocóricos e deiscentes), como observado por Dias e Oliveira-Filho (1996) e Pedro et al. (2019). Dos três compartimentos estudados, os três componentes apresentaram correlação significativa com variável climática (temperatura). De acordo com Bray e Gorham (1964), temperaturas elevadas, maior duração no período de crescimento e maior quantidade de insolação constituem-se nos fatores climáticos mais relevantes para a

produção da serrapilheira. A correlação entre a produção de serrapilheira por compartimento e as variáveis climáticas observadas são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Correlação entre valores da produção de serrapilheira e variáveis climáticas entre março de 2022 e fevereiro de 2023 em área de Savana Florestada (Cerradão), Chapada do Araripe, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.

Compartimentos	Variáveis climáticas		
	Temperatura	Umidade	Precipitação
Folhas	0,56	-0,28	-0,54**
Galhos	0,15	-0,47**	-0,47*
Miscelânea	0,57	-0,43	-0,58

Em que: * $p < 0,001$ ** $p < 0,00001$

A área de Savana Florestada estudada apresentou correlação negativa da massa de folhas, galhos e miscelânea com as variáveis: umidade e precipitação; e positiva com a temperatura (Tabela 3). Conforme Ferreira et al. (2014), no período de estiagem ocorre maior abscisão foliar, o que garante a eficiência do processo fotossintético e a manutenção dos indivíduos durante este período. A precipitação é uma variável fundamental para causar abscisão foliar, principalmente pela força mecânica (Lima et al., 2021).

3.2 Incremento anual de carbono

O inventário florestal apontou estimativa de densidade absoluta média de 1253 ind.ha^{-1} (indivíduos arbustivo/arbóreos) ($IC = \pm 68,32 \text{ ind.ha}^{-1}$) a 95% de probabilidade e erro padrão de 6,52% e área basal média (dominância) de $11,20 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ ($IC = \pm 3,81 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) a 95% probabilidade e erro padrão de 5,67% nas duas medições (2022/2023). Esses valores confirmam que a precisão da amostragem é considerada adequada e abrangente para a estimativa de variáveis quantitativas do inventário (Figueiredo Filho et al., 2010). Com o inventário realizado em parcelas permanentes obteve-se os resultados das taxas de crescimento individual de árvores na Savana Florestada, representado pelo Incremento Periódico Anual (IPA) (Tabela 4), com incremento periódico anual para DNS (cm), área basal ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) biomassa viva total (t.ha^{-1}) e carbono estocado (t.ha^{-1}).

Tabela 4. Valores de diâmetro médio, área basal, volume, biomassa viva, carbono estocado e incremento periódico anual (IPA) em área de Savana Florestada (Cerradão) na Chapada do Araripe, Crato, Ceará, nordeste do Brasil.

Variáveis	2022	2023	IPA
Diâmetro médio (cm)	8,24	8,47	0,23

Área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)	11,08	11,33	0,25
Volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	92,51	96,07	3,56
Biomassa viva ($\text{t}.\text{ha}^{-1}$)	21,07	22,56	1,49
Carbono estocado ($\text{t}.\text{ha}^{-1}$)	10,53	11,28	0,75
CO ₂ estocado ($\text{t}.\text{ha}^{-1}$)	38,64	41,39	2,75

Os resultados mostram que todos os parâmetros avaliados apresentaram aumento dos valores, indicando que a área de Savana Florestada na Chapada do Araripe acumulou biomassa durante o período observado. O carbono contido na biomassa tem tendência a aumentar de forma proporcional ao desenvolvimento da formação florestal, conforme observação do IPA positivo para os estoques.

O conhecimento da biomassa permite prever sobre a composição e estrutura da floresta (Colgan et al., 2014). Os valores observados de estoque de biomassa e carbono e a moderada capacidade de incremento neste refletem um estado de sucessão vegetal mais próximo do avançado. Com isso, é possível apontar que a área de estudo detém potencialmente a capacidade de estocar biomassa e carbono de forma acumulativa, devido ao crescimento da vegetação em direção ao estoque completo, tendo em vista que ainda possui espaços a serem ocupados por vegetação, dado ao IPA positivo que projeta o aumento.

Em áreas de Cerrado é importante ressaltar que o acúmulo de biomassa aumenta o risco de incêndios, principalmente no período da seca (Miranda et al., 2002), no entanto, na Savana Florestada (Cerradão) o risco é menor em virtude de fatores como a maior altura dos indivíduos arbóreos com maior sombreamento e maior densidade relativa total. Guimarães (2020) observando 14 estudos que quantificaram biomassa aérea em áreas de Savana Florestada no Brasil, observou que a biomassa arbórea estimada pelos estudos teve uma amplitude entre 14,56 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ e 178,57 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$, obtidos respectivamente no Estado de Minas Gerais (Silveira et al., 2019) e no Estado de Tocantins (Haidar et al., 2013). Essa fitofisionomia possui composição florística bastante variável e com intercalações com outras fitofisionomias, formando gradientes mais densos e menos densos (Felfili et al., 1994), mostrando assim, essa variabilidade de valores de biomassa observada.

O valor do IPA para diâmetro médio observado nesse trabalho foi semelhante aos encontrados por Miguel et al. (2011) em três estratos topológicos (alto, médio e baixo) de uma área de transição entre Cerrado e Floresta Amazônica no Estado brasileiro de Mato Grosso (incremento periódico anual em diâmetro de 0,20; 0,25 e 0,35 $\text{cm}.\text{ano}^{-1}$).

O resultado do incremento de área basal observado neste estudo (0,25 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) é semelhante a outros encontrados em formações florestais conservadas no Brasil, como pode ser

observado por Schaaf (2001) em São João do Triunfo ($0,24 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) e Figueiredo Filho et al. (2010) em Irati ($0,23 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$), ambos no Estado do Paraná e Cubas, Watzlawick e Figueiredo Filho (2016) no município de Três Barras, Estado de Santa Catarina ($0,28 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$), no entanto, apresenta-se inferior ao valor observado por Benício et al. (2022) ($0,51 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) em trabalho realizado por meio de metodologia similar em área de mata úmida na Chapada do Araripe, a cerca de 30 km do local desta pesquisa.

