WILMA ROBERTA DOS SANTOS

COMO A MODIFICAÇÃO CONTROLADA DO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO MODIFICA A INTERAÇÃO SOLO-CAATINGA-ATMOSFERA

Serra Talhada-PE 2024

S A N T O S W R C O M O A M O D I F I C A C Ă O C O N T R • • • 2 0 2 4

WILMA ROBERTA DOS SANTOS

COMO A MODIFICAÇÃO CONTROLADA DO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO MODIFICA A INTERAÇÃO SOLO-CAATINGA-ATMOSFERA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva Co-orientador(a): Prof. DSc. Luciana Sandra Bastos de Souza e DSc. Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim

Serra Talhada-PE 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Universidade Federal Rural de Pernambuco Sistema Integrado de Bibliotecas Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237c Santos, Wilma Roberta dos COMO A MODIFICAÇÃO CONTROLADA DO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO MODIFICA A INTERAÇÃO SOLO-CAATINGA-ATMOSFERA / Wilma Roberta dos Santos. - 2024. 152 f. : il.

> Orientador: Thieres George Freire da Silva. Coorientador: Luciana Sandra Bastos de Souza; Alexandre Manicoba da Rosa Ferraz Jardim. Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal , Serra Talhada, 2024.

1. Florestas secas. 2. Fluxos de energia. 3. Estoques de nutrientes. 4. Palma forrageira. 5. Serapilheira. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Jardim, Luciana Sandra Bastos de Souza; Alexandre Manicoba da Rosa Ferraz, coorient. III. Título

CDD 581.15

WILMA ROBERTA DOS SANTOS

COMO A MODIFICAÇÃO CONTROLADA DO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO MODIFICA A INTERAÇÃO SOLO-CAATINGA-ATMOSFERA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em ____/____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE Orientador

> Dr. Mauro Guida dos Santos – UFPE Examinador Externo

Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – Sede/UFRPE Examinador Externo

Aos meus pais, Valdo e Roberta por todo amor, carinho e empenho na minha formação. Aos meus irmãos Wasghithon e Suelen Roberta e aos meus sobrinhos Pedro Antony e Arthur Miguel.

Amo vocês!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora, pelo dom da vida, por me darem força e coragem para superar as adversidades, me permitindo viver coisas que eu nunca imaginei para mim. "Até aqui nos ajudou o Senhor" 1 Samuel 7:12.

A minha família, em especial aos meus pais Roberta Maria dos Santos e Valdo Nilo dos Santos, por todo amor, amparo e orações. Aos meus irmãos Wasghinthon dos Santos e Suelen Roberta por sempre me recepcionarem a cada retorno. Aos meus sobrinhos Pedro Antony e Arthur Miguel, vocês são a minha fonte de amor mais genuíno, a titia ama vocês S2. As minhas tias, tios, primas e primos por todos os momentos compartilhados ao longo desses anos. A minha avó Maria São Pedro e Rosa Maria (*In memoriam*) por todo amor e cuidado.

Ao meu orientador, professor Thieres George Freire da Silva, por ser um entusiasta na pesquisa, por acreditar e confiar no meu potencial, pela paciência, disponibilidade em sanar minhas dúvidas não me deixando enlouquecer, compromisso e responsabilidade. Sou grata e feliz pela oportunidade 😊.

À professora Luciana Sandra Bastos de Souza, minha coorientadora, que me acompanha desde a graduação, pela paciência, cuidado e carinho. Serei sempre grata por me acolher durante a graduação, me incentivando a percorrer os caminhos que hoje eu trilho.

A Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim, meu coorientador, carinhosamente conhecido por todos como "Xande". Obrigada pelo amparo durante esses dois anos, pela paciência em me ajudar, escutar meus aperreios e reclamações, pela confiança, por fazer a inscrição do doutorado comigo e torcer pela minha aprovação. Tu é demais, Xande 🙄.

Aos membros do Grupo de Agrometeorologia do Semiárido – GAS, em especial Marcelo Silva, Cleber Alves, Daniele Eugênio, José Edson, Álefe Xavier, Jandis Araújo, Leonardo Francelino, Ashlei Shaina, Franciê Carvalho, Lara Rosa, Pedro Paulo, Gustavo Laurindo e Valéria Torres, pelos bons momentos compartilhados, até mesmos os dias de trabalho intermináveis nessa luazinha de Serra Talhada. A Carlos André por ser um braço forte na coleta de dados.

Aos meu colegas de turma, em especial Jamiles Gonçalves, Iara Alves e Glícia Rafaela pelos momentos de estudo, trabalho e dos encontros para comer e aliviar a vida. A minha amiga Brenna Almeida por se fazer presente em minha vida, pelos bons momentos vividos em Serra Talhada tomando um sorvetinho e passeando na praça do IPSEP para jogar conversa fora, pelas inúmeras ligações que fizemos ao longo desses anos, e por sempre torcer pelo meu sucesso. Aos colegas do PGPV, em especial Marcos Lisboa (meu conterrâneo), Lucas Pierre, Bianca Porfírio, Rodrigo Hemerson, Jheiny Carvalho e David Moreira.

Ao casal Luiz Temístocles e Maria do Socorro, juntamente com seus filhos, por terem cedido a área para implantação da pesquisa e pelo carinho e atenção em sempre nos recepcionar em sua casa.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PGVP, pelas oportunidades para o meu crescimento profissional. A todo o corpo docente do PGPV, pela dedicação e contribuições ao longo do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo incentivo à pesquisa.

Muito obrigada!

RESUMO GERAL

No Semiárido brasileiro é possível observar um mosaico de paisagens, em função das atividades antrópicas (i.e., desmatamento). Assim, tais mudanças podem promover reduções nos estoques de carbono (C) e nutrientes, deposição de serapilheira, evapotranspiração e a partição da energia disponível principalmente em regiões áridas e semiáridas. Neste sentido, objetivou-se avaliar a sazonalidade do balanço de energia, evapotranspiração, dinâmica de carbono e nutrientes, além da deposição, decomposição e ciclagem de nutrientes da serapilheira em paisagens sob diferentes níveis de intervenção antrópica no Semiárido brasileiro. Para isso, foram avaliadas seis paisagens, onde quatro estão localizadas em Floresta, Pernambuco (i.e., Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Caatinga desmatada (DEFA) e uma área com clone de palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' no Sertão (OEM-S), e duas paisagens de palma forrageira com os clones 'Orelha de Elefante Mexicana' (OEM-A) e o clone 'IPA-Sertânia' (IPA-A) ambas no Agreste em Pesqueira, Pernambuco. Para tanto, a determinação do balanço de energia e evapotranspiração foi realizado pelo método da razão de Bowen para as paisagens de CAA, REGE e DEFA, enquanto os estoques de C e nutrientes foram quantificados em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) para CAA, REGE, DEFA, OEM-S, OEM-A e IPA-A e a deposição da serapilheira foi monitorada na CAA. O fluxo de calor sensível (H) foi o fluxo dominante em ambas as áreas com 66% para CAA, 63% para REGE e 62% DEFA. O fluxo de calor latente (*LE*) foi equivalente a 28% da R_n para CAA, REGE e DEFA. A evapotranspiração por sua vez, respondeu em função da disponibilidade de água, sendo maior durante as estações chuvosas, com valores médios de 1,82 mm dia⁻¹ para CAA, 2,26 mm dia⁻¹ para REGE e 1,25 mm dia⁻¹ para DEFA. Já os estoques de C e P foram maiores na camada superficial do solo (0-10 cm) para REGE e IPA-A. Enquanto os estoques de K⁺ foram maiores nas profundidades de 10-20 cm para CAA, REGE, OEM-S, IPA-A e DEFA. Por outro lado, os estoques de Ca^{2+} e Mg^{2+} aumentaram nas profundidades de 30-40 cm para OEM-S e DEFA, enquanto para IPA-A o Ca²⁺ apresentou reduções nas profundidades de 10-40 cm. Os estoques de Mg²⁺ aumentaram em CAA e DEFA. Além disso, os maiores estoques de C e P foram observados para OEM-A com médias de 58,9 e 0,4 Mg ha⁻ ¹, respectivamente. Os maiores estoques de K⁺ foram observados em REGE (0,9 Mg ha⁻¹), enquanto os estoques de Ca²⁺ não apresentaram diferença entre as paisagens de CAA, REGE e OEM-A com médias de 6,5, 6,4 e 5,3 Mg ha⁻¹, respectivamente. A produção média de serapilheira foi de 864,69 kg MS ha⁻¹, com maior deposição durante a estação seca. Além disso, a fração foliar foi o principal componente, correspondendo a 61% da serapilheira total. A taxa

média de decomposição foi de 1,60 com variações 0,14 a 3,99 ao longo dos cinco anos avaliados. Assim, o presente estudo evidencia que a mudança no uso da terra promove alterações no balanço de energia, seus componentes, evapotranspiração e na dinâmica de carbono e nutrientes; enquanto a remoção da vegetação nativa implica em perdas significativas de serapilheira que atua na proteção do solo.

Palavras-chave: Florestas secas, estoques de nutrientes, fluxos de energia, serapilheira, palma forrageira.

GENERAL ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, it is possible to observe a mosaic of landscapes, due to human activities (i.e., deforestation). Thus, such changes can promote reductions in carbon (C) and nutrient stocks, litter deposition, evapotranspiration, and the partition of available energy mainly in arid and semi-arid regions. In this sense, the objective was to evaluate the seasonality of the energy balance, evapotranspiration, carbon, and nutrient dynamics, in addition to the deposition, decomposition and cycling of litter nutrients in landscapes under different levels of anthropogenic intervention in the Brazilian Semiarid region. For this, six landscapes were evaluated, four of which are located in Floresta, Pernambuco (i.e., preserved Caatinga (CAA), regenerating Caatinga (REGE), deforested Caatinga (DEFA) and one landscape with a forage cactus clone 'Orelha de Elefante Mexicana' in Sertão (OEM-S), and two forage cactus landscapes with the clones 'Orelha de Elefante Mexicana' (OEM-A) and the clone 'IPA-Sertânia' (IPA-A) both in Agreste in Pesqueira, Pernambuco. To this end, the determination of the energy balance and evapotranspiration was carried out using the Bowen ratio method for the CAA, REGE and DEFA landscapes, while C and nutrient stocks were quantified at four depths (0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm) for CAA, REGE, DEFA, OEM-S, OEM-A and IPA-A and litter deposition was monitored in the CAA. The sensible heat flux (H) was the dominant flux in both areas with 66% for CAA, 63% for REGE and 62% DEFA. The latent heat flux (LE) was equivalent to 28% of Rn for CAA, REGE and DEFA. Evapotranspiration, in turn, responded to water availability, being greater during the rainy seasons, with average values of 1.82 mm day ¹ for CAA, 2.26 mm day⁻¹ for REGE and 1.25 mm day⁻¹ for DEFA. C and P stocks were higher in the surface layer of the soil (0-10 cm) for REGE and IPA-A. While K+ stocks were greater at depths of 10-20 cm for CAA, REGE, OEM-S, IPA-A and DEFA. On the other hand, Ca²⁺ and Mg²⁺ stocks increased at depths of 30-40 cm for OEM-S and DEFA, while for IPA-A Ca²⁺ showed reductions at depths of 10-40 cm. Mg²⁺ stocks increased in CAA and DEFA. Furthermore, the highest C and P stocks were observed for OEM-A with averages of 58.9 and 0.4 Mg ha⁻¹, respectively. The highest K⁺ stocks were observed in REGE (0.9 Mg ha⁻¹), while Ca²⁺ stocks showed no difference between the CAA, REGE and OEM-A landscapes with averages of 6.5, 6.4 and 5.3 Mg ha⁻¹, respectively. The average litter production was 864.69 kg DM ha⁻¹, with greater deposition during the dry season. Furthermore, the leaf fraction was the main component, corresponding to 61% of the total litter. The average decomposition rate was 1.60 with variations from 0.14 to 3.99 over the five years evaluated. Thus, the present study shows that changes in land use promote changes in the energy balance, its components,

evapotranspiration and carbon and nutrient dynamics; while the removal of native vegetation implies significant losses of litter, which acts to protect the soil.

Keywords: Dry forests, nutrient stocks, energy flows, litterfall, forage cactus.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – VARIAÇÃO SAZONAL DOS FLUXOS DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM DIFERENTES PAISAGENS COM MUDANÇA DO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Figura 1. Localização da área de estudo e dos três sítios experimentais: Caatinga preservada **Figura 2.** Variabilidade sazonal das variáveis meteorológicas: (A) radiação solar global (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹), (B) temperatura do ar (Tair, °C), (C) umidade relativa do ar (RH, %), (D) déficit de pressão de vapor (VPD, kPa), (E) chuva (mm) e (F) umidade volumétrica do solo (θ , cm³ cm⁻³) de 2020 a 2022 para CAA, REGE e DEFA......28 Figura 3. Comportamento do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) nos sítios experimentais de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA) no munícipio de Floresta, Pernambuco, Brasil, durante o período de Figura 4. Ciclo médio diários dos fluxos de energia durante a estação seca (A, B e C), transição seca-chuvosa (D, E e F), chuvosa-seca (G, H e I) e chuvosa (J, L e M) para CAA (A, D, G e J), **Figura 5**. Ciclo horário dos fluxos de energia: radiação líquida (R_n) , fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor no solo (G), razão de Bowen (β) e déficit de pressão de vapor (VPD) para as áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) **Figura 6.** Boxplots mensais da radiação líquida (R_n) , fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor no solo (G) e evapotranspiração (ET) para os sítios experimentais de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA) entre os anos de 2020 e 2022......40 **Figura 7.** Boxplots entre estações para a radiação líquida (R_n), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor no solo (G) e evapotranspiração (ET) dos sítios experimentais de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA) entre os anos de 2020 e 2022.....41 Figura 8. Análise de componentes principais (PCA) das variáveis micrometeorológicas (Umidade relativa do ar – RH; temperatura do ar – (Tair), déficit de pressão de vapor – VPD e evapotranspiração – ET); do balanço de energia (R_n – radiação líquida; fluxo de calor latente –

CAPÍTULO 2 – DINÂMICA DE CARBONO E NUTRIENTES EM PAISAGENS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTERVENÇÃO ANTRÓPICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Figura 1. Localização das áreas experimentais com diferentes paisagens com mudança no uso da terra: Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Caatinga desmatada (DEFA) e clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana - Sertão (O EM-S) localizadas no município de Floresta, Pernambuco e clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana – Agreste e IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A) localizadas no município de Figura 2. Estoques de carbono (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e sódio (F) para os diferentes tipos de paisagens: Caatinga preservada (CAA), Caatinga desmatada (DEFA), área com palma forrageira clone IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A), Orelha de Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A), Orelha de Elefante Mexicana – Sertão (OEM-S) e Caatinga em Figura 3. Distribuição vertical dos estoques de carbono (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e sódio (F) para os diferentes tipos de paisagem: Caatinga preservada (CAA), Caatinga desmatada (DEFA), área com palma forrageira clone IPA-Sertânia - Agreste (IPA-A), Orelha de Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A), Orelha de Elefante Mexicana – Sertão

CAPÍTULO 3 – DEPOSIÇÃO, SAZONALIDADE E DETERMINANTES CLIMÁTICOS NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E SEUS COMPONENTES EM UMA FLORESTA TROPICAL SECA: UMA OBSERVAÇÃO DE CINCO ANOS

Figura 1. Localização da área experimental em uma área de Caatinga preservada, no município de Floresta, Pernambuco, Sertão Central do Brasil.
103
Figura 2. Ilustração esquemática dos coletores e da deposição de serapilheira e suas frações presentes nos coletores.
106

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – VARIAÇÃO SAZONAL DOS FLUXOS DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM DIFERENTES PAISAGENS COM MUDANÇA DO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tabela 1. Normal climatológica (1961-1990) para os elementos meteorológicos: Temperatura mínima (T_N, °C), temperatura média (Tair, °C), temperatura máxima (T_X, °C), umidade relativa (UR, %), chuva (mm), radiação global incidente (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹) e evapotranspiração de referência (ETO, mm) no município de Floresta, PE, no sertão Central do Brasil. Fonte: INMET. **Tabela 2.** Variáveis analisadas e instrumentos instalados nas torres micrometeorológicas presentes nas áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA) presentes na Fazenda Algodões, , munícipio de Floresta, Pernambuco, Tabela 3. Resumo dos erros em que o balanço de energia de superfície pelo método da razão Tabela 4. Delimitação das estações com base no número de eventos e lâminas de chuva **Tabela 5**. Temperatura (T, °C), umidade relativa do ar (RH, %) e déficit de pressão de vapor d'água (VPD, kPa) médio (M), máximo (X) e mínimo (N) em função dos regimes hídricos para os sítios de Caatinga (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA), situados no município de Floresta, região central do estado de Pernambuco, Sertão Central do **Tabela 6**. Densidade dos fluxos de energia diurnos (R_n – saldo de radiação, G – fluxo de calor no solo, LE – fluxo de calor latente e H – fluxo de calor sensível, MJm⁻² dia⁻¹) em função dos regimes hídricos, para os sítios de Caatinga (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA), situados no munícipio de Floresta, região central do estado de Pernambuco, **Tabela 7**. Partição da radiação líquida dissipada em fluxo de calor latente (LE/R_n , MJ m⁻² dia⁻ ¹), fluxo de calor sensível (H/R_n , MJ m⁻² dia⁻¹) e fluxo de calor no solo (G/R_n , MJ m⁻² dia⁻¹) para os sítios de Caatinga (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA), situados no munícipio de Floresta, região central do estado de Pernambuco, Sertão central do

CAPÍTULO 2 – DINÂMICA DE CARBONO E NUTRIENTES EM PAISAGENS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTERVENÇÃO ANTRÓPICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tabela 1. Características físicas do solo em áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Sertão (OEM-S) e área desmatada (DEFA) localizadas em Floresta, Pernambuco, Brasil e clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Agreste (OEM-A) e IPA Sertânia no Agreste (IPA-Tabela 2. Características química do solo (carbono orgânico total – COT, fósforo – P, potássio $-K^+$, cálcio $-Ca^{2+}$, magnésio $-Mg^{2+}$, sódio $-Na^+$ e soma de bases -SB) nas camadas de 0-40 cm em áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Orelha de Elefante Mexicana - Sertão (OEM-S), e Caatinga desmatada (DEFA) em Floresta, Pernambuco, Brasil e Orelha de Elefante Mexicana - Agreste (OEM-A), IPA-Sertânia -**Tabela 3**. Estoques de C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ nas camadas de 0-40 cm em áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Caatinga desmatada (DEFA), Orelha de Elefante Mexicana - Sertão (OEM-S) em Floresta, Pernambuco, Brasil e clone IPA-Sertânia -Agreste (IPA-A) e Orelha de Elefante mexicana - Agreste (OEM-A) em Pesqueira, **Tabela 4**. Estoques de C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ em diferentes épocas do ano em áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Orelha de Elefante Mexicana - Sertão (OEM-S) e Caatinga desmatada (DEFA) em Floresta, Pernambuco, Brasil e clones de Orelha de Elefante Mexicana - Agreste (OEM-A) e IPA-Sertânia - Agreste (IPA-A) em **Tabela 5**. Características química do solo (carbono orgânico total – COT, fósforo – P, potássio $-K^+$, cálcio $-Ca^{2+}$, magnésio $-Mg^{2+}$, sódio $-Na^+$ e soma de bases -SB) em diferentes épocas do ano para Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Orelha de Elefante Mexicana - Sertão (OEM-S), e Caatinga desmatada (DEFA) em Floresta, Pernambuco, Brasil

CAPÍTULO 3 – DEPOSIÇÃO, SAZONALIDADE E DETERMINANTES CLIMÁTICOS NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E SEUS COMPONENTES EM UMA FLORESTA TROPICAL SECA: UMA OBSERVAÇÃO DE CINCO ANOS

Tabela 1. Normal climatológica (1961-1990) para os elementos meteorológicos no município

 de Floresta, PE, no sertão Central do Brasil.