O valor observado do incremento volumétrico médio anual ($3,56 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) também se apresenta menor que o encontrado por Benício et al. (2022) ($4,4 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), no entanto, valores abaixo do observado neste estudo foram encontrados por Oliveira (2005), Colpini et al. (2010) e Souza et al. (2012), que ao pesquisarem florestas naturais ou pouco manejadas no Brasil relataram IPAs em volume igual a $0,70 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, $2,11 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $1,31 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Isto pode ser explicado devido à diferença na estrutura das fitofisionomias, que tem na Savana Florestada valores mais baixos dos parâmetros fitossociológicos como: área basal, densidade, e índice de valor de importância e maior número de indivíduos e espécies com hábitos de subcaducifolia na comunidade. Conforme Torres et al. (2017), o índice de valor de importância (VIC) além de ser útil em seleção de espécies que mais estocam carbono é também um indicador potencial para utilização em projetos REDD+, por aliar informações fitossociológicas com estocagem de carbono. São premissas como essas que elevam a importância de se escolher e/ou adaptar metodologias mais direcionadas com os objetivos das pesquisas.

A média da biomassa viva estocada no período do estudo, considerando a área total avaliada (1 ha) foi de $21,81 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$, sendo que destes, $10,90 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$ é de carbono orgânico, o que corresponde a 50% da biomassa total, mantido em acordo a estimativa proposta pelo IPCC, de 50% de carbono em relação à biomassa seca. O bioma Cerrado, o segundo maior do Brasil e com diferentes fitofisionomias, que se estendem, inclusive, pela Chapada do Araripe, apresenta valores estimados para biomassa que variam entre $5,50$ e $62,96 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$, sendo maior para as formações florestais (Roquette, 2018).

Diferenças nos valores de IPA para algumas das variáveis estudadas, quando comparadas com dados constantes na literatura para áreas de Cerrado ou formações florestais com características semelhantes ocorrem devido a diferenças na metodologia e idiossincrasias das comunidades estudadas. Foi possível observar com este estudo a média/baixa mortalidade na comunidade, além de semelhança no número de indivíduos quando comparado a outros trabalhos. A taxa média de recrutamento observada na pesquisa é comum a áreas que não sofreram perturbações mais severas no passado, como incêndio ou outras que são comuns em ambientes savânicos no Brasil.

Valores de biomassa em comunidades de Cerrado podem variar mediante diversos fatores. Moraes et al. (2013) comentam que a distribuição da biomassa aérea está relacionada principalmente à presença de indivíduos arbóreos na composição das fitofisionomias, cujos troncos têm maior capacidade de armazenagem do carbono que as raízes, por exemplo. Otoni et al. (2013) observaram que a distribuição de espécies arbóreas no Cerrado ocorre em função das distâncias com os cursos d'água, fertilidade (P, K e Ca) e acidez do solo, fatores relacionados ao maior armazenamento de biomassa e carbono.

Verificou-se que o volume comercial de madeira encontrado possui 22,56 t de massa seca, sendo o incremento médio anual em massa igual a 1,49 t.ha⁻¹. Fazendo a conversão para massa de carbono, vê-se que a floresta em pé apresenta atualmente 11,28 t de carbono estocados e um incremento médio anual de 0,75 t.ha⁻¹. A média de biomassa obtida foi de 21,81 t.ha⁻¹, com estoque médio de carbono de 10,90 t.ha⁻¹ e média de 40,01 t.ha⁻¹ de CO₂eq sequestrado da atmosfera.

Neste trabalho as médias de estoque de C e de CO₂ são similares a resultados de outras pesquisas no Brasil. Em área de Cerradão no Estado de São Paulo, Melo et al. (2009) encontraram valores de carbono fixado em 15,2 t.ha⁻¹. Lopes e Miola (2010) avaliando o potencial de sequestro de carbono em algumas formações de Cerrado, não encontraram diferenças significativas entre estas, sendo a Savana Florestada a formação que obteve maior potencial de sequestro de carbono, com média de estoque de 9,90 t.ha⁻¹ de C e de 36,33 t.ha⁻¹ de CO₂. Fearnside (1992) estudando a biomassa aérea do Bioma Cerrado apresentaram valores de 11 a 52 t.ha⁻¹ para estoque de C e CO₂, respectivamente. Para o Cerradão do Pantanal no município de Nhecolândia, Estado do Mato Grosso do Sul, Fernandes et al., (2008) encontraram valores baixos de 1,44 t.h⁻¹ de carbono e 5,28 t.h⁻¹ de CO₂. Em trabalho realizado no Jardim Botânico de Brasília, Cerrado s.s. na região central do Brasil, os autores anotaram resultados do estoque de biomassa e carbono aéreos respectivamente de: 29,4 t.h⁻¹ e 14,7 t.h⁻¹ (Castro e Kauffman, 1998). Em outro estudo realizado em área de Cerrado s.s. em Brasília a biomassa apresentou valor de 21,4 t.h⁻¹, enquanto o Carbono aéreo e CO₂ obtidos foram respectivamente: 10,7 t.h⁻¹ e 39,26 t.h⁻¹ (Haridansan, 2000).

Essa discrepância nos valores encontrados ocorre devido à utilização de diferentes metodologias, além de influências climáticas, edáficas e hidrológicas e a ação do fogo no passado que afetam o desenvolvimento das fisionomias (Castro e Kauffman, 1998; Aduan et al., 2003). Segundo Souza et al. (2012) a estocagem e o sequestro de carbono estão relacionados ainda com a estrutura fitossociológica, composição florística e o estágio sucessional da floresta.

O valor do estoque de carbono total encontra-se inserido no intervalo registrado para áreas de Cerrado *sensu stricto* conforme levantamento realizado por Rezende e Felfili (2004).

Avaliando valores de estoque de carbono em troncos e galhos de plantas lenhosas do Cerrado s.s. do Brasil Central, com uso de metodologia idêntica à adotada neste estudo, as autoras encontraram valores entre 3,71 t.ha⁻¹, no município de Patrocínio, Estado de Minas Gerais e 13,27 t.ha⁻¹, no município de Alvorada do Norte, Estado de Goiás.

A variação nos resultados de densidade de biomassa e estoque de carbono é observada em vários trabalhos realizados ao redor do mundo. Aponte et al. (2020) apresentaram altos valores para florestas úmidas (178 t.C.ha⁻¹) e para florestas de clima mais seco (109 t.C.ha⁻¹) na Austrália, observando incremento entre os anos de 2010 e 2015. Hofhansl et al., (2020) apontam o armazenamento de carbono em florestas tropicais na Costa Rica variando de 114 a 200 t.ha⁻¹. Sasmito et al. (2020) estudando estoques totais de carbono de manguezais na Indonésia observaram variações entre 182 e 2.730 (média $\pm$ DP: 1.087 $\pm$ 584) t.C/ha. Aye (2022) encontrou valor de biomassa média estimada de 335,55 $\pm$ 181,41 t.ha⁻¹ também em ambiente de manguezal em Myanmar. Raihan et al. (2021) relataram que a estimativa para o ano de 2020 de estoque de carbono da biomassa florestal na Malásia foi de 2.789 milhões de toneladas e a densidade média de carbono de 157,5 t.h⁻¹. Variação nos valores de 130,90 a 159,94 Tg.C ano⁻¹ no período 2010–2050 foram anotadas por Zhang et al. (2018), devido ao aumento da área florestal e da densidade de carbono da biomassa em florestas chinesas, indicando a alta funcionalidade destas como sumidouros de carbono. Mannan et al. (2019) encontraram em estudo realizado no Paquistão, resultados para biomassa de 560,56 $\pm$ 104,33 t.ha⁻¹, 350,95 $\pm$ 104,33 t.ha⁻¹ e 153,63 $\pm$ 104,33 t.ha⁻¹ para florestas temperadas subtropicais úmidas e florestas subtropicais de folhas largas, respectivamente, com valores estimados de estoque de C de 313,94 $\pm$ 44,78 t.C.ha⁻¹, 221,34 $\pm$ 44,78 t.C.ha⁻¹ e 131,77 $\pm$ 44,78 t.C.ha⁻¹ para florestas temperadas subtropicais úmidas e folhosas subtropicais, respectivamente.

Enfatiza-se que a área de estudo está inserida no Bioma Caatinga (região semiárida) no nordeste do Brasil e o Cerrado é um bioma brasileiro com sua faixa *core* na região central, estendendo-se com amplas adjacências para outras regiões, estabelecendo-se, no Nordeste, em topos de planaltos mais elevados. Fatores climáticos, diferenças na tipologia de solos e intervenções antrópicas severas contribuem para ocorrência de dissimilaridades florísticas e estruturais no segundo maior bioma brasileiro. Contudo, a área de estudo que está inserida em Unidade de Conservação Federal e não apresenta histórico de incêndios ou interferências significativas em seu manejo, aparenta estar em bom estado de conservação, tendo apontadas diferenças de valores de biomassa, estoque e sequestro de carbono em relação a distintas formações vegetais, o que é expressado de acordo com a composição da flora lenhosa de cada comunidade.

Estes resultados mostram o potencial (ainda inexplorado) de sumidouro de carbono da Savana Florestada dessa região do Brasil e sugerem seu aproveitamento para projetos de créditos de carbono a nível nacional e mundial como alternativa para melhor uso da terra e na mitigação das mudanças climáticas globais.

3.3 Análise química do teor de carbono orgânico

Os resultados da análise do teor de carbono nos compartimentos folhas, galhos e miscelânea são apresentados na tabela 5. Observa-se uma diferença no teor de carbono dos três compartimentos o que aponta para uma variação na absorção de carbono na Savana Florestada.

Tabela 5. Média de valores de massa de serrapilheira, teor e massa de carbono acumulados em área de Savana Florestada (Cerradão), Chapada do Araripe, Crato, Ceará, Nordeste brasileiro.

Compartimentos	Massa da serrapilheira (t.ha⁻¹)	Teor de carbono (%)	Massa de carbono (t.ha⁻¹)
Folhas	11,19	42,8	0,48
Galhos	3,99	14,2	0,057
Miscelânea	1,74	22,4	0,039
Total	16,92	26,4	0,576

Conforme Sun et al. (2016) é possível haver variações nos valores dos diferentes compartimentos das árvores com relação aos teores de carbono e quanto ao potencial de estoque de carbono. Um processo de amostragem bem dirigido e a análise em separado das folhas, galhos e miscelânea ajudam a diminuir equívocos nas estimativas das fitofisionomias e de cada região, com relação ao estoque de carbono.

Neste trabalho observa-se maior porcentagem de teor de carbono no componente folhas, o que corrobora com resultados obtidos por Vieira et al. (2009), que observaram teores médios de carbono para espécies do Cerrado nas proporções de 43,24% para folhagem, assim como Watzlawick et al. (2011), que ao estudarem espécies arbóreas de Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná, observaram os maiores valores médios de teor de carbono no componente folhas. Isso pode ser decorrente da atividade metabólica mais intensa das folhas, local em que os processos de fotossíntese e transpiração acontecem na planta. O fato de o componente miscelânea ter apresentado quase a metade do valor de média de teor de carbono com relação ao componente folha pode ser explicado pela menor diversidade de matéria orgânica presente em estruturas como frutos (na maioria do tipo seco) e flores de plantas da Savana Florestada, resultado este que difere do que se observou em mata úmida na Chapada do Araripe (Benício et al., 2022), onde o componente miscelânea apresentou maior valor médio de carbono (56,08%).