 Tabela 2. Caracterização físico-química do solo em área do bioma Caatinga, localizado no

 município de Floresta, PE, no sertão Central do Brasil.

 Tabela 3. Características das espécies predominantes em um fragmento de Caatinga, utilizadas

 para monitorar a deposição da serapilheira no município de Floresta, Pernambuco.

 Tabela 4. Proporção da área (%) de cada uso do solo em relação a área total de serrapilheira de

 2018 a 2022.

Tabela 5. Cargas canônicas entre os grupos de variáveis resposta (folha, galho, órgãos reprodutivas e miscelânia) e as variáveis explicativas (velocidade do vento - VV, radiação líquida – Rn, temperatura do dossel – Td, Chuva, temperatura do solo – Tsolo, radiação solar global – Rg, umidade volumétrica do solo – θ solo e índice de cobertura vegetal – ICV) para as espécies em uma fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil....118 Tabela 6. Cargas canônicas entre os grupos de variáveis resposta (folha, galho, reprodutivas e miscelânia) e as variáveis explicativas (velocidade do vento - VV, radiação líquida - Rn, temperatura da superfície – Td, Chuva, temperatura do solo – Tsolo, radiação solar global – Rg, umidade volumétrica do solo – θ solo e índice de cobertura vegetal – ICV) para um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil......120 **Tabela 7**. Retorno de nutrientes (kg ha⁻¹ ano⁻¹) e eficiência do uso dos nutrientes (kg ha⁻¹ ano⁻¹) ¹) associados à queda da serapilheira em um fragmento de Caatinga, em Floresta, Pernambuco, Tabela 8. Taxa de decomposição (k), tempo médio de retorno (1/k) e tempos de decomposição de 50% (ln2/k) e 95% (3/k) em um fragmento de Caatinga, em Floresta, Pernambuco, Brasil.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	– VARIAÇÃO SAZONAL DOS FLUXOS DE ENERGIA	E
EVAPOTRANS	SPIRAÇÃO EM DIFERENTES PAISAGENS COM MUDANÇA	DO
USO DA TERR	A NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
1. INTRODUC	ÇÃO	17
2. MATÉRIAI	IS E MÉTODOS	19
2.1. Localiza	ação e descrição da área de estudo	19
2.2. Monitor	ramento, aquisição dos dados micrometeorológicos e umidade do solo	21
2.3. Estimat	ivas do balanço de energia e evapotranspiração pelo método razão de Bow	ven
		22
2.4. Dados d	le NDVI	25
2.5. Análise	s de dados e tratamentos estatísticas	25
3. RESULTAI	DOS	27
3.1. Condições	s meteorológicas	27
3.3. Umidade	volumétrica do solo, evapotranspiração e razão de Bowen	41
4 DISCUSSÃ	.0	46
4.1. Sazonalid	ade do balanço de energia sobre áreas de Caatinga com diferentes grau	s de
mudança do us	so da terra	46
4.2. Evapotran	spiração e razão de Bowen	49
5 CONCLUS	ÕES	50
 CONCLOS REFERÊNC 	CIAS	
CAPÍTULO 2 –	· DINÂMICA DE CARBONO E NUTRIENTES EM PAISAGENS C	OM
DIFERENTES	NÍVEIS DE INTERVENÇÃO ANTRÓPICA NO SEMIÁRI	(DO
BRASILEIRO		
1. INTRODUC	ÇÃO	64
2. MATERIAI	IS E MÉTODOS	66
2.1. Localiza	ação e caracterização da área de estudo	66
2.2. Amostra	agem do solo e análises físico-químicas	69
3. RESULTAI	DOS	70
4. DISCUSSÃ	.0	84
5. CONCLUS	ÕES	89

CAPÍTULO 3 – DEPOSIÇÃO, SAZONALIDADE E DETERMINANTES CLIMÁTICOS NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E SEUS COMPONENTES EM UMA FLORESTA TROPICAL SECA: UMA OBSERVAÇÃO DE CINCO ANOS

1.]	INTRODUÇÃO	
2.]	MATERIAIS E MÉTODOS	
	2.1	Descrição da área de estudo	
	2.2	2. Coleta de serapilheira, decomposição e análise química	
	2.3	3. Cobertura Vegetal Fracionada	107
	2.4	1. Análise estatística	
3.]	RESULTADOS	
	3.1	Condições ambientais	
	3.2	2. Dinâmica sazonal da produção de serapilheira na Caatinga	110
	3.3	3. Acúmulo mensal e anual de serapilheira para oito espécies da Caatinga	113
	3.4	4. Deposição anula a nível de espécie	116
	3.5	5. Relações entre a deposição de serapilheira para espécies da Caatinga e as	variáveis
	am	bientais	117
	3.6	5. Decomposição, taxa de retorno e eficiência do uso de nutrientes na Caating	a 121
	3.7	7. Análise de componentes principais (PCA)	
4.]	DISCUSSÃO	
	4.1	Dinâmica de deposição e sazonalidade da serapilheira na Caatinga	
	4.2	2. Deposição de serapilheira em oito espécies da Caatinga	
	4.3	3. Deposição de serapilheira e condições ambientais	
	4.4	4. Taxa de decomposição e retorno de nutrientes da serapilheira	
	4.5	5. Eficiência do uso e retorno de nutrientes	
5.	(CONCLUSÕES	
6.]	REFERÊNCIAS	134
7.	(CONSIDERAÇÕES FINAIS	

1 APRESENTAÇÃO

As mudanças no uso da terra podem promover alterações na oferta dos serviços ecossistêmicos, com impactos nas condições climáticas da superfície terrestre, modificando as trocas de calor e umidade, fluxos de gases, albedo, além de provocar reduções no armazenamento de carbono (C) e nutrientes na biomassa acima do solo. Além disso, regiões marcadas pela alta variabilidade climática, a exemplo do Semiárido, tornam-se cada vez mais vulneráveis a essas mudanças.

8 Neste sentido, o Semiárido brasileiro é caraterizado principalmente pelas altas 9 temperaturas, incidência de radiação, baixos índices pluviométricos, ocorrência de déficits 10 hídricos em maior parte do ano e, consequentemente, alta demanda atmosférica. A vegetação 11 predominante no Semiárido brasileiro é a Caatinga, uma floresta tropical sazonalmente seca, 12 que apresenta um aspecto heterogêneo em sua vegetação em função da alta variabilidade 13 espaço-temporal da chuva. Nesta região, parte da vegetação nativa foi desmatada por meio de 14 atividades antrópicas, desde o corte de madeira para lenha e carvão, como também para 15 implantação de cultivos agrícolas e/ou pastagens. Assim, estima-se que cerca de 40% da 16 vegetação nativa já foi modificada.

17 Apesar da importância da Caatinga e dos avanços em estudos que buscam compreender as implicações da mudança do uso da terra nas características do solo e nas condições 18 19 atmosféricas a partir dos estoques de C, fluxos de nutrientes, deposição de serapilheira e fluxos 20 de energia, poucos foram os estudos que associaram as variáveis micrometeorológicas as 21 respostas no sistema solo-planta-atmosfera. A dinâmica de nutrientes, C, deposição e 22 decomposição da serapilheira e fluxos de energia apresentam comportamento sazonal com 23 variações a partir da disponibilidade de água no ambiente, de modo que, durante as estações 24 chuvosas há maior disponibilidade de nutrientes no solo a partir dos processos de decomposição 25 da serapilheira depositada no solo, principalmente durante a estação seca; e o fluxo de calor 26 latente tende a ser maior durante a estação chuvosa, enquanto os fluxos de calor sensível e no 27 solo tem maiores contribuições nas estações secas.

Assim, pesquisas micrometeorológicas subsidiam o entendimento das intervenções antrópicas sob diferentes paisagens e de que como essas modificações afetam desde o clima regional ao clima global, promovendo a sustentabilidade dos ecossistemas florestais, além do combate à desertificação, a degradação e a mitigação das mudanças climáticas conforme os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) a fim de proteger o meio ambiente e o clima de acordo com as ODS 13

e 15. Adicionalmente, as variáveis meteorológicas (i.e., temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação etc.) associadas as características biológicas do ambiente podem alterar o balanço de água, fluxos de massa e calor, crescimento das plantas, deposição de serapilheira e os estoques de nutrientes. Nesta perspectiva, o propósito deste estudo é inferir que o desmatamento parcial da Caatinga não resulta em impactos significativos nas trocas de energia, evapotranspiração e variáveis microclimáticas quando comparado ao desmatamento total, de modo que as áreas podem ser utilizadas para implantação de cultivos agrícolas. A deposição, decomposição e ciclagem de nutrientes em ecossistema de Caatinga são dependentes das mudancas intra e interanuais das condições meteorológicas e representam importantes informações para o entendimento dos impactos do desmatamento da vegetação nativa sobre os avanços desses processos. Acredita-se que os estoques de carbono e nutrientes do solo em campos estabelecidos de palma forrageira exibem similaridade com as áreas de Caatinga parcialmente desmatados e em preservação, e apresentam melhores características quando comparadas a campos totalmente desnudos, logo podem ser bons indicativos para áreas que exibem avanços no processo de degradação. Assim, este estudo é composto por três capítulos, os quais objetivaram avaliar como os desmatamentos parcial e total da Caatinga modificam os padrões do balanço de energia e evapotranspiração, a dinâmica dos estoques de C e nutrientes no solo, e quais são as perdas inerentes a serapilheira e ciclagem de nutrientes do ecossistema por causa da remoção da vegetação.

65 CAPÍTULO 1 – VARIAÇÃO SAZONAL DOS FLUXOS DE ENERGIA E 66 EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM DIFERENTES PAISAGENS COM MUDANÇA DO 67 USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

68

69 **RESUMO**

70 As alterações das florestas por meio do desmatamento ou de sua substituição por áreas agrícolas 71 alteram a evapotranspiração e a partição da energia disponível. Partindo disso, este trabalho 72 investigou o balanço de energia, evapotranspiração e sua sazonalidade em paisagens sob 73 diferentes níveis de intervenções antrópicas do Semiárido brasileiro. O conjunto de dados 74 micrometeorológicos foi obtido para o período de Setembro de 2020 à Outubro de 2022, para 75 três superfícies do Semiárido: Caatinga preservada (CAA, vegetação nativa), Caatinga em 76 regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA). Aqui, utilizamos o método de balanço de 77 energia da razão de Bowen. Foram realizadas medidas de radiação solar global (R_g) , 78 temperatura do ar (Tair), umidade relativa do ar (RH), déficit de pressão de vapor (VPD), chuva 79 (mm), radiação líquida (R_n) , fluxo de calor latente (LE), calor sensível (H), calor no solo (G), 80 evapotranspiração (ET) e NDVI. O fluxo de calor sensível (H) foi o fluxo dominante em ambas 81 as áreas com 66% para CAA, 63% para REGE e 62% DEFA. O LE foi equivalente a 28% da 82 R_n para CAA, REGE e DEFA. A ET por sua vez respondeu em função da disponibilidade de 83 água, sendo maior durante as estações chuvosas, com valores médios de 1,82 mm dia ⁻¹ para CAA, 2,26 mm dia⁻¹ para REGE e 1,25 mm dia⁻¹ para DEFA. As variáveis NDVI, UR, chuva, 84 85 θ e *LE* apresentaram correlação positiva. Assim, sugere-se que mudança no uso e cobertura da 86 terra, associada à sazonalidade dos eventos de chuva, promovem alterações nos componentes 87 do balanço de energia, de modo que a paisagem de Caatinga em regeneração apresenta maior 88 fluxo de calor latente e evapotranspiração, enquanto a área desmatada tem menor radiação 89 líquida e maior razão de Bowen.

90 Palavras-chave: balanço de energia superficial, florestas seca, desmatamento.

- 91
- 92
- 93
- 94
- 95
- 96
- 97

98 ABSTRACT

Changes to forests through deforestation or their replacement by agricultural areas alter evapotranspiration and the partition of available energy. Based on this, this work investigated the energy balance, evapotranspiration and its seasonality in landscapes under different levels of anthropogenic interventions in the Brazilian Semiarid region. The set of micrometeorological data was obtained for the period from September 2020 to October 2022, for three semi-arid surfaces: preserved Caatinga (CAA, native vegetation), regenerating Caatinga (REGE) and deforested area (DEFA). Here, we use the Bowen ratio energy balance method. Measurements were taken of global solar radiation (R_g) , air temperature (Tair), relative air humidity (RH), vapor pressure deficit (VPD), rain (mm), net radiation (R_n), latent heat flux (*LE*), sensible heat (H), soil heat (G), evapotranspiration (ET) and NDVI. Sensible heat flux (H) was the dominant flux in both areas with 66% for CAA, 63% for REGE and 62% DEFA. The LE was equivalent to 28% of the R_n for CAA, REGE and DEFA. ET in turn responded as a function of water availability, being higher during the rainy seasons, with average values of 1.82 mm day⁻¹ for CAA, 2.26 mm day⁻¹ for REGE and 1.25 mm day⁻¹ for DEFA. The variables NDVI, RH, rain, θ and *LE* showed a positive correlation. Thus, it is suggested that changes in land use and cover, associated with the seasonality of rain events, promote changes in the components of the energy balance, so that the regenerating Caatinga landscape presents greater latent heat flux and evapotranspiration, while the deforested area has lower net radiation and higher Bowen ration. Keywords: surface energy budget, dry forest, deforestation.

-

130 **1. INTRODUÇÃO**

131 As regiões áridas e semiáridas recobrem cerca de 45% da superfície terrestre (Soper et al., 132 2017) e estão entre as mais vulneráveis a mudança no uso/cobertura da terra, devido a suas 133 condições climáticas (Cunha et al., 2015; Jardim et al., 2022a). O Semiárido brasileiro é 134 marcado pela variação espaço-temporal das chuvas, altas temperaturas e ocorrência de déficits 135 hídricos em grande parte do ano (Jardim et al., 2023b; Marques et al., 2020a; Tomasella et al., 136 2018) e é recoberto pela Caatinga, uma das florestas tropicais sazonalmente secas mais 137 biodiversas e com grande número de espécies endêmicas. No entanto, com o aumento das 138 atividades antrópicas como a retirada de lenha e estabelecimento áreas cultivadas, 139 aproximadamente 40% de sua vegetação nativa já foi alterada (Marengo et al., 2017; Althoff 140 et al., 2018; Jardim et al., 2023).

141 As mudanças no uso e cobertura da terra é um dos fatores que afetam as interações entre 142 superfície-atmosfera, com impactos na biodiversidade (Santana et al., 2021), qualidade do solo 143 e da água (Santos et al., 2020), serviços ecossistêmicos, evapotranspiração (Biudes et al., 2015), 144 no clima global, regional, partição da energia disponível e no balanço hídrico a partir de 145 processos biogeoquímicos e biofísicos (Anav, 2010; Caballero et al., 2022). A retirada de 146 vegetação nativa para a implantação de pastagens e posterior abandono dessas áreas podem 147 resultar em processos de desertificação, que na atualidade é um dos principais desafios 148 ambientais na região semiárida do NE do Brasil. No entanto, em escalas de até 1 km, o 149 desmatamento não é capaz de modificar o fluxo de transpiração e consequentemente, a 150 precipitação (Chambers & Artaxo, 2017). Mas quando essa escala é superior a 200 km os 151 feedbacks atmosféricos tendem a reduzir drasticamente a precipitação regional (Coe et al., 152 2009). Portanto, avaliar a dinâmica dos fluxos de energia em função da sazonalidade e em 153 diferentes paisagens com diferentes graus de mudança do uso da terra subsidiam o 154 entendimento de como as mudanças na biosfera impactam no microclima e contribuem para a 155 previsão do clima global.

No entanto, na América do Sul maior parte dos estudos acerca destes impactos tem sido
direcionados ao desmatamento da floresta amazônica (Rocha et al., 2004; Meir et al., 2008;
Oliveira et al., 2013; Pires; Costa, 2013; Salazar et al., 2015). Apesar dos avanços em estudos
sobre a dinâmica dos fluxos de energia para a Caatinga (Oliveira et al., 2006; Borges et al.,
2020; Silva et al., 2017; Souza et al., 2015; Teixeira et al., 2008), este bioma ainda não tem
recebido a devida atenção quando comparado a ambientes com maior oferta de umidade, a
exemplo das florestas temperadas, tropicais entre outras (Borges et al., 2020). Em regiões

163 marcadas pela escassez hídrica, 50% do saldo de radiação (R_n) é destinado para o fluxo de calor 164 sensível (H), enquanto o fluxo de calor latente (LE) assume cerca de 20% do R_n (Borges et al., 165 2020). Souza et al. (2015) por sua vez, obtiveram valores de ordem de 77% para o H, 7% para 166 o LE e 3% para o fluxo de calor no solo G. Apesar dos avanços, para o sertão central do 167 semiárido brasileiro ainda são incipientes trabalhos que foram conduzidos simultaneamente a 168 fim de avaliar a sazonalidade das variáveis micrometeorológicas, balanço de energia, fluxos 169 diários de energia, suas partições e evapotranspiração em função dos períodos hídricos e as 170 principais alterações microclimáticas, principalmente em áreas de caatinga com diferentes 171 níveis de mudança do uso da terra.

172 A compreensão acerca dos mecanismos que são responsáveis pelo particionamento de 173 energia (R_n) como os fluxos de superfície (i.e., H, LE e G) fornecem um arcabouço de 174 informações climáticas e previsões meteorológicas (Rubert et al., 2022). Assim, destaque-se a 175 importância de estudos *in situ* que avaliem o impacto dos diferentes níveis de mudança no uso 176 da terra no microclima (Alves et al., 2022), de modo que a compreensão acerca do balanço de 177 energia em ecossistemas terrestres, principalmente em ambientes vulneráveis as mudanças 178 climáticas e aos impactos de ordem antrópica, se faz crucial.

179 Nesta perspectiva, o propósito deste estudo é inferir que o desmatamento parcial da 180 Caatinga não resulta em impactos significativos nas trocas de energia, evapotranspiração e 181 variáveis microclimáticas quando comparado ao desmatamento total. Assim, áreas 182 anteriormente desmatadas podem ser utilizadas para implantação de cultivos agrícolas com o 183 objetivo de promover o crescimento econômico, erradicação da pobreza, sustentabilidade dos 184 ecossistemas, combater à desertificação e o avanço das mudanças climáticas. Além disso, 185 promover a implementação de políticas públicas conforme os objetivos de desenvolvimento 186 sustentável no Brasil (ODS) proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU) com intuito 187 de proteger o meio ambiente e o clima, os quais estão inseridos nas ODS 13 e 15. Assim, neste 188 estudo investigou-se o balanço de energia, evapotranspiração e sua sazonalidade em paisagens 189 sob diferentes níveis de intervenções antrópicas do Semiárido brasileiro. Para avaliar o 190 comportamento do balanço de energia, determinou-se a sazonalidade e o comportamento diário 191 dos fluxos, além dos períodos hídricos, disponibilidade hídrica e como isso afeta a sazonalidade 192 da evapotranspiração para diferentes paisagens na Caatinga.