Estudos de quantificação de biomassa e estimativas de estoque e sequestro de carbono nos diferentes compartimentos são fundamentais para a conservação de áreas florestais e podem ser usados como referência para elaboração de projetos de neutralização de carbono na esfera do Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável (MDS) (Benício et al., 2022), no Mercado Regulado de Carbono, assim como no Mercado Voluntário, dentro das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para fins de reflorestamento ou nos projetos REDD+, para fins de conservação.

É importante mencionar que os resultados aqui discutidos são referentes tão somente ao carbono da biomassa viva acima do solo e do incremento médio anual – IPA da serrapilheira senescente, sendo observada a relação com variáveis climáticas; sendo dispensada a realização da quantificação do carbono no solo e na biomassa abaixo do solo, o que pode gerar alguma subestimativa do potencial real que a Savana Florestada da Chapada do Araripe possui para participar de projetos e gerar créditos de carbono. Este é o primeiro estudo em uma área de Savana Florestada com enfoque em estimativa de estoque e sequestro de carbono na Chapada do Araripe e pode subsidiar outros estudos complementares por outros pesquisadores dessa região do Brasil. A metodologia usada e os resultados aqui obtidos denotam a importância da área estudada neste processo e são também relevantes para análises comparativas em estudos futuros quanto aos valores de GEEs que deixaram de ser emitidos para a atmosfera.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo apresentam-se similares a outros trabalhos publicados em áreas *core* ou disjuntas de Cerrado no Brasil para valores de carbono acumulado na biomassa aérea, no entanto, valores do incremento periódico anual e da produção de serrapilheira estão abaixo de áreas de Savana Florestada na região Centro-Oeste, indicando que variáveis climáticas estão relacionadas.

O carbono contido na biomassa tem tendência a aumentar de forma proporcional ao desenvolvimento da Savana Florestada, conforme o incremento periódico anual positivo para os estoques, mostrando assim o potencial (ainda inexplorado) dessa formação florestal no sumidouro de carbono atmosférico (média de $40 \text{ t.ha}^{-1} \text{ CO}_2\text{eq.ha.ano}$).

O carbono armazenado é o serviço que contribui para o carbono estocado, podendo indicar a importância do correto manejo deste recurso que é em sua totalidade natural, favorecendo processos de ciclagem florestal.

Sugere-se o aproveitamento desses dados para projetos de créditos de carbono a nível nacional e mundial como alternativa para melhor uso dos terrenos e na mitigação das mudanças

climáticas globais. Para estudos posteriores ou complementares é importante que sejam avaliadas também a biomassa da regeneração natural e outros reservatórios.

5. REFERÊNCIAS

- Aduan, R. E., Vilela, M. F., Klink, C. A., 2003. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro. Primeira Edição. Embrapa, Distrito Federal.
- Anjali, K., Khuman, Y., Sokhi, J., 2020. A Review of the interrelations of terrestrial carbon sequestration and urban forests. *AIMS Environmental Science* 7 (6), 464–485. <https://doi.org/0.3934/environsci.2020030>.
- Aponte, A., Kasel, S., Nitschke, C.R., Tanase, M.A., Vickers, H., Parker, L., Fedrigo, M., Kohout, M., Ruiz-Benito, P., Zavala, M.A., Bennett, L.T., 2020. Structural diversity underpins carbon storage in Australian temperate forests. *Global Ecol. Biogeogr.* (29) 789–802. <https://doi.org/10.1111/geb.13038>.
- Arato, H. D., Martins, S. V., Ferrari, S. H. S., 2003. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*, (27), 715-721. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500014>
- Aye, W. N., Tong, X., Tun, A. W., 2022. Species diversity, biomass and carbon stock assessment of Kanhlyashay Natural Mangrove Forest. *Forests*, 13 (7), 1013. <https://doi.org/10.3390/f13071013>.
- Baccini, A., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hacker, J., Beck, P. S. A., Dubayah, R., Fried, M. A., Samanta, S., Houghton, R. A., 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nat. Clim. Chang*, 2 (3), 182-185. <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>.
- Benício, R.M.A., [Linhares, K. V. A.](#), [Lisboa, A. A. N.](#), [Cruz, G. V.](#), [Silva, L. V. A.](#), [Nascimento, A. S.](#), [Silva, M. A. P.](#), [Rocha, L. S. G.](#), Drumond, M. A., Tonucci, R. G., [Calixto Júnior, J. T.](#), 2022. Carbon stock and sequestration as a form of payment for environmental services in a sedimentary basin humid forest refuge in brazilian semiarid. *Environmental Development*, (45) 100796. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100796>.
- Bôas, H. V., Miranda, E. N., Araújo, L. A., Carvalho, M. C., Pácoa, K. J. V., Gomide, L. R., 2019. Influência de gradientes geográficos na estimativa do estoque de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. *BIOFIX Scientific Journal*, 4 (2), p. 137-145. [dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i2.66089](https://doi.org/10.5380/biofix.v4i2.66089).

- Bray, J. R., Gorham, E., 1964. Produção de serrapilheira nas florestas do mundo [Advances in Ecological Research](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60331-1), (2) 101-157. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60331-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60331-1).
- Brown, S., Gillespie, A. Jr., Lugo, A. E., 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, (35) 881-902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>.
- Caldeira, M. V. W.; Marques, R., Soares, R. V., Balbinot, R., 2007. Quantificação de serrapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. *Revista Acadêmica*, 5 (2), 01-116. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v5i2.9720>.
- Carvalho, F.F., Barreto-Garcia, P.A.B., Aragão, M.A., Virgens, A.P., 2019. Litterfall and litter decomposition in pinus and native forests. *Floresta e Ambiente*, 26 (2), e20170165. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.016517>.
- Chan, K.M.A., Anderson, E.K., Chapman, M., Jespersen, K., Olmsted, P., 2017. Payments for ecosystem services: rife with problems and potential for transformation towards sustainability. *Ecol. Econ.* (140) 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.029>.
- Campos, J. O., Chaves, H. M. L., 2020. Tendências e variabilidades nas séries históricas de precipitação mensal e anual no Bioma Cerrado no período 1977-2010. *Revista Brasileira de Meteorologia*, (35) 157-169. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351019>.
- Cianciaruso, M. V., Pires, J. S. R., Delitti, W. B. C., Silva, E. F. L., 2006. Produção de serrapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, (20) 49-59. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100006>.
- Colgan, M. S., Swemmer, T., Asner, G. P., 2014. Structural relationships between form factor, wood density, and biomass in African savanna woodlands. *Trees*, (28) 91-102. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0932-7>.
- Costa, I. R., Araújo, F. S., 2007. Community organization of cerrado sensu stricto within the Caatinga Biome, Araripe plateau, Barbalha Municipality, Ceará. *Acta Botanica Brasilica*, (21) 281-291. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062007000200004>.
- Dantas, M., Philipson, J., 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian ‘terra firme’ rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 5 (1), 27-36. <https://doi.org/10.1017/S0266467400003199>.
- Cubas, R., Watzlawick, L. F., Figueiredo Filho, A., 2016. Increment, Ingrowth, Mortality in a Fragment of Mixed Ombrophilous Forest in Three Bars-SC State. *Ciência Florestal*, 26 (3), 889-900. <https://doi.org/10.5902/1980509824216>.

- Castro, E. A., Kauffman, J. B., 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: A vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of tropical ecology*, 14 (3), 263-283. <https://doi.org/10.1017/S0266467498000212>.
- Colpini, C., Silva, V. S. M., Soares, T. S., Higushi, N., Travagin, D. P., Assumpção, J. V. L., 2010. Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 40(3), 549-556. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300014>
- Dias, H. C. T., Oliveira-Filho, A. T., 1996. Fenologia de quatro espécies arbóreas de uma floresta estacional semidecídua montana em Lavras, MG. *Cerne*, 2(1), 66-88. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/18349> (Acessed 15 february 2023).
- Embrapa, 2008. Estoques de carbono do estrato arbóreo de cerrados no pantanal da Nhecolândia. Corumbá, MS, vol. 68. Embrapa; Comunicado Técnico n.
- Embrapa, 2018. In: Brasília (Ed.), Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. DF: Embrapa.
- JBRJ. Jardim Botânico Rio de Janeiro. 2017. <https://www.gov.br/jbrj/pt-br>. (Acessed 16 May 2023).
- Lago Lopes, K. A., Silva, M. S., Costa, L. S., Oliveira, A. K. S., Silva, E. A., Almeida, E. I. B., Oliveira, I. R., Oliveira, L. B. T., Souza, W., Freitas, J. R. B., 2020. Fitossociologia do banco de sementes de plantas daninhas em campo agrícola e vegetação de cerrado. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(4), 362-370. [10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0029](https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0029).
- Fajardo, A. M. P., Timofeiczky Junior, R., 2015. Avaliação financeira do sequestro de carbono na Serra de Baturité, Brasil, 2012. *Floresta e Ambiente*, 22(3), 391-399 <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.061413>.
- Felfili, J. M., Silva, J.R., M. C., Haridasan, M., Mendonça, R. C., Filgueiras, T. S., Walter, B. M. T., Silva, P. E. N., 1994. Projeto biogeografia do bioma Cerrado: vegetação e solo. *Cadernos de Geociências*, 12(4), 75-166. ISSN: 0103-1597. <https://biblat.unam.mx/pt/revista/cadernos-de-geociencias/2>. (Acessed 09 may 2023).
- Fearnside, P. M., 1992. Greenhouse gas emissions from deforestation in Brazilian Amazonia. in: Makundi, W., Sathaye, J. (Eds), Carbon emissions and sequestration in forests: case studies from developing countries. Berkley: EPA; v. 2, p. 73. UC Berkley. <https://escholarship.org/uc/item/73m8w37s>.

- Fernandes, T. J. G., Soares, C. P. B., Jacovine, L. A. G., Alvarenga, A. P., 2008. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. *Revista Árvore*, 31(4), 657-665. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400010>.
- Ferreira, M. L., Silva, J. L., Pereira, E. E., Lamano-Ferreira, A. P. N., 2014. Produção e decomposição de serrapilheira num fragmento de floresta secundária Atlântica de São Paulo, sudeste do Brasil. *Revista Árvore*, 38(4), 591-600. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400002>.
- Ferreira, M. L., Uchiyama, E. A., 2015. Avaliação da serrapilheira em um fragmento de floresta tropical secundária, Ibiúna, SP, sudeste do Brasil. *Revista Árvore*, 39(5), 791-799. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500002>.
- Figueiredo Filho, A., Dias, A.N., Stepka, T.F., Sawczuk, A.R., 2010. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em floresta Ombrofila Mista. *Floresta*, 40 (4), 763-776. <https://doi.org/10.5380/rf.v40i4.20328>.
- Funceme - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário chuvoso, 2023. <http://www.funceme.br/> (Accessed 18 February 2023).
- Giweta, M., 2020. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment* 44(1), 2288-1220. <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2>.
- Goldin, A., 1987. Reassessing the use of loss on ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 18(10), 1111-1116. <https://doi.org/10.1080/00103628709367886>.
- Guimarães, L. E., 2020. Biomass of tree, undergrowth and necromass in forest and savanna formations in Goiás. PhD Thesis in Agronomy: Crop Production – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Haidar, R. F.; Dias, R. R.; Felfili, J. M., 2013. Mapeamento das regiões fitoecológicas e inventário florestal do estado do Tocantins. Governo do Estado do Tocantins, Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Regiões Fitoecológicas da Faixa Centro. Escala 1:100.000. Palmas: Seplan. vol. II.
- Haridasan, M., 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 12(1), 54-64, 2000.
- Herr, D., Pidgeon, E., Laffoley, D., 2012. Blue carbon policy framework 2.0: based on the discussion of the International Blue Carbon Policy Working Group. First edition, Gland, Switzerland: IUCN and Arlington, USA.