193

2. MATÉRIAIS E MÉTODOS

195

2.1. Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Algodões, localizada na região do semiárido brasileiro (08°18'31'' S, 38°31'37'' W, com altitude de 378 m) no Sertão Central do Brasil. O clima conforme a classificação de Köppen é BSwh, semiárido quente e seco, com temperatura média de 26,1°C, e chuva média de 489,3 mm ano⁻¹ (Queiroz et al., 2019). As chuvas são sazonais com a estação seca bem definida, entre os meses de maio a novembro, uma vez que o período chuvoso compreende os meses de dezembro a abril. O solo é do tipo Luvissolo Crômico (Embrapa, 2006).

203

Tabela 1. Normal climatológica (1961-1990) para os elementos meteorológicos: Temperatura mínima (T_N , °C), temperatura média (T_{air} , °C), temperatura máxima (T_X , °C), umidade relativa (UR, %), chuva (mm), radiação global incidente (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹) e evapotranspiração de referência (ET0, mm) no município de Floresta, PE, no sertão Central do Brasil. Fonte: INMET.

Mês	$T_{\rm N}$	T_{air}	$T_{\rm X}$	UR	VV	Chuva	R_g	ET_0
		°C		%	m s ⁻¹	mm	MJ m ⁻² dia ⁻¹	mm
Janeiro	21,7	27,4	34,7	59,9	2,0	66,1	23,4	5,9
Fevereiro	21,5	26,7	33,9	63,8	1,9	79,4	23,6	5,7
Março	21,4	26,5	33,6	68,5	1,9	104,3	23,2	5,5
Abril	21,0	26,0	32,8	70,4	1,9	66,7	21,5	5,0
Maio	20,2	25,0	31,8	70,4	2,0	37,2	18,7	4,4
Junho	18,9	23,8	30,7	70,1	2,4	19,9	16,9	4,2
Julho	18,1	23,3	30,4	69,0	2,5	16,6	17,9	4,3
Agosto	18,1	24,1	31,7	61,1	2,7	7,0	21,8	5,4
Setembro	19,3	25,9	33,7	54,1	2,9	7,6	23,8	6,3
Outubro	20,8	27,6	35,3	50,3	2,7	12,1	25,5	6,8
Novembro	21,8	28,3	36,0	50,8	2,4	22,6	25,7	6,8
Dezembro	22,0	28,0	35,2	54,2	2,1	49,8	24,1	6,3
Anual	20,4	26,1	33,3	61,9	2,3	489,3	22,2	5,5

208

Foram avaliados três sítios experimentais de setembro de 2020 a outubro de 2022:
floresta com vegetação de Caatinga preservada (CAA), área desmatada (DEFA) e área de

Caatinga em regeneração (REGE). Anteriormente a área de Caatinga (CAA) era utilizada para
extração de madeira para construção de cercas, currais e para o uso doméstico. Composta por
espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, há predominância de espécies arbustivo-arbóreas de
pequeno porte com indivíduos inferiores a 7 m de altura, como *Cenostigma pyramidale* (Tul.)

215 Gagnon & G.P Lewis, Aspidosperma pyrifolium Mart., Jatropha mollissima (Pohl) Baill.,

216 Commiphora leptophloeos (Mart.). J.B Gillett, e Spondias tuberosa Arruda.

A área desmatada (DEFA) originalmente era composta por vegetação Caatinga, a qual foi retirada para fins de atividades agrícolas com o cultivo de *Gossypium hirsutum* (L.), *Allium cepa* (L.), *Phaseolus vulgaris, Zea mays* e *Urochloa mosambicensis* (Hack) Dandy. Contudo, desde 2005 a área não vem sendo cultivada e atualmente está em processo de regeneração, com a presença de gramíneas rasteiras e arbustos de até 1,0 m e grandes áreas de solo exposto.

Diferentemente da DEFA que foi completamente desmatada, a área de Caatinga em regeneração (REGE) foi parcialmente desmatada com a permanência de espécies como *Spondias tuberosa* Arruda, *Cnidoscolus quercifolius* Pohl, *Schinopsis brasiliensis* Engl., *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Sideroxylon obtusifolium* e alguns arbustos. No entanto, comparada à CAA, a REGE apresenta menor densidade de plantas. O desmatamento da área ocorreu em 2008 para implantação de capim buffel (*Cenchrus ciliares* L.) para criação de ovinos, no entanto, não foi implantado e desde então a área vem se regenerando.

229

230



231 Figura 1. Localização da área de estudo e dos três sítios experimentais: Caatinga preservada 232 (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA).

2.2. Monitoramento, aquisição dos dados micrometeorológicos e umidade do solo 234 As condições micrometeorológicas foram monitoradas diariamente a partir de sensores 235 eletrônicos (Tabela 2), de baixa frequência, instalados em torres de ferro galvanizado que estão 236 presentes nos sítios de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área 237 desmatada (DEFA), nos quais foram obtidos: radiação solar (R_g) , radiação líquida (R_n) , 238 temperatura do ar (Tair), umidade relativa do ar (RH) e fluxo de calor no solo (G). As medidas 239 foram realizadas a cada 60 segundos com armazenamento dos valores médios a cada 10 240 minutos, por meio de um datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Logan, USA) para as áreas 241 de Caatinga em regeneração e área desmatada, já para a área de Caatinga preservada foi 242 utilizado um datalogger modelo CR3000 (Campbell Scientific, Logan, UT, USA). Os 243 termohigrometros presentes em cada uma das torres foram instalados a 0,5 m e 1,5 m acima do 244 dossel da vegetação.

245

246 Tabela 2. Variáveis analisadas e instrumentos instalados nas torres micrometeorológicas 247 presentes nas áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área 248 desmatada (DEFA) presentes na Fazenda Algodões, munícipio de Floresta, Pernambuco, 249 Brasil.

Variával	Instrumente	Descrição do	Altura
variavei	instrumento	equipamento	(m)
Saldo de radiação (MJ m ⁻	Saldo radiômetro	NR-Lite, Inc, Logan,	8, 3 e
2 dia ⁻¹)		Utah, USA	3
Radiação solar global	Piranômetro	SQ-300,	8, 3 e
$(MJ m^{-2} dia^{-1})$		Apogee/Campbell	3
		Scientific, Inc, Logan,	
		Utah, USA	
Chuva (mm)	Pluviômetro	CS700-L, Hydrological,	8, 3 e
		Services, Liverpool,	3
		Austrália	
Radiação	Sensor quântico	Q321, Apogee/Campbell	
fotossinteticamente ativa	linear	Scientific, Inc, Logan,	
$(MJ m^{-2} dia^{-1})$		Utah, USA	
Fluxo de calor no solo	Fluxímetro	HFP-155A, Hukseflux,	0,05 m
$(MJ m^{-2} dia^{-1})$		Delft, The	
		Netherlands	
Temperatura (°C) e	Termohigrômetro	HMP155A, Vaisala,	0,50 e
umidade (%) do ar		Helsinki,	1,5
		Finland	
Velocidade (m s ⁻¹) e	Anemômetro	034-L, R. M. Young Co.,	8, 3 e
direção do vento (°)		Traverse, MI, USA	3

A umidade volumétrica do solo foi obtida para os três sítios experimentais, semanalmente, com o auxílio de uma sonda capacitiva modelo Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd., Austrália) em profundidades de 0,10 a 0,60 m. A sonda capacitiva foi calibrada conforme as condições edáficas das áreas experimentais, seguindo a metodologia de Silva et al. (2014).

255 256 2.3. Estimativas do balanço de energia e evapotranspiração pelo método razão de Bowen

Os fluxos de calor latente (*LE*), sensível (*H*), no solo (*G*) e a evapotranspiração foram calculados a partir do método da razão de Bowen. O método da razão de Bowen (β) proposto em 1926 tem sido bastante utilizado por apresentar um conceito físico claro e cálculos simples (Hu et al., 2014), o qual é obtido por meio da constante psicométrica (λ) a partir gradientes

261 verticais de temperatura (ΔT) e pressão real de vapor (Δe) (Euser et al., 2014). No entanto, 262 segundo o método da razão de Bowen dentro da camada superficial de equilíbrio os coeficientes 263 de transporte turbulento de calor e vapor de água são iguais (K_h = K_w) (Dicken et al., 2013). Em 264 função disso, pode-se haver um número maior de desvios/erros devido à variabilidade climática, 265 vegetal e outros fatores, fazendo-se necessário aceitar ou rejeitar os dados observados (Hu et 266 al., 2014). De modo que, o método perde sua precisão em condições que β assume valores -1, 267 que corresponde aos valores obtidos próximo ao nascer e ao pôr do sol. Para contornar esse 268 problema, os valores que estão incluídos dentro de um intervalo fixo, a exemplo β < - 0,75 ou -269 $1,3 < \beta < -0,7$ são excluídos por alguns autores (Ortega-Farias et al., 1996; Unland et al., 1996), 270 no entanto, dentro desse intervalo deve-se considerar a precisão dos sensores que estão sendo 271 utilizados (Perez et al., 1999).

272 Os efeitos da advecção horizontal, armazenamento de energia no dossel, no solo, na 273 biomassa e a energia utilizada para a fotossíntese foram desconsiderados (Jamiyansharav et al., 274 2011; Sun et al., 2010) por representarem menos de 2% da radiação líquida (Heilman et al., 275 1994; Campos et al., 2019). O efeito da advecção pode ser desconsiderado quando as condições 276 são uniformes, visto que o gradiente vertical de energia que inclui os elementos meteorológicos 277 tende a ser maior quando comparado ao gradiente horizontal (Hu et al., 2014; Jardim et al., 278 2023a). Além disso, a razão máxima entre altura e fetch dos sensores foi de 100:1 na CAA, 279 70:1 na DEFA e 80:1 na REGE.

Os valores de *LE*, *H* e *G* (em W m⁻²) foram obtidos a cada 10 minutos e integrados ao longo do período diurno. Assim, conforme o princípio de conservação de energia, a partição de energia à superfície foi estimada de acordo com Hu et al. (2014) como segue a Eq. (1).

 $283 R_n = LE + H + G (1)$

Para obtenção das estimativas dos fluxos de *H* e *LE* utilizou-se o método da razão de
Bowen conforme a metodologia proposta por Perez et al. (1999) por meio das Eq. (2 e 3):

$$286 LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} (2)$$

287
$$H = \frac{\beta (R_n - G)}{1 + \beta}$$
(3)

288 em que, *LE* e *H* são os fluxos de calor latente e sensível, R_n é a radiação liquida, *G* é o fluxo de 289 calor no solo e β é a razão de Bowen (adimensional), que foi calculada conforme a Eq. (4).

290
$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} = \left(\frac{Cp}{\lambda 0,622}\right) \left(\frac{\Delta T}{\Delta e}\right)$$
(4)

23

291 em que, γ é a constante psicométrica (kPa °C⁻¹); ΔT e Δe são as diferenças de temperatura e de 292 pressão de vapor d'água, para os dois níveis de medição acima da superfície, respectivamente; 293 C_p é o calor específico à pressão constante (1.004,67 J Kg⁻¹ K⁻¹), 0,622 representa a proporção 294 de pesos moleculares da água e do ar seco e λ é o calor latente de vaporização, conforme a Eq. 295 (5).

296
$$\lambda = 1,9198 \text{ x} 10^6 \left[\frac{\mathsf{T}+273,16}{(\mathsf{T}+273,16)^{-33,91}} \right]^2$$
(5)

297 em que, T é a temperatura média do ar (°C).

298 A evapotranspiração (ET, mm dia⁻¹) foi obtida a partir da Eq. (6).

$$ET = \frac{LE}{\lambda}$$
(6)

Para aceitação ou rejeição dos dados obtidos através do método de Bowen foi utilizado os critérios descritos Perez et al. (1999). Conforme a recomendação dos autores, foi avaliado a consistência física dos dados com base nos gradientes de pressão de vapor d'água para cada horário de medição, de modo que as estimativas de *LE* e *H* devem ser consistentes com a relação fluxo-gradiente e conforme a conversão de sinais. Logo, as expressões devem ser organizadas da seguinte maneira:

$$306 R_n = \left(1 + \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}\right) + LE + G$$

307

$$\frac{\Delta e}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{H} = \frac{\Delta e + \gamma \Delta T}{R_n - G} > 0$$

308 Conforme a convenção de sinais, as expressões acimas devem ser sempre > 0. Assim, os 309 dados obtidos pelo método do balanço de energia pela razão de Bowen permitem apenas duas 310 condições que são válidas para estimar os valores de *LE* e *H*:

a) Quando $R_n - G > 0 e \beta > -1$, conforme a Equação (2), *LE* deve ser sempre > 0, enquanto H (Equação 3) pode ser positivo ou negativo. Sendo $\beta < -1$, *LE* < 0 e *H* > 0.

313314

b) Em casos que $R_n - G < 0$: Quando $\beta < -1$, as únicas configurações possíveis são LE > 0 o H < 0. Quando $\beta > -1$, LE deve ser sempre possívei o enguento H pode ser positivo

315

0 e H < 0. Quando $\beta > -1$, *LE* deve ser sempre negativo enquanto *H* pode ser positivo ou negativo de acordo com o sinal de β .

Sob estas condições não se considera o efeito da advecção (A). Sendo assim, quando as
condições não são favoráveis, o balanço de energia pela razão de Bowen pode apresentar falhas,
as quais serão classificadas em cinco tipos de erro (A, B, C, D e E) como descritos por Perez et
al. (1999) (Tabela 3).

320

321 Tabela 3. Resumo dos erros em que o balanço de energia de superfície pelo método da razão 322 de Bowen (BERB) falha, segundo critérios de Perez et al. (1999).

Tipo de Erro	Condição
А	$(R_n-G) > 0, \Delta e > 0, \beta < -1 + \varepsilon $
В	$(R_n-G) \ge 0, \Delta e < 0, \beta > -1 - \varepsilon $
С	$(R_n-G) < 0, \Delta e > 0, \beta > -1 - \varepsilon $
D	$(R_n-G) \leq 0, \Delta e \leq 0, \beta < -1 + \varepsilon $
Е	Mudanças rápidas na temperatura e pressão de vapor

324 Com os dados considerados consistentes, foram estimados os valores de LE e H para o 325 período de energia disponível positiva ($R_n - G > 0$).

326

2.4. Dados de NDVI

327 O comportamento sazonal da vegetação em resposta a variabilidade das chuvas foi 328 avaliado a partir do dados de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para avaliar a 329 qualidade e quantidade da vegetação, os cálculos foram obtidos a partir dos valores de 330 refletância do vermelho do infravermelho e próximo (Equação 7) 331

332
$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho Vermelho}{\rho NIR + \rho Vermelho}$$
(7)

333 em que pNIR e pVermelho são as refletâncias medidas nas bandas do infravermelho e 334 vermelho próximo (ou seja, bandas multiespectrais Landsat-8 5 e 4 do sensor OLI), 335 respectivamente. Os valores variam de -1 a +1. Valores próximos de 1 na escala positiva 336 indicam alta atividade fotossintética, em caso de valores negativos, estes correspondem a corpos d'água. 337

338

2.5. Análises de dados e tratamentos estatísticas

339 Para melhor análise dos dados, foram delimitados estações de acordo com o número de 340 eventos e a chuva acumulada, de modo semelhante à metodologia descrita por Queiroz et al. 341 (2020). Para isso, as seguintes estações foram consideradas: chuvosa, seca e suas transições 342 (seca-chuvosa e chuvosa-seca) (Tabela 4). A estação seca é aquele no qual a soma dos valores 343 de chuva dos 30 dias que antecedem e sucedem o dia em análise for inferior a 20 mm e forem 344 registrados menos que 5 dias chuvosos; de modo que, se neste intervalo de tempo houver 345 valores superiores a 20 mm em cinco ou mais dias, a estação será considerada chuvosa. Caso 346 nenhum desses critérios sejam aplicados, a estação é classificada como em transição, sendo

- 347 elas: seca-chuvosa, caso ocorra em uma estação seca, ou, chuvosa-seca, se ocorrer após uma
- 348 estação chuvosa (Queiroz et al., 2020).
- 349

350 **Tabela 4**. Delimitação das estações com base no número de eventos e lâminas de chuva
351 acumulada (mm).

Estação	Início	Final	Nº de eventos	mm
Seca	16-Aug-2020	6-Oct-2020	51	2
Seca-Chuvosa	6-Oct-2020	19-Feb-2021	136	208
Chuvosa	19-Feb-2021	3-May-2021	73	179
Chuvosa-Seca	3-May-2021	25-Jul-2021	83	31
Seca	25-Jul-2021	22-Sep-2021	59	4
Seca-Chuvosa	22-Sep-2021	5-Dec-2021	74	134
Chuvosa	5-Dec-2021	3-Jul-2022	210	568
Chuvosa-Seca	3-Jul-2022	20-Aug-2022	48	24
Seca	20-Aug-2022	27-Sep-2022	38	3
Seca-Chuvosa	27-Sep-2022	1-Jan-2023	96	230

353 Os dados foram analisados em escalas de tempo diária, mensal e sazonal. 354 Posteriormente, determinou-se os valores médios, desvios-padrões, intervalo de confiança e 355 coeficiente de variação por meio de estatística descritiva para os valores médio das variáveis de 356 temperatura, umidade relativa do ar, déficit de pressão de vapor (Tair, RH_M e VPD_M), máximos 357 (T_X, RH_X e VPD_X) e mínimos (T_N, RH_N, e VPD_N), assim como as variáveis de radiação líquida 358 diurna ($R_n > 0$), R_n diário, G diurno (G>0), G diário, fluxo de calor latente (*LE*), calor sensível 359 (H), evapotranspiração e as partições dos fluxos (LE/R_n , H/R_n , e G/R_n). Para avaliar a 360 distribuição normal dos dados para o balanço de energia e seus componentes, evapotranspiração 361 e as variáveis micrometeorológicas para os três sítios experimentais foram utilizados os testes 362 de Shapiro-Willk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera. As variáveis 363 micrometeorológicas (Tair, T_X, T_N, RH_M, UR_X, RH_N, VPD_M, VPD_X, VPD_N, R_n diurno, R_n diário, 364 G diurno, G diário, LE, H, ET, LE/R_n , H/R_n , G/R_n) foram comparadas entre as três superfícies 365 por meio de estatística não paramétrica, utilizando os testes de Kruskal-Wallis para k amostras 366 (p<0,05) e o teste de média de Dunn (p<0,05) o qual comparou os valores médios entre as 367 estações nas diferentes superfícies. A partição do balanço de energia foi obtida a partir da razão 368 da radiação líquida diurna ($R_n > 0$) e os componentes do balanço (*LE*, *H* e *G*). Posteriormente, 369 a análise de componentes principais (PCA) foi realizada para identificar quais variáveis mais 370 influenciam no balanço de energia. Este método permite que os parâmetros estatísticos reduzam variáveis ortogonais e não correlacionadas, explicando a maior variação dos dados (Jardim et
al., 2021). A análise estatística foi realizada no XLSTAT software, versão 2018
(https://www.xlstat.com/Addinsoft, Paris, France. www.xlstat.com).

374 **3. RESULTADOS**

375 *3.1. Condições meteorológicas*

376 A Figura 2 mostra a série temporal de dois anos da radiação solar global $(R_{\rm g})$, temperatura 377 do ar (Tair), umidade relativa do ar (RH), déficit de pressão de vapor (VPD), chuva e umidade 378 volumétrica do solo (θ), nos quais observa-se uma clara variação sazonal. Nota-se que os dados 379 de R_g apresentam sazonalidade, atingindo os maiores valores durante a primavera e verão (i.e., 380 setembro a março), período em que há maior disponibilidade de energia para a partição em H, 381 LE e G. Os menores valores de R_g geralmente ocorrem entre o outono e inverno (i.e., abril a agosto), com média de 20,29 MJ m⁻² dia⁻¹ em função da maior cobertura de nuvens com 382 383 diminuição da disponibilidade energética para as trocas de calor e água (Figura 2A). A 384 temperatura do ar acompanha o comportamento sazonal da radiação solar (R_g) (Figura 2B), com 385 média de 26,09 °C para CAA, 26,21 °C para REGE e 26,11 °C para DEFA. O valor médio de 386 VPD para CAA foi de 1,52 kPa, atingindo valores máximo de 3,30 kPa e mínimo de 0,21 kPa, 387 e a REGE apresentou média para VPD de 1,56 kPa, com máximo e mínimo variando entre 3,62 388 kPa e 0,20 kPa, respectivamente. Por outro lado, o VPD médio da DEFA foi 1,53 kPa, com 389 máximo de 3,37 kPa e mínimo de 0,25 kPa (Tabela 5 e Figura 2D). Os resultados da chuva 390 acumulada para os anos de 2020, 2021 e 2022 foram de 178,81 mm, 447,55 mm e 525,02 mm, 391 respectivamente para CAA, 196,6 mm, 504, 95 e 498,35 mm para REGE e 184,40 mm, 497,33 392 mm e 554,23 mm para DEFA (Figura 2E). No entanto, os dados de chuva para o ano de 2020, 393 correspondem apenas aos meses de setembro a dezembro do mesmo ano, quando se iniciou a 394 coleta dos dados. A DEFA apresentou maior valor total acumulado de 1.235,96 mm, seguido 395 da REGE e CAA com 1.151,38 e 1.199,90 mm, respectivamente.



396Figura 2. Variabilidade sazonal das variáveis meteorológicas: (A) radiação solar global (R_g ,397MJ m⁻² dia⁻¹), (B) temperatura do ar (Tair, °C), (C) umidade relativa do ar (RH, %), (D)398déficit de pressão de vapor (*VPD*, kPa), (E) chuva (mm) e (F) umidade volumétrica do solo399(θ, cm³ cm⁻³) de 2020 a 2022 para CAA, REGE e DEFA.

401 A Tabela 5 apresenta a estatística das variáveis de temperatura (Tair, T_X, T_N), umidade 402 relativa do ar (RH_M, RH_X, RH_N), déficit de pressão de vapor (VPD_M, VPD_X, VPD_N) média, 403 máxima e mínima em detrimento das estações adotados para CAA, REGE e DEFA (p<0.05). 404 A temperatura média do ar (Tair) não apresentou diferença estatística entre as estações para as 405 três superfícies (p>0,05). No entanto, de modo geral, a temperatura máxima (T_X) foi maior na 406 RGE com valores médios acima de 33,89 °C. Enquanto a temperatura mínima (T_N) obteve 407 valores médios maiores a CAA em toda as estações, exceto a seca-chuvosa. Quanto a umidade 408 relativa do ar média (UR_M), houve diferença significativa para a segunda estação chuvosa de 409 2021 com valores maiores para a REGE (~3%) com média de 76,5% (p<0,05). Similarmente, 410 a umidade relativa do ar máxima (UR_X) foi estatisticamente superior na REGE com valores de 411 até 98%, de modo que, para a estação de transição chuvosa-seca a DEFA apresentou maior UR $_{\rm X}$ 412 (99,1%) em relação a REGE e a CAA (p<0,05). Contrariamente, para umidade relativa do ar 413 mínima (UR_N) não houve diferença estatística entre as três superfícies, com valores mínimos 414 de 21,6%, 20,3% e 20,6% para CAA, REGE e DEFA, respectivamente. 415 Os valores de déficit de pressão de vapor d'água médio (VPD_M) não foram estatisticamente

416 diferentes em ambas as superfícies (p>0,05), enquanto o déficit de pressão de vapor máximo
417 (*VPD*_X) apresentou valores médios superiores para as estações chuvosa (ano) e transições seca418 chuvosa e chuvosa-seca para REGE (p<0,05) com médias superiores a 4,03 kPa. O déficit de
- 419 pressão de vapor d'água mínimo (VPD_N) apresentou maiores médias para a DEFA nas estações 420 seca-chuvosa, chuvosa, chuvosa-seca com valores que variaram entre 0,20 e 0,40 kPa.
- 421

Tabela 5. Temperatura média (Tair, °C), umidade relativa do ar (RH, %) e déficit de pressão
de vapor d'água (*VPD*, kPa) médio (M), máximo (X) e mínimo (N) em função dos regimes
hídricos para os sítios de Caatinga (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada
(DEFA), situados no município de Floresta, região central do estado de Pernambuco, Sertão
Central do Brasil.

Estação	Ano	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
				CAA			REGE			DEFA	
							Tair				
Seca	2020	5	26,9	27,7a	28,4	27,2	28,0a	28,8	27,0	27,8a	28,5
Seca-Chuvosa	2021	136	27,7	27,9a	28,2	27,9	28,1a	28,4	27,7	27,9a	28,2
Chuvosa	2021	73	26,3	26,6a	26,9	26,3	26,6a	26,9	26,2	26,5a	26,8
Chuvosa-Seca	2021	83	24,1	24,3a	24,5	24,1	24,3a	24,5	24,0	24,2a	24,4
Seca	2021	59	24,9	25,4a	25,8	25,1	25,6a	26,0	25,0	25,4a	25,8
Seca-Chuvosa	2021	74	28,3	28,6a	28,9	28,5	28,8a	29,2	28,3	28,6a	29,0
Chuvosa	2021	210	25,5	25,7a	25,9	25,5	25,7a	26,0	25,6	25,8a	26,0
Chuvosa-Seca	2022	48	22,4	22,8a	23,1	22,5	22,8a	23,2	22,4	22,7a	23,1
Seca	2022	38	24,1	24,7a	25,3	24,4	25,0a	25,6	24,2	24,8a	25,4
Seca-Chuvosa	2022	10	26,5	27,2a	27,9	26,8	27,5a	28,3	26,6	27,3a	28,0
Média		736	25,66	26,08	26,49	25,82	26,25	26,68	25,69	26,11	26,52
							T _X				
Seca	2020	5	33,9	35,1a	36,2	34,9	36,3a	37,7	34,4	35,6a	36,8
Seca-Chuvosa	2021	136	33,8	34,2b	34,6	34,9	35,4a	35,8	34,1	34,5b	34,9
Chuvosa	2021	73	32,3	32,7b	33,2	33,2	33,7a	34,2	32,4	32,8b	33,3
Chuvosa-Seca	2021	83	29,9	30,3b	30,6	31,1	31,5a	31,9	30,3	30,7b	31,0
Seca	2021	59	31,3	31,9b	32,4	32,6	33,2a	33,8	31,8	32,4ab	33,0
Seca-Chuvosa	2021	74	34,9	35,2b	35,5	36,1	36,4a	36,8	35,2	35,5b	35,8
Chuvosa	2021	210	31,3	31,6b	31,9	32,5	32,8a	33,2	31,7	32,0b	32,4
Chuvosa-Seca	2022	48	28,1	28,8b	29,4	29,5	30,2a	30,9	28,6	29,3ab	29,9
Seca	2022	38	30,5	31,4b	32,2	32,2	33,1a	34,0	31,2	32,1ab	32,9
Seca-Chuvosa	2022	10	33,8	34,7b	35,6	35,6	36,4a	37,1	34,5	35,3ab	36,2
Média		736	31,99	32,58c	33,17	33,26	33,89a	34,53	32,41	33,02b	33,62
							T_{N}				
Seca	2020	5	18,8	19,8a	20,7	17,5	18,8a	20,2	17,5	18,9a	20,3
Seca-Chuvosa	2021	136	21,7	22,0a	22,3	21,1	21,4b	21,7	21,2	21,5ab	21,8
Chuvosa	2021	73	21,3	21,5a	21,8	20,7	21,0b	21,3	20,8	21,1ab	21,4

Chuvosa-Seca	2021	83	18,7	19,1a	19,5	17,7	18,2b	18,7	17,8	18,3ab	18,8
Seca	2021	59	18,6	19,1a	19,5	17,5	18,0b	18,6	17,6	18,2ab	18,8
Seca-Chuvosa	2021	74	22,2	22,6b	23,0	21,6	22,0a	22,5	21,8	22,3b	22,7
Chuvosa	2021	210	21,0	21,2a	21,5	20,4	20,7b	20,9	20,8	21,0a	21,3
Chuvosa-Seca	2022	48	17,0	17,5a	18,0	15,6	16,3b	16,9	16,0	16,6ab	17,2
Seca	2022	38	17,8	18,4a	19,1	16,5	17,3b	18,1	16,8	17,6ab	18,4
Seca-Chuvosa	2022	10	17,9	19,0a	20,2	16,1	17,6a	19,0	16,4	17,9a	19,3
Média		736	19,50	20,03a	20,55	18,47	19,12b	19,78	18,68	19,34b	20,00
							RH _M				
Seca	2020	5	46,7	49,1a	51,6	46,5	48,8a	51,2	46,8	49,2a	51,6
Seca-Chuvosa	2021	136	54,1	55,8a	57,5	54,7	56,5a	58,3	54,8	56,6a	58,3
Chuvosa	2021	73	67,0	69,4a	71,8	69,4	71,9a	74,4	68,6	70,9a	73,3
Chuvosa-Seca	2021	83	69,8	71,4a	73,0	70,2	71,8a	73,5	70,2	71,8a	73,3
Seca	2021	59	58,1	59,8a	61,5	57,8	59,6a	61,3	58,2	59,9a	61,6
Seca-Chuvosa	2021	74	52,4	54,5a	56,6	52,7	55,0a	57,4	53,0	55,2a	57,4
Chuvosa	2021	210	72,6	73,8b	75,0	75,2	76,5a	77,7	73,4	74,5b	75,6
Chuvosa-Seca	2022	48	72,7	75,2a	77,6	72,9	75,4a	77,9	72,1	74,4a	76,8
Seca	2022	38	59,2	61,9a	64,5	59,0	61,5a	64,1	58,9	61,3a	63,8
Seca-Chuvosa	2022	10	47,4	49,8a	52,2	47,3	49,4a	51,6	47,2	49,4a	51,6
Média		736	60,00	62,02a	64,12	60,57	62,65a	64,73	60,32	62,33a	64,34
							RH _X				
Seca	2020	5	79,5	82,8a	86,2	81,5	RH _X 85,2a	88,8	80,5	85,3a	90,1
Seca Seca-Chuvosa	2020 2021	5 136	79,5 81,9	82,8a 83,4b	86,2 84,8	81,5 84,5	RH _X 85,2a 86,0a	88,8 87,5	80,5 83,6	85,3a 85,0ab	90,1 86,4
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa	2020 2021 2021	5 136 73	79,5 81,9 92,9	82,8a 83,4b 94,2b	86,2 84,8 95,5	81,5 84,5 95,9	RH _x 85,2a 86,0a 96,9a	88,8 87,5 97,8	80,5 83,6 94,1	85,3a 85,0ab 95,1b	90,1 86,4 96,1
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca	2020 2021 2021 2021	5 136 73 83	79,5 81,9 92,9 95,0	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b	86,2 84,8 95,5 96,4	81,5 84,5 95,9 96,9	RH _X 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a	88,8 87,5 97,8 98,2	80,5 83,6 94,1 95,0	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b	90,1 86,4 96,1 96,3
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca	2020 2021 2021 2021 2021 2021	5 136 73 83 59	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2	RH _X 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Seca-Chuvosa	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021	5 136 73 83 59 74	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Seca-Chuvosa	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021 2021	5 136 73 83 59 74 210	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Seca-Chuvosa Chuvosa	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021 2021	5 136 73 83 59 74 210 48	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa Seca	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Seca	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa Seca Seca Seca Seca Média	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29	RH _x 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab 91,95a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18
Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Seca Seca-Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Seca Seca Seca Média	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18
Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa-Seca Chuvosa-Seca Seca Seca-Chuvosa Média	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736 5	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20 26,6	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N 20,8a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82 16,0	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18 25,7
Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa Seca Seca Média	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736 5 136	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79 16,7 29,8	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c 21,7a 31,6a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20 26,6 33,3	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29 16,0 28,9	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N 20,8a 30,6a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62 25,7 32,4	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82 16,0 29,3	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b 20,9a 31,0a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18 25,7 32,8
Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa-Seca Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Média	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736 5 136 73	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79 16,7 29,8 37,8	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c 21,7a 31,6a 40,1a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20 26,6 33,3 42,4	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29 16,0 28,9 37,7	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N 20,8a 30,6a 40,0a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62 25,7 32,4 42,3	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82 16,0 29,3 38,5	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b 20,9a 31,0a 40,8a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18 25,7 32,8 43,1
Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Seca Seca-Chuvosa Média	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736 5 136 73 83	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79 16,7 29,8 37,8 41,1	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c 21,7a 31,6a 40,1a 43,3a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20 26,6 33,3 42,4 45,5	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29 16,0 28,9 37,7 38,9	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N 20,8a 30,6a 40,0a 41,1a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62 25,7 32,4 42,3 43,3	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82 16,0 29,3 38,5 40,0	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b 20,9a 31,0a 40,8a 42,2a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18 25,7 32,8 43,1 44,5
Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa-Seca Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Média Seca-Chuvosa Seca Chuvosa	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736 5 136 73 83 59	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79 16,7 29,8 37,8 41,1 30,9	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c 21,7a 31,6a 40,1a 43,3a 32,9a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20 26,6 33,3 42,4 45,5 34,8	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29 16,0 28,9 37,7 38,9 29,2	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N 20,8a 30,6a 40,0a 41,1a 31,1a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62 25,7 32,4 42,3 43,3 33,0	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82 16,0 29,3 38,5 40,0 29,7	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b 20,9a 31,0a 40,8a 42,2a 31,6a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18 25,7 32,8 43,1 44,5 33,6
Seca Chuvosa Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Chuvosa-Seca Seca-Chuvosa Média Seca-Chuvosa Chuvosa Seca Chuvosa	2020 2021 2021 2021 2021 2021 2022 2022	5 136 73 83 59 74 210 48 38 10 736 5 136 73 83 59 74	79,5 81,9 92,9 95,0 86,6 79,4 94,9 96,3 87,8 83,6 87,79 16,7 29,8 37,8 41,1 30,9 27,0	82,8a 83,4b 94,2b 95,7b 88,0b 81,5a 95,7c 97,1c 90,2a 86,4b 89,50c 21,7a 31,6a 40,1a 43,3a 32,9a 28,6a	86,2 84,8 95,5 96,4 89,5 83,7 96,4 97,8 92,5 89,3 91,20 26,6 33,3 42,4 45,5 34,8 30,3	81,5 84,5 95,9 96,9 89,2 82,7 97,3 98,1 90,0 86,7 90,29 16,0 28,9 37,7 38,9 29,2 26,1	RHx 85,2a 86,0a 96,9a 97,6a 90,7a 84,9a 98,0a 98,6b 92,3a 89,3ab 91,95a RH _N 20,8a 30,6a 40,0a 41,1a 31,1a 27,7a	88,8 87,5 97,8 98,2 92,3 87,2 98,6 99,2 94,6 91,9 93,62 25,7 32,4 42,3 43,3 33,0 29,3	80,5 83,6 94,1 95,0 87,7 81,7 97,1 98,7 90,9 88,8 89,82 16,0 29,3 38,5 40,0 29,7 26,6	85,3a 85,0ab 95,1b 95,6b 89,1ab 83,9a 97,8b 99,1a 93,1a 90,9a 91,50b 20,9a 31,0a 40,8a 42,2a 31,6a 28,3a	90,1 86,4 96,1 96,3 90,6 86,1 98,4 99,6 95,3 92,9 93,18 25,7 32,8 43,1 44,5 33,6 30,0

Chuvosa-Seca	2022	48	42,5	46,2a	49,8	40,2	44,0a	47,7	41,1	44,8a	48,6
Seca	2022	38	31,5	34,4a	37,4	29,0	31,8a	34,5	29,5	32,3a	35,1
Seca-Chuvosa	2022	10	18,9	21,6а	24,4	17,8	20,3a	22,7	18,0	20,6а	23,1
Média		736	31,99	34,55a	37,10	30,70	33,20a	35,69	31,22	33,76a	36,29
							<i>VPD</i> _M				
Seca	2020	5	2,17a	2,38	2,05	2,27a	2,49	1,99	2,21a	2,42	2,17a
Seca-Chuvosa	2021	136	1,88a	1,97	1,81	1,91a	2,01	1,77	1,87a	1,96	1,88a
Chuvosa	2021	73	1,24a	1,36	1,07	1,19a	1,31	1,08	1,19a	1,30	1,24a
Chuvosa-Seca	2021	83	1,01a	1,08	0,97	1,04a	1,11	0,95	1,02a	1,08	1,01a
Seca	2021	59	1,50a	1,60	1,47	1,57a	1,67	1,43	1,52a	1,62	1,50a
Seca-Chuvosa	2021	74	2,00a	2,11	1,93	2,05a	2,17	1,87	1,99a	2,11	2,00a
Chuvosa	2021	210	1,02a	1,08	0,91	0,97a	1,03	0,95	1,00a	1,06	1,02a
Chuvosa-Seca	2022	48	0,83a	0,93	0,76	0,87a	0,98	0,75	0,86a	0,96	0,83a
Seca	2022	38	1,40a	1,55	1,34	1,49a	1,64	1,30	1,44a	1,59	1,40a
Seca-Chuvosa	2022	10	2,10a	2,24	2,08	2,23a	2,37	2,01	2,16a	2,30	2,10a
Média		736	1,52a	1,63	1,44	1,56a	1,68	1,41	1,53a	1,64	1,52a
							<i>VPD</i> _X				
Seca	2020	5	3,87	4,41a	4,94	4,08	4,75a	5,42	3,94	4,54a	5,15
Seca-Chuvosa	2021	136	3,58	3,74b	3,90	3,86	4,03a	4,21	3,64	3,80ab	3,97
Chuvosa	2021	73	2,82	3,00a	3,19	2,96	3,17a	3,38	2,79	2,97a	3,16
Chuvosa-Seca	2021	83	2,33	2,47b	2,60	2,59	2,74a	2,90	2,39	2,53ab	2,67
Seca	2021	59	3,02	3,20a	3,38	3,33	3,53a	3,73	3,12	3,31a	3,49
Seca-Chuvosa	2021	74	3,90	4,05b	4,21	4,21	4,39b	4,56	3,92	4,08a	4,24
Chuvosa	2021	210	2,50	2,60ab	2,70	2,69	2,80a	2,92	2,46	2,56b	2,67
Chuvosa-Seca	2022	48	1,95	2,17a	2,39	2,21	2,47a	2,73	1,96	2,21a	2,46
Seca	2022	38	2,79	3,07a	3,34	3,20	3,51a	3,81	2,92	3,20a	3,49
Seca-Chuvosa	2022	10	4,00	4,32a	4,65	4,49	4,81a	5,12	4,16	4,47a	4,78
Média		736	3,08	3,30b	3,53	3,36	3,62a	3,88	3,13	3,37b	3,61
							$VPD_{\rm N}$				
Seca	2020	5	0,30	0,40a	0,50	0,23	0,33a	0,43	0,21	0,33a	0,45
Seca-Chuvosa	2021	136	0,27	0,32b	0,37	0,33	0,38a	0,43	0,36	0,40a	0,45
Chuvosa	2021	73	0,06	0,09ab	0,12	0,06	0,08b	0,11	0,08	0,11a	0,14
Chuvosa-Seca	2021	83	0,06	0,08a	0,10	0,04	0,06b	0,07	0,06	0,08a	0,10
Seca	2021	59	0,19	0,23a	0,28	0,17	0,21a	0,24	0,20	0,24a	0,27
Seca-Chuvosa	2021	74	0,35	0,43a	0,51	0,35	0,42a	0,49	0,41	0,47a	0,54
Chuvosa	2021	210	0,06	0,08b	0,10	0,04	0,06b	0,08	0,18	0,20a	0,21
Chuvosa-Seca	2022	48	0,03	0,05a	0,06	0,02	0,03a	0,04	0,11	0,13a	0,14
Seca	2022	38	0,12	0,18b	0,24	0,12	0,18b	0,23	0,22	0,27a	0,32
Seca-Chuvosa	2022	10	0,18	0,28a	0,38	0,17	0,23a	0,29	0,27	0,31a	0,36
Média		736	0,16	0,21b	0,27	0,15	0,20b	0,24	0,21	0,25a	0,30

Médias (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra, dentro da mesma estação não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0.05$) pelo teste não paramétrico de Dunn (comparação entre K amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança.