- Hofhansl, F., Chacón-Madrigal, E., Fuchslueger, L., Jenking, D., Morera-Beita, A., Plutzer, C., Silla, F., Andersen, K. M., Buchs, D. M., Dullinger, S., Fiedler, K., Franklin, O., Hietz, P., Huber, W., Quesada, C. A., Rammig, A., Schrod, F., Vincent, A. G., Weissenhofer, A., Wanek, W., 2020. Climatic and edaphic controls over tropical forest diversity and vegetation carbon storage. *Scientific Reports*, 10(1), 5066.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET., 2023. Normas Climatológicas do Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=>. (Accessed 27 January 2022).
- Schaaf, L.B., 2001. Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Paraná. Masters degree thesis (Forest Engineering). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Klinge, H., Rodrigues, W., 1968. Litter Production in an Area of Amazonian Terra Firme Forest. Part I. Litter-fall, Organic carbon and total Nitrogen Contents of Litter'. *Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas*, 1(4), 287-302. <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/39216>.
- Kosoe, E. A.; Ahmed, A., 2022. Climate change adaptation strategies of cocoa farmers in the Wassa East District: Implications for climate services in Ghana. *Climate Services*, (26) 100289. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100289>.
- Leitão Filho, H. F., Pagano, S. N., Cesar, O., Timoni, J. L., Rueda, J.J., 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. Editora da Universidade Estadual Paulista e Editora da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Lima, M. F., 1983. Mapeamento e demarcação da Floresta Nacional do Araripe. Fortaleza: IBDF/FCPC/UFC.
- Lima, R. B., Luiz, R., Silva, J. A. A., Alves Junior, F. T., Oliveira, C. P., 2020. Estimating tree volume of dry tropical forest in the Brazilian Semi-Arid Region: a comparison between regression and artificial neural networks. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(4):1-19. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1754241>.
- Lin, H., Kuzminov, F. I., Park, J., Lee, S., Falkowski, P. G., Gorbunov, M. Y., 2016. The fate of photons absorbed by phytoplankton in the global ocean. *Science*, 351(6270):264-7. <https://doi.org/10.1126/science.aab2213>.
- Loiola, M. I. B., Araújo, F. S., Lima-Verde, L. W., Souza, S. S. G., 2015. Flora da Chapada do Araripe. In: Albuquerque U. P., Meiado, M. V. (Eds) *Sociobiodiversidade na Chapada do Araripe*, (1) 103-148.
- Lopes, R. B., Miola, D. T. B., 2010. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. *Synthesis Revistal Digital FAPAM*, 2(1), 127-143. www.fapam.edu.br/revista.

- Miranda, H. S., Mercedes, M. C., Bustamante., Miranda, A. C., 2002. The Fire Factor. In: Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (eds.). The Cerrado of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press, 69-88 p.
- MELO, A. C. G., Souza, H., Contieri, W. A., Malicia, L. C., 2009. Biomassa, Fixação de Carbono e Estrutura da Vegetação de Cerrado em restauração aos seis anos, Assis, SP. Revista Instituto Florestal 21(1) 73-78. https://smastr16.blob.core.windows.net/inflorestal/infref/RIF21-1/RIF21-1_73-78.pdf. (Accessed 18 February 2023).
- Luizão, F. J., Schubart, H. O. R., 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. Experientia, 43(3), 259-265. <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/19622>. (Accessed 18 February 2023).
- Mannan, A., Liu, J., Zhongke, F., Khan, T. U., Saeed, S., Mukete, B., Chaoyong, S., Yongchiang, F., Ahmad, A., Amir, M., Ahmad, S., Shah, S., 2019. Application of land-use/land cover changes in monitoring and projecting forest biomass carbon loss in Pakistan. Global Ecology and Conservation, (17) e00535. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00535>.
- Maman, A. P., Silva, C. J., Sguarezi, E. M., Bleich, M. E., 2007. Produção e acúmulo de serrapilheira e decomposição foliar em mata de galeria e cerradão no sudoeste de Mato Grosso. Revista de Ciências AgroAmbientais, Alta Floresta, 5 (1), 71- 84. <http://www.unemat.br/revistas/rcaa/>. (Accessed 19 February 2023).
- Martins, S. V., Rodrigues, R. R., 1999. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. Brazilian Journal of Botany, 22(3), 405-412. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000300009>.
- Mello, A. P., MEIRA, A. C. S., Sanquetta, C., Ferreira, R. A., 2019. Estimativas de biomassa e carbono em área de Mata Atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto. Biofix Scientific Journal, 5(1):130. <https://doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67298>.
- Miguel, A., Marimon, B. S., Oliveira, E. A., Maracahipes, L., Marimon-Junior, B. H., 2011. 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, 11(1), 53-61. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000100005>.
- Molthan-Hill, P., Worsfold, N., Nagy, G. J., Leal Filho, W., 2019. Climate change education for universities: A conceptual framework from an international study. Journal of Cleaner Production, v. 226, p. 1092-1101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.053>.