427

As respostas do NDVI acompanharam as variações climáticas para o período estudado
(Figura 3). Houve variabilidade sazonal do NDVI principalmente com os eventos de chuva. Os
valores máximos de NDVI foram registrados durante a estação chuvosa, com valores médios
de ~ 0,62 para CAA, 0,64 para REGE e 0,66 para DEFA. Como esperado, há uma redução do
NDVI durante a estação seca, sendo esta responsável pelos menores valores registrados, com

433 ~0,14 para CAA e REGE e 0,09 para DEFA.



Figura 3. Comportamento do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) nos sítios
experimentais de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área
desmatada (DEFA) no munícipio de Floresta, Pernambuco, Brasil, durante o período de
Setembro de 2020 a Outubro de 2022.

438

439

3.2. Partição e balanço de energia

440 A Figura 4 apresenta a densidade dos fluxos de energia horários para as áreas de 441 Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA) 442 durante as estações seca e chuvosa e suas transições, seca-chuvosa e chuvosa-seca. A Tabela 6 443 mostra a estatística dos fluxos diurnos de energia entre as superfícies pelo teste de Dunn 444 (p<0,05). De modo geral, independente do sítio experimental, observa-se que mais de 60% da 445 energia disponível de R_n é dissipada como fluxo de calor sensível (H), até mesmo na estação 446 chuvosa, seguido pelo fluxo de calor latente (*LE*) com aproximadamente 20% e menos de 10% 447 para o fluxo de calor no solo (G). Além disso, o comportamento diário dos fluxos de energia 448 acompanha a curva de R_n , de modo que os valores máximos foram registrados entre e 11:00 e 449 12:00 horas (horário local). Embora H seja responsável por utilizar grande parte da energia

450 disponível de R_n , durante a estação chuvosa e nas transições seca-chuvosa e chuvosa-seca há 451 um aumento em LE, principalmente na CAA e na REGE, com aumentos de 189%, 50%, 54% para CAA e 320%, 159% e 51% na REGE, respectivamente (Figura 4 D-M). No entanto, a 452 453 DEFA apresentou um comportamento contrastante, de modo que LE mostrou valores muito 454 baixos nas estações chuvosas e suas respectivas transições (Figura 4F, 4I e 4M e Tabela 6). 455 Contudo, os aumentos de LE na DEFA são governados por VPD (Figura 4F, 4I, Figura 5E e F). 456 Quanto ao fluxo de calor no solo (G), este apresentou comportamento semelhante ao LE durante 457 a estação seca e a transição seco-chuvosa na CAA e REGE (Figura 4A, 4B, 4D e 4E), enquanto 458 na estação chuvosa seus valores são inferiores 80% e 84% ao LE, respectivamente (Figura 4G 459 e 4H). Diferentemente, na DEFA o G foi 183% maior do que o LE na estação seca (Figura 4C), 460 sendo maior ou igual na estação chuvosa e nas transições seca-chuvosa e chuvosa-seca (Figura 461 4F, 4I e 4M).

462



463 Figura 4. Ciclo médio diários dos fluxos de energia durante a estação seca (A, B e C),

464 transição seca-chuvosa (D, E e F), chuvosa-seca (G, H e I) e chuvosa (J, L e M) para CAA (A,

- 465 D, G e J), REGE (B, E, H e L) e DEFA (C, F, I e M).
- 466

467 **Tabela 6**. Densidade dos fluxos de energia diurnos (R_n – saldo de radiação, G – fluxo de calor 468 no solo, LE – fluxo de calor latente e H – fluxo de calor sensível, MJm⁻² dia⁻¹) em função dos 469 regimes hídricos, para os sítios de Caatinga (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área

470 desmatada (DEFA), situados no munícipio de Floresta, região central do estado de Pernambuco,

471 Sertão central do Brasil.

Estação	Ano	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
			C	ĊAA			REGE			DEFA	
	•						$\mathbf{R}_{n}(+)$				
Seco	2020	5	15.5	16,1a	16,7	14,7	15,3ab	15,8	11,7	12,0b	12.3
Seco-Chuvoso	2021	136	13.9	14,5a	15,1	13,2	13,8a	14,3	10,6	11,1b	11.6
Chuvoso	2021	73	12.7	13,4a	14,2	12,4	13,1a	13,8	10,5	11,1b	11.6
Chuvoso-Seco	2021	83	9.7	10,2a	10,8	9,5	10,0a	10,5	7,9	8,2b	8.5
Seco	2021	59	11.5	12,3a	13,1	11,2	11,9a	12,7	8,9	9,4b	9.9
Seco-Chuvoso	2021	74	14.7	15,2a	15,7	14,1	14,6a	15,0	11,0	11,4b	11.8
Chuvoso	2021	210	12.3	12,9a	13,4	12,2	12,7a	13,3	11,0	11,4b	11.9
Chuvoso-Seco	2022	48	9.4	10,3a	11,3	9,3	10,2a	11,0	8,6	9,1a	9.7
Seco	2022	38	12.6	13,5a	14,5	12,0	12,9a	13,7	10,5	11,2b	11.8
Seco-Chuvoso	2022	10	16.4	16,7a	16,9	15,3	15,6b	15,8	12,7	12,9c	13.1
Média		736	12.9	13,51a	14,16	12,40	13,00a	13,60	10,34	10,77b	11.2
							$R_n(d$	ia)			
Seco	2020	5	12.1	12,8a	13,4	11,1	11,7ab	12,3	8,5	8,9b	9.3
Seco-Chuvoso	2021	136	11.7	12,3a	12,8	10,8	11,3b	11,8	8,4	8,8c	9.3
Chuvoso	2021	73	11.3	12,0a	12,6	10,9	11,6a	12,2	8,8	9,3b	9.8
Chuvoso-Seco	2021	83	7.9	8,4a	8,8	7,6	8,0a	8,4	5,9	6,2b	6.5
Seco	2021	59	9	9,7a	10,4	8,5	9,2a	9,8	6,3	6,8b	7.2
Seco-Chuvoso	2021	74	12.5	13,0a	13,4	11,7	12,1a	12,5	8,6	9,0b	9.4
Chuvoso	2021	210	11	11,5a	12,1	10,8	11,3a	11,9	9,4	9,9b	10.3
Chuvoso-Seco	2022	48	7.8	8,5a	9,3	7,6	8,2ab	8,9	6,8	7,2b	7.7
Seco	2022	38	10.3	11,1a	11,9	9,5	10,2a	10,9	8,1	8,6b	9.2
Seco-Chuvoso	2022	10	13.2	13,5a	13,8	11,9	12,2b	12,5	9,5	9,7c	9.9
Média		736	10.7	11,27a	11,86	10,04	10,58b	11,13	8,03	8,45c	8.86
							G(+)				
Seco	2020	5	1.9	2,1ab	2,2	2,5	2,5a	2,6	1,4	1,5b	1.5
Seco-Chuvoso	2021	136	1.1	1,2a	1,4	0,7	0,9b	1,0	0,8	0,9b	0.9
Chuvoso	2021	73	0.4	0,6a	0,7	0,6	0,7a	0,9	0,6	0,7a	0.8
Chuvoso-Seco	2021	83	0.6	0,8b	0,9	1,2	1,4a	1,5	0,7	0,7b	0.8
Seco	2021	59	1.3	1,4b	1,6	1,6	1,8a	2,0	1,1	1,2c	1.3
Seco-Chuvoso	2021	74	1	1.3a	1,5	0,9	1.1a	1,4	1,2	1.3a	1.4
Chuvoso	2021	210	0.5	0.6ab	0,7	0,5	0.6h	0,7	0,7	0.8a	0.8
Chuyoso-Seco	2022	48	0.7	1 0a	1,3	0,9	1 1a	1,4	1,0	1 2a	1.3
Seco	2022	38	1.6	1.8a	2,1	1,6	1.8a	2,1	1,4	1.5h	1.7

Seco-Chuvoso	2022	10	2.2	2,3a	2,4	2,3	2,3a	2,4	1,6	1,6b	1.7
Média		736	1.14	1,31a	1,49	1,28	1,43ab	1,58	1,04	1,13b	1.22
							G(d	ia)			
Seco	2020	5	0.4	0,6ab	0,8	0,9	1,0a	1,1	0,5	0,6b	0.7
Seco-Chuvoso	2021	136	0.1	0,2a	0,4	-0,2	-0,1b	0,0	-0,1	0,0b	0.1
Chuvoso	2021	73	-0.4	-0,2a	-0,1	-0,2	-0,1a	0,0	-0,4	-0,3a	-0.2
Chuvoso-Seco	2021	83	-0.2	0,0b	0,1	0,4	0,5a	0,7	0,0	0,1b	0.1
Seco	2021	59	0.2	0,4b	0,5	0,6	0,7a	0,9	0,3	0,4b	0.5
Seco-Chuvoso	2021	74	0	0,2a	0,4	-0,1	0,1a	0,3	0,0	0,2a	0.3
Chuvoso	2021	210	-0.3	-0,2a	-0,1	-0,3	-0,2a	-0,1	-0,1	-0,1a	0
Chuvoso-Seco	2022	48	-0.2	0,0b	0,2	0,1	0,3ab	0,5	0,2	0,4a	0.5
Seco	2022	38	0.4	0,6a	0,8	0,6	0,8a	1,0	0,6	0,7a	0.9
Seco-Chuvoso	2022	10	0.6	0,8b	1,0	0,9	1,0a	1,1	0,7	0,7b	0.8
Média		736	0.09	0,24a	0,40	0,27	0,41a	0,55	0,17	0,27a	0.38
							LE(+)				
Seco	2020	5	1	1,3ab	1,5	1,0	1,7a	2,4	0,6	0,9b	1.2
Seco-Chuvoso	2021	136	2.4	2,9b	3,3	3,2	3,7a	4,1	2,5	2,9b	3.4
Chuvoso	2021	73	4.2	5,0a	5,8	4,0	4,5a	5,0	4,7	5,4a	6
Chuvoso-Seco	2021	83	1.8	2,0a	2,3	1,3	1,5b	1,7	1,5	1,8b	2.2
Seco	2021	59	1.7	1,8a	1,9	1,1	1,2b	1,4	0,7	0,8c	1
Seco-Chuvoso	2021	74	2	2,4ab	2,8	2,7	3,3a	3,9	1,9	2,5b	3.2
Chuvoso	2021	210	4.8	5,0a	5,3	5,3	5,7a	6,2	4,1	4,5b	4.8
Chuvoso-Seco	2022	48	3.2	3,5a	3,9	2,2	2,5b	2,9	2,0	2,3b	2.5
Seco	2022	38	2	2,2a	2,5	1,3	1,5b	1,7	1,6	1,8b	2.1
Seco-Chuvoso	2022	10	1.5	1,6a	1,8	0,9	1,1b	1,3	0,4	0,9b	1.4
Média		736	2.45	2,77a	3,10	2,31	2,68a	3,05	1,99b	2,38	2.77
							H(-	+)			
Seco	2020	5	12.2	12,7a	13,2	10,7	11,0ab	11,3	9,4	9,6b	9.9
Seco-Chuvoso	2021	136	9.8	10,4a	10,9	8,8	9,2b	9,6	6,9	7,3c	7.7
Chuvoso	2021	73	7.7	8,5a	9,3	7,5	8,0a	8,5	4,5	5,0b	5.5
Chuvoso-Seco	2021	83	7	7,4a	7,9	6,9	7,2a	7,5	5,2	5,6b	6
Seco	2021	59	8.5	9,1a	9,7	8,3	8,9a	9,4	6,9	7,4b	7.8
Seco-Chuvoso	2021	74	11	11,5a	12,0	9,6	10,0b	10,5	7,1	7,5c	8
Chuvoso	2021	210	6.9	7,2a	7,6	6,2	6,5b	6,8	5,8	6,1b	6.5
Chuvoso-Seco	2022	48	5.1	5,8a	6,6	5,8	6,5a	7,2	5,2	5,7a	6.2
Seco	2022	38	8.6	9,4a	10,3	8,9	9,6a	10,3	7,3	7,9b	8.5
Seco-Chuvoso	2022	10	12.4	12,7a	13,0	11,9	12,2a	12,5	9,9	10,4b	10.9

750 750 750 750 750 750 750 750 750 750 750 750 750	Média	736	8.93	9,49a	10,04	8,46	8,91b	9,36	6,81	7,25c	7.0
---	-------	-----	------	-------	-------	------	-------	------	------	-------	-----

472

O déficit de pressão de vapor no geral apresentou variações de 0,30 a 2,81 kPa na CAA, 473 474 0,23 a 3,01 kPa na REGE e 0,30 a 2,85 kPa na DEFA (Figura 5B, 5D e 5F). Observamos 475 menores valores ao amanhecer com média de 1,38 kPa para CAA, 1,37 kPa para REGE e 1,36 476 kPa para DEFA, registrando os maiores valores às 12:00 horas da manhã (horário local) (Figura 477 5B, 5D e 5F). A β na CAA e REGE apresenta variações uniformes, com aumento gradual ao 478 longo do dia, obtendo pico de valores a partir das 10:00 horas da manhã (horário local) (Figura 479 5B e 5D). Na CAA os valores médios da β variaram de -3,18 a 10,00, com média para os dois 480 anos avaliados de 2,12, enquanto em REGE os valores médios variaram de 0,17 a 10,85, com 481 média de 3,16. Por outro lado, observa-se que β na DEFA flutuou muito ao longo do dia em 482 relação a CAA e REGE, com valores entre -9,45 e 6,50 e média de -0,17 (Figura 5F, Tabela 8).



Figura 5. Ciclo horário dos fluxos de energia: radiação líquida (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor no solo (G), razão de Bowen (β) e déficit de pressão de vapor (VPD) para as áreas de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA).

487

488 A partição do balanço energia é dada pela razão dos fluxos de calor latente (LE), calor 489 sensível (H) e calor no solo (G) em função da radiação líquida (R_n), de tal modo que na CAA 490 28% da Rn foi direcionada para o LE, 66% para o H e 6% para o G. Em contraste, na REGE 491 28% da R_n compôs o LE, 64% para o H e 8% para o G, enquanto para DEFA 28% foi para o 492 *LE*, 62% para o H e 9% para o G. Deste modo, a partição LE/R_n foi maior durante seca e as 493 transições chuvosa-seca e seca-chuvosa para CAA (p<0,05) (Tabela 7); chuvosa para REGE e 494 para DEFA, enquanto para H/R_n maiores médias foram observadas durante as estações seca e 495 chuvosa e as transições chuvosa-seca e seca-chuvosa para DEFA com valores que oscilaram 496 entre 0,72 a 0,80, de modo semelhante para CAA maiores médias foram observadas durante 497 regimes estação chuvosa e a transição chuvosa-seca com médias entre 0,55 a 0,73, enquanto 498 para REGE foi ao estação seca e transição chuvosa-seca com média entre 0,63 a 0,74. Para G/R_n 499 não houve diferença significativa para a última estação seca entre as superfícies, no entanto, 500 REGE apresentou valores superiores para a estação seca e as transições chuvosa-seca e seca-501 chuvosa de modo semelhante DEFA obteve maiores médias para a transição seca-chuvosa e a estação chuvosa, mas em períodos diferentes, enquanto para a CAA apenas a transição seca-502 503 chuvosa apresentou maiores médias em relação as demais superfícies.

504

505 **Tabela 7**. Partição da radiação líquida dissipada em fluxo de calor latente (*LE/R_n*, MJ 506 m⁻² dia⁻¹), fluxo de calor sensível (*H/R_n*, MJ m⁻² dia⁻¹) e fluxo de calor no solo (*G/R_n*, MJ m⁻² 507 dia⁻¹) para os sítios de Caatinga (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada 508 (DEFA), situados no munícipio de Floresta, região central do estado de Pernambuco, Sertão 509 central do Brasil.

Estações	Ano	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
		CAA DEFA								REGE	
						LE/	R_n				
Seca	2020	5	0,07	0,08a	0,09	0,07	0,11a	0,15	0,05	0,08a	0,10
Seco-Chuvoso	2020	136	0,17	0,20b	0,23	0,24	0,26a	0,29	0,22	0,25ab	0,29
Seca-Chuvosa	2021	73	0,30	0,35b	0,40	0,30	0,34b	0,37	0,43	0,48a	0,53
Chuvosa	2021	83	0,18	0,20a	0,23	0,13	0,15b	0,17	0,19	0,23b	0,28
Chuvosa-Seca	2021	59	0,14	0,15a	0,16	0,10	0,11b	0,12	0,07	0,10c	0,12
Seca	2021	74	0,13	0,16b	0,19	0,19	0,23a	0,27	0,16	0,20ab	0,25
Seca-Chuvosa	2021	210	0,40	0,42b	0,44	0,42	0,44a	0,46	0,36	0,39b	0,41
Chuvosa	2022	48	0,33	0,39a	0,45	0,23	0,28b	0,33	0,23	0,27b	0,30
Chuvosa-Seca	2022	38	0,15	0,18a	0,21	0,10	0,12b	0,15	0,14	0,17a	0,20
Seca	2022	10	0,09	0,10a	0,11	0,06	0,07b	0,08	0,02	0,06b	0,10
Média		736	0,20	0,22a	0,25	0,18	0,21a	0,24	0,19	0,22a	0,26
						H/R_n					
Seca	2020	0,78	0,79ab	0,80	0,69	0,72b	0,76	0,78	0,80a	0,83	0,78
Seca-Chuvosa	2020	0,70	0,73a	0,75	0,66	0,68b	0,70	0,64	0,67b	0,70	0,70
Chuvosa	2021	0,56	0,61a	0,66	0,59	0,61a	0,64	0,41	0,46b	0,51	0,56
Chuvosa-Seca	2021	0,71	0,73a	0,76	0,71	0,72a	0,74	0,64	0,68a	0,72	0,71
Seca	2021	0,73	0,74b	0,75	0,74	0,75b	0,76	0,76	0,78a	0,80	0,73
Seca-Chuvosa	2021	0,74	0,76a	0,78	0,67	0,70b	0,72	0,61	0,66b	0,70	0,74
Chuvosa	2021	0,54	0,55a	0,57	0,50	0,52b	0,54	0,52	0,55a	0,57	0,54
Chuvosa-Seca	2022	0,51	0,54b	0,57	0,59	0,63a	0,66	0,58	0,61a	0,64	0,51
Seca	2022	0,67	0,69b	0,71	0,72	0,74a	0,75	0,67	0,70b	0,72	0,67
Seca-Chuvosa	2022	0,75	0,76b	0,77	0,77	0,78ab	0,79	0,54	0,72a	0,91	0,75
Média		0,67	0,69a	0,71	0,66	0,69a	0,71	0,62	0,66a	0,71	0,67
						G/R_n					
Seca	2020	0,12	0,13ab	0,14	0,16	0,17a	0,17	0,12	0,12b	0,13	0,12
Seca-Chuvosa	2020	0,06	0,07a	0,09	0,05	0,06b	0,07	0,07	0,08a	0,08	0,06
Chuvosa	2021	0,03	0,04a	0,06	0,04	0,05a	0,06	0,05	0,06a	0,07	0,03
Chuvosa-Seca	2021	0,05	0,07b	0,08	0,11	0,13a	0,14	0,08	0,09b	0,10	0,05
Seca	2021	0,10	0,11b	0,12	0,14	0,14a	0,15	0,12	0,12b	0,13	0,10
Seca-Chuvosa	2021	0,06	0,08b	0,09	0,06	0,07b	0,09	0,11	0,11a	0,12	0,06
Chuvosa	2021	0,01	0,03b	0,04	0,03	0,04b	0,05	0,06	0,07a	0,07	0,01
Chuvosa-Seca	2022	0,04	0,07b	0,10	0,07	0,10ab	0,12	0,11	0,12a	0,13	0,04
Seca	2022	0,11	0,13	0,15	0,12	0,14	0,15	0,12	0,13	0,14	0,11
Seca-Chuvosa	2022	0,13	0,14a	0,15	0,15	0,15a	0,15	0,12	0,13b	0,13	0,13
Média		0,07	0,09b	0,10	0,09	0,10ab	0,12	0,10	0,10a	0,11	0,07

Média (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra, dentro da mesma estação não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Dunn (comparação entre K amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança.

510 A Figura 6 mostra as variações mensais dos valores médios (Figura 6A-D) de 10 511 minutos do balanço de energia: radiação líquida (R_n) , fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor 512 sensível (H), fluxo de calor no solo (G), além da evapotranspiração (ET) (Figura 6E) para os 513 três sítios experimentais (CAA, REGE e DEFA) entre outubro de 2020 a outubro de 2022. O 514 LE médio para CAA, REGE e DEFA foi de 3,41 MJ m⁻² dia⁻¹, 3,63 MJ m⁻² dia⁻¹ e 3,11 MJ m⁻² 515 dia⁻¹, respectivamente. Para o período de maio a setembro de 2021 foi observado os menores valores de LE (Figura 6B). O H variou de -0,11 a 16,22 MJ m⁻² dia⁻¹ na CAA, 1,55 a 14,17 MJ 516 517 m⁻² dia na REGE e 0.03 a 12,69 MJ m⁻² dia⁻¹ na DEFA. Como consequência, as médias foram de 8,67 MJ m⁻² dia⁻¹ para CAA, 8,04 MJ m⁻² dia⁻¹ para REGE, e 6,55 MJ m⁻² dia⁻¹ para DEFA, 518 519 demonstrando que o H total foi maior que 60% do R_n total (Figura 6C). O G apresentou médias da seguinte ordem, 0,99 MJ m⁻² dia⁻¹, 1,06 MJ m⁻² dia⁻¹ e 0,94 MJ m⁻² dia⁻¹ para CAA, REGE 520 e DEFA, respectivamente (Figura 6D). A ET seguiu o mesmo comportamento sazonal do LE, 521 atingindo valores máximos diários de 3,74 mm dia⁻¹ na CAA, 5,18 mm dia⁻¹ na REGE e 4,98 522 mm dia⁻¹ na DEFA, com médias de 1,27 mm dia⁻¹, 1,54 mm dia⁻¹ e 0,83 mm dia⁻¹ para CAA, 523 REGE e DEFA, respectivamente, com picos entre os meses de dezembro a abril que 524 525 corresponde ao período de maior disponibilidade hídrica na região.



526 **Figura 6**. Boxplots mensais da radiação líquida (R_n), fluxo de calor sensível (H), fluxo de 527 calor latente (LE), fluxo de calor no solo (G) e evapotranspiração (ET) para os sítios 528 experimentais de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área 529 desmatada (DEFA) entre os anos de 2020 e 2022.

530 Houve mudanças sazonais na Rn, LE, H, G e ET e flutuações semelhantes para as três paisagens (Figura 7). Durante a estação de crescimento (estação chuvosa) o R_n médio foi maior 531 na CAA (11,63 MJ m⁻² dia⁻¹) e menor na DEFA (9,72 MJ m⁻² dia⁻¹) (Figura 7, Tabela 6). O 532 maior LE foi obtido na REGE (5,7 MJ m⁻² dia⁻¹), com reduções na CAA (5,0 MJ m⁻² dia⁻¹) e 533 DEFA (4.5 MJ m⁻² dia⁻¹) (Tabela 2, p<0.05). Curiosamente, o H médio foi maior durante a a 534 transição seca-chuvosa, com maiores valores na CAA (12,07 MJ m⁻² dia⁻¹) e REGE (12.02 MJ 535 m^{-2} dia⁻¹). Os valores de G foram maiores durante a estação seca, sendo 1,61 MJ m^{-2} dia⁻¹ na 536 CAA, 1,85 MJ m⁻² dia⁻¹ em REGE e 1,32 MJ m⁻² dia⁻¹ na DEFA, com reduções de 63%, 67% 537 e 44% durante o período chuvoso para CAA, REGE e DEFA, respectivamente. A ET por sua 538 40

vez, obteve menores valores durante a estação seca e maiores na estação de crescimento
(estação chuvosa), como já era esperado, com valores médios de 1,82 mm dia ⁻¹ para CAA, 2,26
mm dia⁻¹ para REGE e 1,25 mm dia⁻¹ para DEFA, seguindo o mesmo padrão do *LE* uma vez
que estes componentes respondem a disponibilidade de água no solo.

543



544Figura 7. Boxplots entre estações para a radiação líquida (R_n), fluxo de calor sensível (H),545fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor no solo (G) e evapotranspiração (ET) dos sítios546experimentais de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área547desmatada (DEFA) entre os anos de 2020 e 2022.

548

549 3.3. Umidade volumétrica do solo, evapotranspiração e razão de Bowen

Quanto a umidade volumétrica do solo, evapotranspiração (ET) e a razão de Bowen,
estes foram estatisticamente significativos entre as superfícies e as estações pelo teste de Dunn
(p<0,05) (Tabela 8). A umidade volumétrica mostrou-se estatisticamente superior em todas as

553 estações e transições para REGE em relação as outras superfícies avaliadas, sendo que CAA 554 obteve os menores valores de umidade entre os períodos de transição. A ET por sua vez, variou entre 0,61 a 1,92 mm dia⁻¹ para CAA, 0,54 a 1,91 mm dia⁻¹ para REGE e 0,17 a 1,90 mm dia⁻¹ 555 556 para DEFA. De modo que os maiores valores para CAA ocorreram durante as estações de 557 transição seca-chuvosa (2021), seca-chuvosa (2022) e a estação seca (2021 e 2022), enquanto 558 na REGE obteve-se maiores médias para as estações chuvosa (2021), e transição seca-chuvosa 559 (2021). A DEFA por sua vez, obteve valores inferiores em todos os regimes e transições. Para 560 os valores da razão de Bowen (β), DEFA apresentou os maiores valores, principalmente durante 561 a estação seca, enquanto para CAA maiores valores foram observados na estação chuvosa 562 (2021) e a estação chuvosa (2021), e os menores valores foram observados na REGE. 563

Tabela 8. Umidade volumétrica do solo (θ), evapotranspiração (ET) e razão de Bowen (β) em função dos regimes hídricos, para os sítios de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA), situados no munícipio de Floresta, região central do estado de Pernambuco, Sertão central do Brasil.

Estações	Ano	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
				CAA			REGE			DEFA	
							θ				
Seca	2020	5	0,05	0,05b	0,05	0,10	0,10a	0,10	0,06	0,06ab	0,06
Seca-Chuvosa	2020	136	0,07	0,08c	0,08	0,13	0,14a	0,15	0,09	0,10b	0,11
Chuvosa	2021	73	0,08	0,09b	0,09	0,15	0,17a	0,18	0,13	0,14a	0,15
Chuvosa-Seca	2021	83	0,06	0,06c	0,07	0,11	0,11a	0,12	0,08	0,08b	0,08
Seca	2021	59	0,05	0,05c	0,05	0,09	0,09a	0,10	0,06	0,06b	0,06
Seca-Chuvosa	2021	74	0,06	0,07c	0,08	0,11	0,12a	0,13	0,08	0,09b	0,10
Chuvosa	2021	210	0,12	0,13c	0,13	0,17	0,18a	0,19	0,13	0,14b	0,15
Chuvosa-Seca	2022	48	0,08	0,08b	0,09	0,12	0,12a	0,12	0,09	0,09b	0,09
Seca	2022	38	0,06	0,06b	0,06	0,11	0,11a	0,11	0,07	0,08c	0,08
Seca-Chuvosa	2022	10	0,06	0,06c	0,06	0,10	0,10b	0,10	0,07	0,07a	0,07
Média		736	0,07	0,07c	0,08	0,12	0,12a	0,13	0,09	0,09b	0,10
						E	Т				
Seca	2020	5	0,50	0,61a	0,72	0,52	0,77a	1,01	0,08	0,17b	0,25
Seca-Chuvosa	2020	136	0,89	1,01b	1,13	1,38	1,56a	1,74	0,80	0,98c	1,15
Chuvosa	2021	73	1,27	1,44b	1,61	1,71	1,91a	2,11	1,66	1,90a	2,14
Chuvosa-Seca	2021	83	0,65	0,72a	0,79	0,61	0,69a	0,77	0,39	0,51b	0,63
Seca	2021	59	0,70	0,75a	0,80	0,55	0,60b	0,65	0,10	0,14c	0,18
Seca-Chuvosa	2021	74	0,85	0,95a	1,05	1,19	1,43a	1,67	0,45	0,69b	0,93
Chuvosa	2021	210	1,83	1,92a	2,02	2,21	2,39a	2,56	0,90	1,00b	1,10
Chuvosa-Seca	2022	48	1,28	1,40a	1,53	0,92	1,06b	1,21	0,35	0,44c	0,52
Seca	2022	38	0,86	0,96a	1,05	0,61	0,68b	0,76	0,18	0,24c	0,30
Seca-Chuvosa	2022	10	0,80	0,90a	1,00	0,48	0,54b	0,60	0,00	0,04b	0,07
Média		736	0,96	1,07a	1,17	1,02	1,16a	1,31	0,49	0,61b	0,73
							β				
Seca	2020	5	8,10	10,14a	12,17	4,14	7,05a	9,96	7,49	11,24a	14,98
Seca-Chuvosa	2020	136	5,31	7,14a	8,97	3,36	3,77b	4,18	4,56	5,38b	6,21
Chuvosa	2021	73	1,74	3,66a	5,58	2,03	2,45a	2,88	1,22	1,63b	2,03
Chuvosa-Seca	2021	83	3,98	4,34b	4,71	4,62	5,88a	7,15	4,84	5,68ab	6,53
Seca	2021	59	4,90	5,33c	5,75	7,24	8,75b	10,26	9,94	11,82a	13,69
Seca-Chuvosa	2021	74	6,64	10,68ab	14,72	4,25	4,97b	5,70	10,77	25,90a	62,57
Chuvosa	2021	210	1,48	1,61b	1,75	1,47	1,67ab	1,87	1,78	2,01a	2,25
Chuvosa-Seca	2022	48	1,51	1,95b	2,38	2,81a	3,51	4,22	1,73	3,93a	6,12
Seca	2022	38	4,09	5,54b	6,99	6,34	7,45a	8,57	4,33	5,43b	6,53
Seca-Chuvosa	2022	10	7,06	7,99b	8,92	9,14	11,86a	14,57	6,77	21,56a	36,34
Média		736	3,83a	4,43	5,03	3,82	4,11a	4,40	3,29	6,76a	10,24

Média (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra, dentro da mesma estação não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Dunn (comparação entre K amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança.

568 *3.4. Análise de componentes principais (PCA)*

569 A Figura 8 apresenta a análise de componentes principais (PCA). Na CAA, dois 570 componentes foram suficientes para explicar 68,4% da variância total dos dados, com o 571 componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) respondendo por 50,9% e 572 17,5%, respectivamente (Figura 8A). Por outro lado, na REGE os dois componentes principais 573 explicaram 71% da variação total, sendo 47,8% do (PC1 e 23,2% do PC2 (Figura 8B), enquanto 574 na DEFA, quando somados, os dois componentes principais foram capazes de explicar 63,5% 575 da variabilidade dos dados, com 42,8% e 20,7% para PC1 e PC2, respectivamente (Figura 8C). 576 Na CAA percebe-se que PC1 contribuiu mais para a resposta das variáveis micrometeorológicas 577 durante as estações secas e a transição seca-chuvosa, assim há uma correlação positiva entre o 578 VPD, G, Tair, H, ET, R_g , R_n e Bowen ration. Por outro lado, as variáveis correlacionadas 579 positivamente pela PC2 estiveram relacionadas com a maior disponibilidade hídrica, sendo elas 580 o NDVI, RH, chuva, umidade volumétrica do solo e LE. De modo semelhante à CAA e REGE 581 na PC1 tiveram pesos positivos em função das estações secas e da transição seca-chuvosa para 582 as variáveis Bowen ration, G, H, VPD, Tair, ET, $R_g \in R_n$, enquanto na PC2 a correlação positiva 583 foi RH, chuva, LE e NDVI. Na DEFA, por sua vez, na PC1 as variáveis G, H, VPD, Tair, ET, R_g e R_n foram correlacionadas positivamente e na PC2 NDVI, RH, chuva, Bowen ration 584 585 umidade volumétrica do solo e LE tiveram correlação positiva entre si.



586 Figura 8. Análise de componentes principais (PCA) das variáveis micrometeorológicas

587 (Umidade relativa do ar – RH; temperatura do ar (Tair), déficit de pressão de vapor – *VPD* e

588 evapotranspiração – ET); do balanço de energia (R_n – radiação líquida; fluxo de calor latente –

589 *LE*; fluxo de calor sensível – *H*, fluxo de calor no solo e razão de Bowen (β); umidade

590 volumétrica do solo (θ) e NDVI em função dos regimes hídricos (seco e chuvoso) e suas

591 transições (seco-chuvoso e chuvoso-seco) para as áreas de Caatinga preservada (CAA),

592 Caatinga em regeneração (REGE) e área desmatada (DEFA).

593

594 **4. DISCUSSÃO**

595 4.1. Sazonalidade do balanço de energia sobre áreas de Caatinga com diferentes graus de 596 mudança do uso da terra

597 As relações entre os fatores ambientais e os componentes do balanço de energia 598 favorecem o entendimento dos efeitos da mudança no uso e cobertura da terra. Nesse estudo, 599 foi avaliando como a mudança no uso da terra modifica as interações entre a superfícieatmosfera em três ecossistemas de Caatinga com diferentes graus de cobertura vegetal. A 600 601 vegetação desempenha um papel importante nas interações terra-atmosfera a partir de 602 características biofísicas radioativas (albedo) e não radioativas (rugosidade da superfície e 603 Bowen ratio) (Burakowski et al., 2018). Em ecossistemas semiáridos, nota-se que existe uma 604 correlação linear negativa significativa entre a cobertura vegetal e o albedo (Bright et al., 2015; 605 Tian et al., 2017). De modo geral, áreas desmatadas apresentam maior albedo quando 606 comparada as áreas florestadas (Burakowski et al., 2018), resultando em menor R_n como observado em DEFA (8,45 MJ m⁻² dia⁻¹) que obteve menor R_n em relação a CAA (11,27 MJ m⁻ 607 ² dia⁻¹) (Tabela 5). Embora o albedo não tenha sido avaliado neste estudo, ele tende a ser maior 608 609 devido à secura da superfície, ao solo exposto e à ausência de vegetação fotossinteticamente 610 ativa (Yue et al., 2019). Isso porque durante o dia a R_n é dominada pelas mudanças de radiação 611 de ondas curtas fazendo com que estas superfícies acumulem menos radiação, promovendo 612 menores valores de R_n e temperatura em relação a superfície vegetadas (Tabela 5) (Santos et a., 613 2011; Burakowski et al., 2018; Yue et al., 2019). A R_n é uma variável que interage com as 614 características espectrais da superfície (Rodrigues et al., 2009) e florestas a exemplo da 615 Caatinga, além do menor albedo superficial, tem maior umidade e índice de área foliar em 616 relação a áreas desmatadas o que permite maior absorção da luz solar (Santos et al., 2011). 617 Outro fator que determina maiores valores de R_n em áreas florestadas é que estas tem maior 618 biomassa, reduzindo a temperatura do dossel e a emissão de ondas longas através do dossel 619 (Borges et al., 2020). Logo, o menor R_n em DEFA pode ser atribuído ao solo exposto e a 620 ausência de vegetação.

621 No presente estudo, a chuva foi a única fonte de umidade do solo, logo, a partição de 622 energia foi sensível as mudanças na disponibilidade hídrica para os ecossistemas avaliados, 623 desta forma, cerca de 90% da radiação líquida foi consumida pelos fluxos de LE e H. As 624 mudanças no LE foram afetadas pela Tair, RH, VPD, θ e ET (Chen et al., 2022). A 625 disponibilidade de água no solo (θ) associada com o crescimento da vegetação é uma das 626 principais razões para os aumentos em LE (Chen et al., 2022). No entanto, o LE permaneceu 627 inferior durante a estação seca e chuvosa em ambas as paisagens, resultando em maior energia 628 retornando para a atmosfera como calor sensível (Silva et al., 2017; Alves et al., 2023). A 629 diminuição do conteúdo de água no solo durante a estação seca e alto VPD promovem a 630 diminuição do LE (Chen et al., 2022). Em condições de baixa disponibilidade hídrica, o ar 631 acima do dossel tende a receber mais calor ao invés de vapor d'água, promovendo camadas de 632 ar mais quentes (Teixeira et al., 2008). Souza et al. (2023) encontraram resultados semelhantes 633 em diferentes paisagens na Caatinga. Outro fator é que os baixos valores de LE observados na 634 Caatinga podem estar associados ao mecanismo de defesa da vegetação, em função da perda de 635 folhas, que pode ser identificado a partir de índices de vegetação, a exemplo do NDVI 636 (Salvatierra et al., 2017; Silva et al., 2021).