- Morais, V. A., Scolforo, J. R. S., Silva, C. A., Mello, J. M., Gomide, L. R., Oliveira, A. D., 2013. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerradão in Minas Gerais state, Brazil. *Cerne*, 19 (1), 237-245. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000200007>.
- Morandi, P. S., Schwantes M. B, Marimon-Junior, B. H., Ratter, J. A., Feldpausch, T. R., Colli, G. R., Munhoz, C. B. R., Silva Júnior, M.C., Lima, E. S., Haidar, R. F., Arroyo, L., Murakami, A. A., Aquino, F. G., Walter, B. M. T., Ribeiro, J. F., Françoso, R., Elias, F., Oliveira, E. A., Reis, S. M., Oliveira, B., Neves, E. C., Nogueira, D. S., Lima, H. S., Carvalho, T. P., Rodrigues, S. A., Villarroel, D., Felfili, J. M., Phillips, O. L., 2020. Tree diversity and above-ground biomass in the South America Cerrado biome and their conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, 29 (5), 1519-1536. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1589-8>.
- Mueller-Dombois, D., Ellenberg, H., 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wile.
- National Aeronautics and Space Administration. 2021. Global Temperature. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>. (Acessed 21 january 2023).
- Oliveira, C. P., Francelino, M. R., Daher, M., Araújo, E. J. G., Sanches, L. S., Andrade, K D. C., Campos, J. S. N., 2019. Estimation of the aboveground biomass and carbon stocks in open Brazilian Savannah developed on sandy soils. *Carbon Balance and Management*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0121-0>.
- Oliveira, L.C., Couto, H.T.Z., Silva, J.N.M., Carvalho, J.O.P., 2005. Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós. *Scientia Forestalis*, (69):62-76. <https://doi.org/10.11606/T.11.2005.tde-29092005-121759>
- Otoni, T. J. O., Pereira, I. M., Oliveira, M. L. R., Machado, E. L. M., Farnezi, M. L., Mota, S. L. L., 2013. Componente arbóreo, estrutura fitossociológica e relações ambientais em um remanescente de cerradão, em Curvelo-MG. *Cerne*, 19(2) 201-211. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000200004>.
- Otto, Daniel., Caeiro, S., Nicolau, P., Disterheft, A., Teixeira, A., Becker, S., Bollman, A., Sander, K., 2019. Can MOOCs empower people to critically think about climate change? A learning outcome based comparison of two MOOCs. *Journal of Cleaner Production*, 222 (10), 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.190>.
- Pagano, S. N., 1989. Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, 49(3), 633-639.

- Paula, S. A., Lemos Filho, J. P., 2001. Dinâmica do dossel em mata semidecídua no perímetro urbano de Belo Horizonte, MG. *Brazilian Journal of Botany*, 24(4), 545-551. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000500009>.
- Pedro, C.M., Silva, F.C.S., Batista, A.C., Viola, M.R., Coelho, M.C.B., Giongo, M., 2019. Supplying and decomposition of burlap in a fragment of cerrado *sensu stricto*. *Floresta* 49 (2), 237–246. <https://doi.org/10.5380/rf.v49i2.57011>.
- Pörtner, H., [Roberts](#), D. C., [Tignor](#), M. M. B., [Poloczanska](#), E., [Mintenbeck](#), K., [Alegría](#), A., [Craig](#), M. H., [Langsdorf](#), S., [Löschke](#), S., [Möller](#), V., [Okem](#), A., [Rama](#), B., [Belling](#), D., [Dieck](#), W., [Götze](#), S., [Kersher](#), T., [Mangele](#), P., [Maus](#), B., [Mühle](#), A., [Nabiyeva](#), K., [Nicolai](#), M., [Niebuhr](#), A., [Petzold](#), J., [Prentzler](#), E., [Savolainen](#), J., [Scheuffele](#), H., [Weisfeld](#), S., [Weyer](#), N., 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Geneva, Switzerland: IPCC. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Raihan, A., Begum, R. A., Nizam, M. S., Siad, M., Preira, J. J., 2021. Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia. *Forests*, 12(10), 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>.
- Rezende, A. V.; Felfili, J. M., 2004. Avaliação do estoque de carbono do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. *Comunicações Técnicas Florestais*, 6(2), 1-27.
- Rodrigues, W. A., Klinge, H., Fittkau, E. J., 2000. Estrutura e funcionamento de um ecossistema florestal amazônico de terra firme junto à Reserva Florestal Walter Egler, município de Rio Preto da Eva, Amazonas, Brasil. *Acta Biológica Paranaense*, v. 29, (1, 2, 3, 4): 219-243. <https://doi.org/10.5380/abpr.v29i0.592>.
- Roquette, J. G., 2018. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. *Ciência Florestal*, 28 (3) 1350-1363. <https://doi.org/10.5902/1980509833354>.
- Saini, S., Sharma, M., Kumar, A., 2018. Global warming and climate change: next generation biofuels and role of biotechnology. *Intl J Life Sci Pharma Res*, 8(2) 52-57.
- Sanches, L., Valentini, C. M. A., Biudes, M. S., Nogueira, J. S., 2009. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(2), 183-189. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000200012>.
- Sasmito, S. D. [Sillanpää](#), M., [Hayes](#), M. A., [Bachri](#), S., [Saragi-Sasmito](#), M. F., [Sidik](#), F., [Hanggara](#), B. B., [Mofu](#), W. Y., [Rumbiak](#), V. I., [Taberima](#), H. S., [Nugroho](#), S. J. D., [Pattiasina](#), T. F., [Widagti](#), N., [Rahajoe](#), B. J. S., [Nikijuluw](#), H. H. V., [Jowey](#), R. N., [Heatubun](#), C. D., [Ermgassen](#), P. Z., [Worthington](#), T. A., [Howard](#), J., [Lovelock](#), C. E.,