637

638 Além disso, os picos de LE são equivalentes ao aumento da evapotranspiração (ET) para 639 as estações chuvosas e transições seca-chuvosa. Contudo, com a diminuição dos eventos de 640 chuva e, consequentemente, da disponibilidade de água no solo houve uma redução de 30%, 641 56% e 48% no LE para CAA, REGE e DEFA na estação chuvosa (2021) para a transição 642 chuvosa-seca (Tabela 5). Além disso, os menores valores de LE foram observados durante a 643 estação seca (2020) para CAA e DEFA, e durante a transição seca-chuvosa (2022) para REGE 644 (Tabela 6). Esta redução em função da umidade do solo, faz com que grandes quantidades de 645 calor disponível seja utilizado para o aquecimento do ar (H). Evidenciando a relação de LE com 646 a disponibilidade de água no solo é confirmada (Souza et al., 2015; Borges et al., 2020; Yue et 647 al., 2019).

648 Neste trabalho, percebe-se que a troca de energia no sistema superfície-atmosfera para 649 os três sítios teve H como fluxo de energia dominante, sendo 66% para CAA, 63% para REGE 650 e 62% na DEFA (Figura 6). De modo que os maiores valores de H foram observados na 651 transição seco-chuvosa (2022) em ambas as áreas. Em ambientes áridos e semiáridos é comum 652 a maior utilização da energia disponível para o aquecimento da atmosfera através do H nos 653 ecossistemas naturais, considerando que estes locais são marcados pela baixa disponibilidade 654 hídrica no sistema solo-atmosfera em virtude dos baixos índices pluviométricos ocorrentes 655 (Santos et al., 2012; Teixeira et al., 2008; Silva et al., 2017; Souza et al., 2015; Campos et al., 656 2019; Borges et al., 2020). Nessas condições, o ar úmido é retirado dos processos advectivos,
657 tornando-o o ambiente mais seco (Souza et al., 2023).

- - -

Foram observados aumentos de 35%, 25% e 50% para o H na CAA, REGE e DEFA com a mudança da estação chuvosa para a estação seca. O aumento nos fluxos de H e G com a redução da chuva, umidade do solo e cobertura vegetal ocorreram em virtude dos dosséis mais esparsos e menor índice de área foliar, o que permite que maior quantidade de radiação solar atinja a superfície do solo. Desse modo, há um aumento na temperatura do ar, que a exemplo de áreas desmatadas facilita os processos convectivos e a remoção do ar úmido (Hardwick et al., 2015).

665 Como esperado, os maiores valores de G foram observados durante a estação seca, 666 período em que ocorre a redução do conteúdo de água no solo e as espécies são submetidas ao 667 déficit hídrico, característica da região juntamente com a senescência foliar deixando o solo 668 mais exposto à incidência de radiação solar (Mendes et al., 2021). Assim, o fluxo de calor no 669 solo na REGE foi 19% maior em relação à CAA durante a estação seca. Esse comportamento 670 se explica pela cobertura vegetal na REGE ser menor, uma vez que esta área foi parcialmente 671 desmatada e apresenta em sua composição herbáceas que surgem, principalmente, durante o 672 período chuvoso. Assim, o desmatamento compromete a relação entre chuva e NDVI. Em áreas 673 preservadas, como CAA, o NDVI responde suavemente a sazonalidade das chuvas 674 permanecendo relativamente mais alto em condições mais secas, quando comparado a 675 ambientes degradados (Silva et al., 2021). Os menores valores de G são observados durante a 676 estação chuvosa, denominada também como estação de crescimento, a qual apresenta uma 677 maior cobertura do solo pela vegetação da Caatinga (Santos et al., 2020; Silva et al., 2017).

678 O NDVI está intrinsecamente relacionada ao verdor da vegetação que é totalmente 679 dependente do teor de água no solo, considerando que o crescimento da vegetação da Caatinga 680 é totalmente dependente da disponibilidade hídrica local (Ivo et al., 2020). Devido a sua 681 localidade geográfica, a Caatinga sofre forte sazonalidade e distribuição irregular das chuvas, 682 o que pode comprometer na disponibilidade de água no solo, fenologia, condutância estomática 683 e fotossíntese (Marques et al., 2020; Medeiros et al., 2022). Além disso, a chuva e a umidade 684 do solo são os principais fatores ambientais que impulsionam as mudanças foliares na Caatinga 685 (Medeiros et al., 2022). Como estratégia de sobrevivência ao déficit hídrico as árvores da 686 Caatinga perdem suas folhas no início das estação seca com rebrota nos primeiros eventos de 687 chuva (Santos et al., 2021). Assim, os meses com maior déficit hídrico apresentam menor 688 cobertura foliar (Alberton et al., 2019; Machado et al., 1997; Medeiros et al., 2022). Os picos 689 de NDVI correspondem ao período de ocorrência de chuva, ou logo após eventos pontuais de 690 chuva, quando há o desenvolvimento de novas folhas e aumento do índice de área foliar, com 691 maiores valores observados na DEFA (0,64) durante a estação chuvosa em função da maior 692 densidade de espécies herbáceas que ocorrem na área em função da maior disponibilidade de 693 água no solo (Medeiros et al., 2022). A redução do NDVI durante a estação seca é uma resposta 694 da vegetação ao déficit hídrico devido à caducifolia das espécies (Campos et al., 2019). Neste 695 sentido, os aumentos observados em LE podem ser associado ao NDVI, pois ambos tendem a 696 ser maiores na estação de crescimento que equivale ao período de maior disponibilidade de 697 água no ambiente, da mesma forma que, durante a estação seca quando as plantas perdem suas 698 folhas a partir da redução nos eventos de chuva o LE e o NDVI apresentam diminuição 699 (Marques et al., 2020).

700 4.2. Evapotranspiração e razão de Bowen

701 Os diferentes níveis de cobertura vegetal promovem diferenças nas magnitudes da 702 evapotranspiração, além das diferenças na variabilidade da umidade do solo (Sun et al., 2019). 703 DEFA obteve os menores valores de ET independente do regime hídrico e, consequentemente, 704 menor umidade do solo o que culminou em menor LE. A presença de vegetação ativa influencia 705 na evapotranspiração e na umidade do solo, que por sua vez é extremamente importante para a 706 transpiração das plantas (Sun et al., 2019). No entanto, a DEFA pelo nível de degradação e 707 baixa biodiversidade favorece a redução da evapotranspiração devido ao aumento do albedo, 708 diminuição na rugosidade superficial, além de conter uma menor índice de área foliar (Biudes 709 et al., 2015; Sheil & Murdiyarso, 2009). Assim, reduções na ET estão tipicamente associadas a 710 um aumento na temperatura da superfície, e do H (Biudes et al., 2015). Com a transição da 711 estação chuvosa para estação seca há uma redução na ET em ambas as superfícies, com 712 destaque para CAA e REGE (Figura 7) (Jardim et al., 2022b). Esta diminuição é devido a 713 redução da abertura dos poros estomáticos que atua como mecanismo de defesa frente ao déficit 714 hídrico pela redução da disponibilidade de água no solo e da transpiração (Flexas & Medrano, 715 2002). Salienta-se que com o fechamento estomático há uma diminuição na taxa fotossintética 716 devido a menor absorção de CO₂, o que está associado a senescência foliar, uma das principais 717 estratégias das planta da Caatinga frente ao déficit hídrico. Logo, menores valores de ET podem 718 estar associados à diminuição do NDVI e índice de área foliar (Marques et al., 2020). Contudo, 719 durante a estação chuvosa a ET na REGE foi 32 e 24% maior em relação a CAA para o ano de 720 2021, reflexo dos maiores valores de LE (Tabela 8). Em 2021 choveu um total acumulado de 721 504 mm na área em regeneração, enquanto na área de Caatinga choveu 447 mm, 19% a menos

que REGE o que permite maior disponibilidade hídrica no solo, favorecendo uma maior
liberação de vapor d'água para a atmosfera (Borges et al., 2020). Contudo, além da composição
lenhosa é possível observar uma quantidade maior de plantas herbáceas em REGE, as quais tem
o ciclo de vida concentrado durante o período chuvoso, denominadas de herbáceas terófitas
(Araújo et al., 2005). Portanto, a cobertura da terra e a disponibilidade de água são um dos
principais fatores que afetam a ET, através do desmatamento, reflorestamento ou recuperação
de pastagens (Li et al., 2017).

729 A razão de Bowen (β) é dada pela relação entre os fluxos H e LE, e sua variabilidade 730 indica uma modificação na variação da capacidade evaporativa e de reflexão, que estão 731 diretamente associados a mudança no uso e cobertura da terra (Deng et al., 2015). Além disso, 732 a β desempenha um papel importante no balanço energético e nas propriedades biofísicas do 733 ecossistema. Assim, seu efeito no aquecimento da energia disponível para o aquecimento do ar 734 tem grande influência no microclima e no ciclo hidrológico dos ecossistemas (Tang et al., 735 2014). Os resultados da β na DEFA mostrou-se na maioria dos regimes hídricos < 1, ou seja, 736 LE foi maior H (Chen et al., 2022; Campos et al., 2019), indicando que as condições são mais 737 favoráveis para o desenvolvimento da vegetação. Ainda, DEFA há uma predominância de 738 plantas herbáceas de raízes rasas, as quais contribuem para uma maior evaporação da água do 739 solo (Giambelluca et al., 2009). Os valores da β na DEFA apresentaram média de -0,27, e na 740 CAA e REGE foram de 2,72 e 3,16, respectivamente. De acordo com Chen et al. (2016) a alta 741 variabilidade na β está relacionada com a variação do conteúdo de água no solo e da vegetação. 742 Percebe-se que durante a estação de crescimento quando há um aumento no índice de área foliar 743 os valores da β tendem a diminuir em relação aos períodos secos como observado em CAA e 744 REGE. Por outro lado, os valores da β permaneceram > 1, ou seja, uma quantidade maior de 745 energia está retornando para a atmosfera na forma de H demonstrando que a vegetação está sob 746 condições de estresse hídrico devido à baixa disponibilidade de água (Tabela 8)) (Alves et al., 747 2022; Chen et al., 2022; Ping et al., 2018; Yue et al., 2019). Assim, durante a estação de 748 crescimento, áreas florestadas costumam ter temperaturas de superfície mais baixa em função 749 do resfriamento evaporativo o que resulta em um β mais alto (Burakowski et al., 2018).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que em ambos os anos e nos diferentes regimes hídricos a área desmatada obteve os menores valores para radiação líquida, principalmente na transição chuvosa-seca, como consequência das características da superfície, devido à presença de vegetação herbácea nas estações chuvosas e solo mais exposto na estação seca. A maior parte da energia disponível pela radiação líquida foi utilizada para o aquecimento do ar, pelo fluxo de calor sensível, enquanto o fluxo de calor latente apresentou pequenos aumentos durante a estação chuvosa, principalmente na área de Caatinga em regeneração. Esses resultados confirmam que em regiões marcadas pela baixa disponibilidade hídrica, como é o caso da Caatinga, a dinâmica do balanço de energia está intimamente relacionada a sazonalidade das chuvas, considerando que as características metabólicas e fisiológicas das plantas são induzidas principalmente pela disponibilidade hídrica no ecossistema.

762 Além disso, tanto as mudanças no uso e cobertura da terra como a disponibilidade hídrica 763 promoveram alterações na evapotranspiração, com menores taxas durante a estação seca na área 764 desmatada. Na estação chuvosa, quando as plantas estão com suas rotas metabólicas mais 765 ativas, foram registradas as maiores taxas da evapotranspiração na área de Caatinga em 766 regeneração. Assim, o presente estudo apresenta achados importantes para compreender como 767 a mudança no uso da terra modulam o microclima e os componentes do balanço de energia, de 768 modo que a mudança no uso e cobertura da terra promove alterações nos componentes do 769 balanço de energia, evapotranspiração e β , os quais são sensíveis a disponibilidade de água no 770 solo e ao tipo de vegetação presente.

771 6. REFERÊNCIAS

- Anav, A., Ruti, P. M., Artale, V., Valentini, R. (2010). Modelling the effects of land-cover
 changes on surface climate in the Mediterranean region. Climate Research, 41, 91–104.
 https://doi.org/10.3354/cr00841
- Araújo, A. C., Dolman, A. J., Waterloo, M. J., Gash, J. H. C., Kruijt, B., Zanchi, F. B., de
 Lange, J. M. E., Stoevelaar, R., Manzi, A. O., Nobre, A. D., Lootens, R. N., & Backer, J.
- (2010). The spatial variability of CO2 storage and the interpretation of eddy covariance
- fluxes in central Amazonia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2), 226–237.

779 https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2009.11.005

- 780 Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Leonardo, J., Gonçalves, M., & Sparovek, G.
- 781 (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift,
- 782 22(6), 711–728. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507
- Alberton, B., Torres, R. da S., Silva, T. S. F., da Rocha, H. R., Moura, M. S. B., & Morellato,
- 784 L. P. C. (2019). Leafing Patterns and Drivers across Seasonally Dry Tropical
- 785 Communities. *Remote Sensing 2019, Vol. 11, Page 2267, 11*(19), 2267.
- 786 https://doi.org/10.3390/RS11192267
- 787 Althoff, T. D., Menezes, R. S. C., Pinto, A. de S., Pareyn, F. G. C., Carvalho, A. L. de,

- 788 Martins, J. C. R., de Carvalho, E. X., Silva, A. S. A. da, Dutra, E. D., & Sampaio, E. V.
- de S. B. (2018). Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of
- 790 Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agriculture, Ecosystems &*
- 791 Environment, 254, 26–34. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2017.11.016
- Alves, J. D. N., Ribeiro, A., Rody, Y. P., & Loos, R. A. (2022). Energy balance and surface
 decoupling factor of a pasture in the Brazilian Cerrado. *Agricultural and Forest Meteorology*, *319*, 108912. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2022.108912
- Anav, A. R. P. M. A. V. V. R. (2010). Modelling the effects of land-cover changes onsurface
 climate in the Mediterranean region. *Climate Research*, *41*, 91–104.
- 797 https://doi.org/10.3354/cr00841
- Araújo, E. de L., da Silva, K. A., Ferraz, E. M. N., Sampaio, E. V. de S. B., & da Silva, S. I.
 (2005). Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área
- 800 de caatinga, Caruaru, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, *19*(2), 285–294.
- 801 https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000200011
- Bessa, M. C., Lacerda, C. F., Amorim, A. V., Bezerra, A. M. E., & Lima, A. D. (2017).
 Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian
 semi-arid. *Revista Ciencia Agronomica*, 48(1), 157–165. https://doi.org/10.5935/18066690.20170018
- 806 Biudes, M. S., Vourlitis, G. L., Machado, N. G., de Arruda, P. H. Z., Neves, G. A. R., de
- 807 Almeida Lobo, F., Neale, C. M. U., & de Souza Nogueira, J. (2015). Patterns of energy
- 808 exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil.
- 809 *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 112–124.
- 810 https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2014.12.008
- Borges, C. K., dos Santos, C. A. C., Carneiro, R. G., da Silva, L. L., de Oliveira, G., Mariano,
 D., Silva, M. T., da Silva, B. B., Bezerra, B. G., Perez-Marin, A. M., & de S. Medeiros,
- 813 S. (2020a). Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two
- 814 contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-
- 815 arid. Environmental Monitoring and Assessment, 192(8), 1–18.
- 816 https://doi.org/10.1007/S10661-020-08484-Y/TABLES/4
- 817 Borges, C. K., dos Santos, C. A. C., Carneiro, R. G., da Silva, L. L., de Oliveira, G., Mariano,
- 818 D., Silva, M. T., da Silva, B. B., Bezerra, B. G., Perez-Marin, A. M., & de S. Medeiros,
- 819 S. (2020b). Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two
- 820 contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-

- arid. Environmental Monitoring and Assessment, 192(8), 1–18.
- 822 https://doi.org/10.1007/S10661-020-08484-Y/TABLES/4
- Bright, R. M., Zhao, K., Jackson, R. B., & Cherubini, F. (2015). Quantifying surface albedo
 and other direct biogeophysical climate forcings of forestry activities. *Global Change Biology*, 21(9), 3246–3266. https://doi.org/10.1111/GCB.12951
- 826 Brito, N. D. da S., Medeiros, M. J. dos S., Souza, E. S. de, & Lima, A. L. A. de. (2022).
- Drought response strategies for deciduous species in the semiarid Caatinga derived from
 the interdependence of anatomical, phenological and bio-hydraulic attributes. *Flora*, 288,
 152009. https://doi.org/10.1016/J.FLORA.2022.152009
- 830 Burakowski, E., Tawfik, A., Ouimette, A., Lepine, L., Novick, K., Ollinger, S., Zarzycki, C.,
- & Bonan, G. (2018). The role of surface roughness, albedo, and Bowen ratio on
- 832 ecosystem energy balance in the Eastern United States. *Agricultural and Forest*
- 833 *Meteorology*, 249, 367–376. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2017.11.030
- Caballero, C. B., Ruhoff, A., & Biggs, T. (2022). Land use and land cover changes and their
 impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 808, 152134.
- 837 https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152134
- Campos, S., Mendes, K. R., da Silva, L. L., Mutti, P. R., Medeiros, S. S., Amorim, L. B., dos
 Santos, C. A. C., Perez-Marin, A. M., Ramos, T. M., Marques, T. V., Lucio, P. S., Costa,
- G. B., Santos e Silva, C. M., & Bezerra, B. G. (2019). Closure and partitioning of the
- 841 energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest.
- 842 Agricultural and Forest Meteorology, 271, 398–412.
- 843 https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.03.018
- Chambers, J. Q., & Artaxo, P. (2017). Deforestation size influences rainfall. *Nature Climate Change 2017 7:3*, 7(3), 175–176. https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3238
- 846 Chen, J., Dong, G., Chen, J., Jiang, S., Qu, L., Legesse, T. G., Zhao, F., Tong, Q., Shao, C., &
- 847 Han, X. (2022). Energy balance and partitioning over grasslands on the Mongolian
- 848 Plateau. *Ecological Indicators*, *135*, 108560.
- 849 https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.108560
- 850 Chen, X., Yu, Y., Chen, J., Zhang, T., & Li, Z. (2016). Seasonal and interannual variation of
- radiation and energy fluxes over a rain-fed cropland in the semi-arid area of Loess
- 852 Plateau, northwestern China. *Atmospheric Research*, 176–177, 240–253.
- 853 https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2016.03.003

- Coe, M. T., Costa, M. H., & Soares-Filho, B. S. (2009). The influence of historical and
 potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River Land surface
- processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, *369*(1–2), 165–174.