- [Friess](#), D. A., [Hutley](#), L. B., [Murdiyarso](#), D., 2020. Os estoques e a dinâmica do carbono azul dos manguezais são controlados por configurações hidrogeomórficas e mudanças no uso da terra. *Biologia da Mudança Global*, 26(5), pág. 3028-3039. <https://doi.org/10.1111/gcb.15056>.
- Sano, E.E., Rodrigues, A.A., Martins, E.S., Bettiol, G.M., Bustamante, M.M.C., Bezerra, A.S., Couto, A.F., Vasconcelos, V., Schüller, J., Bolfe, E. L., 2019. Cerrado Ecoregions: A Spatial Framework to Assess and Prioritize Brazilian Savanna Environmental Diversity for Conservation. *Journal of Environmental Management* 15(232):818-828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>.
- Sloboda, B., Marques, R., Blum, H., Donha, C., Silveira, F., Capretz, R., 2017. Litterfall and Nutrient Dynamics in a Mature Atlantic Rainforest in Brazil. *Revista Floresta e Ambiente* [online], Seropédica, v. 24. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.033916>.
- Silveira, E. M. O., Espírito Santo, F. D., Wulder, M. A., Acerbi Júnior, F. W., Carvalho, M. C., Mello, C. R., Mello, J. M., Shimabukuro, Y. E., Terra, M. C. N. S., Carvalho, L. M. T., Scolforo, J. R. S., 2019. Pre-stratified modelling plus residuals kriging reduces the uncertainty of aboveground biomass estimation and spatial distribution in heterogeneous savannas and forest environments. *Forest Ecology and Management*, (445) 96–109. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.016>.
- Scoriza, R.N., Pina-Rodrigues, F.C.M., 2014. Influência da precipitação e temperatura do ar na produção ~ do ar na produção de serrapilheira em trecho de floresta estacional em Sorocaba. *SP. Floresta*. 44 (4), 687–696. [10.5380/rf.v44i4.34274](https://doi.org/10.5380/rf.v44i4.34274).
- Santos, J.E.G., Benício, R.M.A., Silva, J.M., Brito, C.M., Ricarte, M.C.C., Figueiredo, C.U.L., 2020. Fortalecendo o ensino de ciências através da pesquisa paleontológica na bacia sedimentar do araripe, Ceará - Brasil. *Brazilian Journal of Development* 6(5), 28872–28885. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-366>.
- Salati, E. 1994. Emissão x sequestro de CO₂—uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: *Anais do Seminário emissão x sequestro de CO₂ — uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*; 1994; Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CVRD; p. 15-37.
- Santisteban, R. S., 2019. *Mujeres indígenas frente al cambio climático*. ISBN: 978-87-92786-90-6.
- Silva, C. J., Sanches, L., Bleich, M. E., Lobo, F. A., Nogueira, J. S., 2007. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de transição Amazônia-Cerrado do centro-oeste

- brasileiro. *Acta amazônica*, 7(4): 543-548. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400009>.
- Souza, A. L., Boina, A., Soares, C. P. B., Vital, B. R., Gaspar, R. O., Lana, J. M., 2012. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. *Revista Árvore*, 36 (1), 169-179. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000100018>.
- Souza, C.R., Azevedo, C.P., Rossi, L.M.B., Silva, K.E., Santos, J., Higushi, N., 2012. Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. *Acta Amazônica*. Manaus, 42(4), 501 – 506. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000400007>.
- Souza, J. V., Ribeiro, F. C., Bussinguer, A. P., Hodecker, B. E. R., Valadão, M. B. X., Gatto, A., 2016. Stock and litter decomposition in different vegetation types and eucalypt plantations in the Cerrado region, Brazil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(18), 74-81.
- Sun, X., Wang, G., Huang, M., Chang, R., Ran, F., 2016. Forest biomass carbon stocks and variation in Tibet's carbon-dense forests from 2001 to 2050. *Sci. Rep.*, 6(1), 34687. <https://doi.org/10.1038/srep34687>.
- Tavares Filho, G. S., Oliveira, F. F., Mascarenhas, N. M. H., Araújo, C. A. S., Matias, S. S. R., Gregório, M. G., Oliveira, A. G., 2020. Qualidade do solo em áreas nativas e cultivadas na Chapada do Araripe no semiárido do nordeste brasileiro. *Research, Society and Development*, 9(10), e8809108975-e8809108975, <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8975>.
- Torres, C. M. M. E., Jacovine, L. A. G., Oliveira Neto, S. N., Souza, A. L., Campos, R. A., Schettini, B. L. S., 2017. Análise Fitossociológica e Valor de Importância em Carbono para uma Floresta Estacional Semidecidual. *Floresta e Ambiente*, V. 24. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.099714>.
- Toscan, M. A. G., Guimaraes, A. T. B., Temponi, L. G., 2017. Caracterização da produção de serrapilheira e da chuva de sementes em uma reserva de floresta estacional semidecidual, Paraná. *Ciência Florest.* 27 (2), 415–427. <https://doi.org/10.5902/1980509827725>.
- Vieira, G., Sanquetta, C., Klüppel, M. L. W., Barbeiro, L., 2009. Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 7(2):145-155. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v7i2.9846>.
- Villa, E. B., Pereira, M. G., Alonso, J. M., Beutler, S. J., Leles, P. S. S., 2016. Aporte de serrapilheira e nutrientes em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. *Floresta e Ambiente*, 23(1): 90-99 <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.067513>.

- Villa, P. M., Ali, A., Martins, S. V., Oliveira Neto, S. N., Rodrigues, A. C., Teshome, M., Carvalho, F. A., Heringer, G., Gastauer, M., 2020. Stand structural attributes and functional trait composition overrule the effects of functional divergence on aboveground biomass during Amazonforest succession. *Forest Ecology and Management*, (477) 118481. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118481>.
- Vital, A. R. T., Guerrini, I. A., Franken, W. K., Fonseca, R. C. B., 2004. Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore*, 28(6), 793-800. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000600004>.
- Watzlawick, L.F., Ebling, A.A., Rodrigues, A.L., Veres, Q.L., Lima, A.M., 2011. Variação nos Teores de Carbono Orgânico em Espécies Arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente* 8 (3), 248–258. <https://doi.org/10.4322/loram.2011.045>.
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., Chen, W., 2018. Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of Cleaner Production*, (172) 4231-4238, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>.
- Werneck, M. S., Pedralli, G., Gieseke, L. F., 2001. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. *Brazilian Journal of Botany*, 24 (2), 195-198. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000200009>.
- Zhang, C., Ju, W., Chen, J., Fang, M., Wu, M., Chang, X., Wang, T., Wang, X., 2018. Sustained biomass carbon sequestration by China's forests from 2010 to 2050. *Forests*, 9 (11), 689. <https://doi.org/10.3390/f9110689>.
- Zimbres, B., Shimbo, J., Bustamante, M., Levick, S., Miranda, S., Roitman, I., Silvério, D., Gomes, L., Fagg, C., Alencar, A., 2020. Savanna vegetation structure in the Brazilian Cerrado allows for the accurate estimation of aboveground biomass using terrestrial laser scanning. *Forest Ecology and Management*, 458(15), 117798. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117798>.