857 https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2009.02.043

- Costa, C. A., Santos, D., Do Nascimento, R. L., Rao, T. V. R., & Manzi, A. O. (2011). Net
 radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5
 images. *Atmósfera*, 24(4), 435–446.
- 861 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-
- 862 62362011000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Cunha, A. P. M. A., Alvalá, R. C. S., Kubota, P. Y., & Vieira, R. M. S. P. (2015). Impacts of
 land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, *16*(3), 219–227. https://doi.org/10.1002/ASL2.543
- Deng, X., Shi, Q., Zhang, Q., Shi, C., & Yin, F. (2015). Impacts of land use and land cover
 changes on surface energy and water balance in the Heihe River Basin of China, 2000–
 2010. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 79–82, 2–10.
- 869 https://doi.org/10.1016/J.PCE.2015.01.002
- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of Photosynthesis in C3 Plants:
 Stomatal and Non-stomatal Limitations Revisited. *Annals of Botany*, 89(2), 183–189.
 https://doi.org/10.1093/AOB/MCF027
- 873 Giambelluca, T. W., Scholz, F. G., Bucci, S. J., Meinzer, F. C., Goldstein, G., Hoffmann, W.
- A., Franco, A. C., & Buchert, M. P. (2009). Evapotranspiration and energy balance of
- 875 Brazilian savannas with contrasting tree density. *Agricultural and Forest Meteorology*,

876 *149*(8), 1365–1376. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2009.03.006

- Hardwick, S. R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E. C., Nilus, R., & Ewers, R. M. (2015). The
 relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm
- 879 plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agricultural and Forest*
- 880 *Meteorology*, 201, 187–195. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2014.11.010
- Hu, S., Zhao, C., Li, J., Wang, F., & Chen, Y. (2014). Discussion and reassessment of the
 method used for accepting or rejecting data observed by a Bowen ratio system. *Hydrological Processes*, 28(15), 4506–4510. https://doi.org/10.1002/HYP.9962
- Ivo, I. O., Biudes, M. S., Vourlitis, G. L., Machado, N. G., & Martim, C. C. (2020). Effect of
 fires on biophysical parameters, energy balance and evapotranspiration in a protected
- area in the Brazilian Cerrado. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*,

- 887 *19*, 100342. https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2020.100342
- Jamiyansharav, K., Ojima, D., Pielke, R. A., Parton, W., Morgan, J., Beltrán-Przekurat, A.,
 LeCain, D., & Smith, D. (2011). Seasonal and interannual variability in surface energy
- partitioning and vegetation cover with grazing at shortgrass steppe. *Journal of Arid Environments*, 75(4), 360–370. https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2010.11.008
- Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., da Silva, M. V., Dos Santos, A., da Silva, J.
- L. B., Pandorfi, H., de Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. de C., Teodoro, P. E., de
- Lima, J. L. M. P., da Silva Junior, C. A., de Souza, L. S. B., Silva, E. A., & da Silva, T.
- G. F. (2022a). Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land
- Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. *Remote Sensing*, 14(8), 1911. https://doi.org/10.3390/RS14081911/S1
- Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., da Silva, M. V., Dos Santos, A., da Silva, J.
- L. B., Pandorfi, H., de Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. de C., Teodoro, P. E., de
- 900 Lima, J. L. M. P., da Silva Junior, C. A., de Souza, L. S. B., Silva, E. A., & da Silva, T.
- 901 G. F. (2022b). Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land
- 902 Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. *Remote*903 Sensing, 14(8), 1911. https://doi.org/10.3390/RS14081911/S1
- Jardim, A. M. da R. F., Morais, José Edson Florentino de Souza, L. S. B. de, Souza, C. A. A.
- 905 de, Araújo Junior, G. do N., Alves, C. P., Novaes, G. I. da S., Leite, R. M. C., Moura, M.
- 906 S. B. de, Lima, J. L. M. P., & Silva, T. G. F. (2023a). Monitoring Energy Balance,
- 907 Turbulent Flux Partitioning, Evapotranspiration and Biophysical Parameters of Nopalea
- 908 cochenillifera (Cactaceae) in the Brazilian Semi-Arid Environment. *Plants 2023, Vol. 12,*
- 909 Page 2562, 12(13), 2562. https://doi.org/10.3390/PLANTS12132562
- 910 Jardim, A. M. da R. F., Morais, J. E. F. de, Souza, L. S. B. de, Lopes, D. de C., Silva, M. V.
- 911 da, Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F. de, Silva, J. L. B. da, Steidle Neto, A. J.,
- 912 Morellato, L. P. C., de Lima, J. L. M. P., & Silva, T. G. F. da. (2023b). A systematic
- 913 review of energy and mass fluxes, and biogeochemical processes in seasonally dry
- 914 tropical forests and cactus ecosystems. Journal of South American Earth Sciences, 126,
- 915 104330. https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2023.104330
- 916 Jardim, A. M. da R. F., Silva, M. V. da, Silva, A. R., Santos, A. dos, Pandorfi, H., Oliveira-
- 917 Júnior, J. F. de, de Lima, J. L. M. P., Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Lopes,
- 918 P. M. O., Moura, G. B. de A., & Silva, T. G. F. da. (2021). Spatiotemporal climatic
- 919 analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. Journal of Atmospheric and Solar-

- 920 *Terrestrial Physics*, 223, 105733. https://doi.org/10.1016/J.JASTP.2021.105733
- Li, G., Zhang, F., Jing, Y., Liu, Y., & Sun, G. (2017). Response of evapotranspiration to
 changes in land use and land cover and climate in China during 2001–2013. *Science of The Total Environment*, 596–597, 256–265.
- 924 https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.04.080
- Lima, A. L. A., de Sá Barretto Sampaio, E. V., de Castro, C. C., Rodal, M. J. N., Antonino, A.
- 926 C. D., & de Melo, A. L. (2012). Do the phenology and functional stem attributes of
 927 woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of
- 928 Brazil? Trees Structure and Function, 26(5), 1605–1616.
- 929 https://doi.org/10.1007/S00468-012-0735-2
- Machado, I. C. S., Barros, L. M., & Sampaio, E. V. S. B. (1997). Phenology of Caatinga
 Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica*, 29(1), 57–68.
- 932 https://doi.org/10.1111/J.1744-7429.1997.TB00006.X
- Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past,
 present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, *129*(3–4), 1189–1200.
 https://doi.org/10.1007/S00704-016-1840-8/FIGURES/9
- Marques, T. V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A. M., Campos,
 S., Lúcio, P. S., Lima, K., dos Reis, J., Ramos, T. M., da Silva, D. F., Oliveira, C. P.,
- 938 Costa, G. B., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., Santos e Silva, C. M., & Bezerra, B.
- 939 (2020a). Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally
- 940 Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest*
- 941 *Meteorology*, 287(February 2019), 107957.
- 942 https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957
- 943 Marques, T. V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A. M., Campos,
- 944 S., Lúcio, P. S., Lima, K., dos Reis, J., Ramos, T. M., da Silva, D. F., Oliveira, C. P.,
- 945 Costa, G. B., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., Santos e Silva, C. M., & Bezerra, B.
- 946 (2020b). Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally
- 947 Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest*
- 948 *Meteorology*, 287(March), 107957. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957
- 949 Marques, T. V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A. M., Campos,
- 950 S., Lúcio, P. S., Lima, K., dos Reis, J., Ramos, T. M., da Silva, D. F., Oliveira, C. P.,
- 951 Costa, G. B., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., Santos e Silva, C. M., & Bezerra, B.
- 952 (2020c). Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally

- Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107957. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2020.107957
- 955 Medeiros, R., Andrade, J., Ramos, D., Moura, M., Pérez-Marin, A. M., Dos Santos, C. A. C.,
- da Silva, B. B., & Cunha, J. (2022). Remote Sensing Phenology of the Brazilian
- 957 Caatinga and Its Environmental Drivers. *Remote Sensing 2022, Vol. 14, Page 2637*,

```
958 14(11), 2637. https://doi.org/10.3390/RS14112637
```

- Meir, P., Metcalfe, D. B., Costa, A. C. L., & Fisher, R. A. (2008). The fate of assimilated
 carbon during drought: impacts on respiration in Amazon rainforests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1498), 1849–1855.
 https://doi.org/10.1098/RSTB.2007.0021
- 963 Mendes, K. R., Campos, S., Mutti, P. R., Ferreira, R. R., Ramos, T. M., Marques, T. V., Dos
- 964 Reis, J. S., de Lima Vieira, M. M., Silva, A. C. N., Marques, A. M. S., da Silva, D. T. C.,
- 965 da Silva, D. F., Oliveira, C. P., Gonçalves, W. A., Costa, G. B., Pompelli, M. F.,
- 966 Marenco, R. A., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., ... Santos E Silva, C. M. (2021).
- 967 Assessment of SITE for CO2 and Energy Fluxes Simulations in a Seasonally Dry
 968 Tropical Forest (Caatinga Ecosystem). *Forests 2021, Vol. 12, Page 86, 12*(1), 86.
- 969 https://doi.org/10.3390/F12010086
- Oliveira, L. J. C., Costa, M. H., Soares-Filho, B. S., & Coe, M. T. (2013). Large-scale
 expansion of agriculture in Amazonia may be a no-win scenario. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024021. https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024021
- Ortega-Farias, S. O., Cuenca, R. H., & Ek, M. (1996). Daytime variation of sensible heat flux
 estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, *81*(1–2), 131–143. https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02278-3
- 976 Perez, P. J., Castellvi, F., Ibañez, M., & Rosell, J. I. (1999). Assessment of reliability of
- Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 97(3),
 141–150. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00080-5
- 979 Ping, Y., Qiang, Z., Yang, Y., Zhang, L., Zhang, H., Hao, X., & Sun, X. (2018). Seasonal and
- 980 inter-annual variability of the Bowen smith ratio over a semi-arid grassland in the
- 981 Chinese Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 252, 99–108.
- 982 https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2018.01.006
- Pires, G. F., & Costa, M. H. (2013). Deforestation causes different subregional effects on the
 Amazon bioclimatic equilibrium. *Geophysical Research Letters*, 40(14), 3618–3623.
 https://doi.org/10.1002/GRL.50570

- Queiroz, M. G. de, Silva, T. G. F., Zolnier, S., Jardim, A. M. da R. F., de Souza, C. A. A.,
 Araújo Júnior, G. do N., de Morais, J. E. F., & de Souza, L. S. B. (2020). Spatial and
 temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semiarid region of Brazil. *CATENA*, *188*, 104457.
- 990 https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2020.104457
- Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., Zolnier, S., de Souza, C. A. A., de Souza, L. S. B., Neto,
 S., de Araújo, G. G. L., & Ferreira, W. P. M. (2019). Seasonal patterns of deposition
 litterfall in a seasonal dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, *279*,
 107712. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.107712
- Rodrigues, J., Andrade, E., ... A. T.-E., & 2009, undefined. (n.d.). Sazonalidade de variáveis
 biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. *SciELO Brasil*.
 Retrieved June 1, 2023, from
- 998 https://www.scielo.br/j/eagri/a/LgrnGfHCpVjYZ7NBWvKqyJB/citation/?lang=pt
- Rocha, H. R., Goulden, M. L., Miller, S. D., Menton, M. C., Pinto, L. D. V. O., De Freitas, H.
 C., & E Silva Figueira, A. M. (2004). Seasonality of water and heat fluxes over a tropical
 forest in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, *14*(4 SUPPL.), 22–32.
- 1002 https://doi.org/10.1890/02-6001
- Rubert, G. C. D., Souza, V. de A., Zimmer, T., Veeck, G. P., Mergen, A., Bremm, T., Ruhoff,
 A., de Gonçalves, L. G. G., & Roberti, D. R. (2022). Patterns and controls of the latent
 and sensible heat fluxes in the Brazilian Pampa Biome. *Atmosphere*, *13*(1).
 https://doi.org/10.3390/atmos13010023
- Salvatierra, A. L. H., Ladle, R. J., Barbosa, H., Correia, R. A., & Malhado, A. C. M. (2017).
 Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. *Biotropica*,
 49(5), 753–760. https://doi.org/10.1111/BTP.12459
- 1010 Santana, M. da S., Andrade, E. M., Oliveira, V. R., Costa, B. B., Silva, V. C., Freitas, M. do
- 1011 S. C. de, Cunha, T. J. F., & Giongo, V. (2021). Trophic groups of soil fauna in semiarid:
- 1012 Impacts of land use change, climatic seasonality and environmental variables.
- 1013 *Pedobiologia*, 89, 150774. https://doi.org/10.1016/J.PEDOBI.2021.150774
- Santos, M., Barros, V., Lima, L., Frosi, G., & Santos, M. G. (2021). Whole plant water status
 and non-structural carbohydrates under progressive drought in a Caatinga deciduous
- 1016 woody species. Trees 2021 35:4, 35(4), 1257–1266. https://doi.org/10.1007/S00468-021-
- 1017 02113-Y

- 1018 Santos, C. A. C., Mariano, D. A., das Chagas A. do Nascimento, F., Fabiane, F. R., de
- 1019 Oliveira, G., Silva, M. T., da Silva, L. L., da Silva, B. B., Bezerra, B. G., Safa, B., de S.
- 1020 Medeiros, S., & Neale, C. M. U. (2020). Spatio-temporal patterns of energy exchange
- and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. *International*
- 1022 *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 101982.
- 1023 https://doi.org/10.1016/J.JAG.2019.101982
- Sheil, D., & Murdiyarso, D. (2009). How forests attract rain: An examination of a new
 hypothesis. *BioScience*, 59(4), 341–347.
- 1026 https://doi.org/10.1525/BIO.2009.59.4.12/2/BIO.2009.59.4.12-F02.JPEG
- Silva, A. C., Mendes, K. R., Santos E Silva, C. M., Rodrigues, D. T., Costa, G. B., da Silva,
 D. T. C., Mutti, P. R., Ferreira, R. R., & Bezerra, B. G. (2021). Energy Balance, CO2
- 1029 Balance, and Meteorological Aspects of Desertification Hotspots in Northeast Brazil.
- 1030 Water 2021, Vol. 13, Page 2962, 13(21), 2962. https://doi.org/10.3390/W13212962
- Silva, P. F. da, Lima, J. R. de S., Antonino, A. C. D., Souza, R., de Souza, E. S., Silva, J. R. I.,
 & Alves, E. M. (2017a). Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes
 over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 147, 71–82. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003
- Silva, P. F. da, Lima, J. R. de S., Antonino, A. C. D., Souza, R., de Souza, E. S., Silva, J. R. I.,
 & Alves, E. M. (2017b). Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes
- 1037 over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid*
- 1038 Environments, 147, 71–82. https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2017.09.003
- Soper, F. M., McCalley, C. K., Sparks, K., & Sparks, J. P. (2017). Soil carbon dioxide
 emissions from the Mojave desert: Isotopic evidence for a carbonate source. *Geophysical*

1041 *Research Letters*, 44(1), 245–251. https://doi.org/10.1002/2016GL071198

1042 Souza, C. A. A. de, Jardim, A. M. da R. F., de Souza, L. S. B., Júnior, G. do N. A., Alves, C.

- 1043 P., de Morais, J. E. F., Lopes, D. de C., Steidle Neto, A. J., Salvador, K. R. da S., & da
- 1044 Silva, T. G. F. (2023). Intercomparison of micrometeorological variables, surface energy
- 1045 fluxes, and evapotranspiration in different landscapes of the Brazilian semi-arid region.
- 1046 *Agricultural and Forest Meteorology*, *341*, 109679.
- 1047 https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2023.109679
- Souza, L. S. B., de Moura, M. S. B., Sediyama, G. C., & da Silva, T. G. F. (2015). Balanço de
 energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca
 intensa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(8), 627–636.

- 1052 Sun, G., Noormets, A., Gavazzi, M. J., McNulty, S. G., Chen, J., Domec, J. C., King, J. S.,
- 1053 Amatya, D. M., & Skaggs, R. W. (2010). Energy and water balance of two contrasting
- 1054 loblolly pine plantations on the lower coastal plain of North Carolina, USA. *Forest*
- 1055 *Ecology and Management*, 259(7), 1299–1310.
- 1056 https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.09.016
- 1057 Sun, X., Zou, C. B., Wilcox, B., & Stebler, E. (2019). Effect of Vegetation on the Energy

1058Balance and Evapotranspiration in Tallgrass Prairie: A Paired Study Using the Eddy-

- 1059 Covariance Method. *Boundary-Layer Meteorology*, *170*(1), 127–160.
- 1060 https://doi.org/10.1007/S10546-018-0388-9/FIGURES/3
- Tang, Y., Wen, X., Sun, X., & Wang, H. (2014). Interannual Variation of the Bowen Ratio in
 a Subtropical Coniferous Plantation in Southeast China, 2003-2012. *PLOS ONE*, 9(2),
- 1063 e88267. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0088267
- Teixeira, A. H. d. C., Bastiaanssen, W. G. M., Ahmad, M. D., Moura, M. S. B., & Bos, M. G.
 (2008). Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and
 natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology*, *362*(1–2), 110–127.
- 1067 https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2008.08.011
- Tian, L., Chen, J., & Zhang, Y. (2017). Growing season carries stronger contributions to
 albedo dynamics on the Tibetan plateau. *PLOS ONE*, *12*(9), e0180559.

1070 https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0180559

- 1071 Tomasella, J., Silva Pinto Vieira, R. M., Barbosa, A. A., Rodriguez, D. A., de Oliveira
- Santana, M., & Sestini, M. F. (2018). Desertification trends in the Northeast of Brazil
 over the period 2000–2016. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 197–206. https://doi.org/10.1016/J.JAG.2018.06.012

1075 Unland, H. E., Houser, P. R., Shuttleworth, W. J., & Yang, Z. L. (1996). Surface flux

- measurement and modeling at a semi-arid Sonoran Desert site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 82(1–4), 119–153. https://doi.org/10.1016/0168-1923(96)02330-1
- 1078 Wolf, S., Eugster, W., Majorek, S., & Buchmann, N. (2011). Afforestation of Tropical
- 1079 Pasture Only Marginally Affects Ecosystem-Scale Evapotranspiration. *Ecosystems*,
- 1080 14(8), 1264–1275. https://doi.org/10.1007/S10021-011-9478-Y/FIGURES/5
- Yue, P., Zhang, Q., Zhang, L., Li, H., Yang, Y., Zeng, J., & Wang, S. (2019). Long-term
 variations in energy partitioning and evapotranspiration in a semiarid grassland in the
 Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278, 107671.

¹⁰⁵¹ https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000800001

1084	https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.107671
1085	
1086	
1087	
1088	
1089	
1090	
1091	
1092	
1093	
1094	
1095	
1096	
1097	
1098	
1099	
1100	

CAPÍTULO 2 – DINÂMICA DE CARBONO E NUTRIENTES EM PAISAGENS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTERVENÇÃO ANTRÓPICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

4

5 **RESUMO**

6 No Semiárido brasileiro é possível observar um mosaico de paisagens, em função das 7 atividades antrópicas (i.e., desmatamento). Assim, tais mudanças podem promover 8 reduções nos estoques de carbono (C) e nutrientes, principalmente em regiões áridas e 9 semiáridas. Nesta perspectiva, avaliou-se a dinâmica dos estoques de C e nutrientes em diferentes paisagens do semiárido brasileiro sob diferentes níveis de intervenção 10 11 antrópica. Para tanto, as paisagens de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em 12 regeneração (REGE), Caatinga desmatada (DEFA), clones de palma forrageira Orelha de 13 Elefante Mexicana – Sertão (OEM-S), Orelha de Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A) 14 e IPA Sertânia - Agreste (IPA-A) foram avaliadas. As amostras de solo foram coletadas 15 em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) e foram quantificados as propriedades físico-químicas e os estoques de C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺. Os estoques de 16 17 carbono orgânico do solo (C) e P foram maiores na camada superficial do solo (0-10 cm) 18 para REGE e IPA-A. Enquanto os estoques de K⁺ foram maiores nas profundidades de 19 10-20 cm para CAA, REGE, OEM-S, IPA-A e DEFA. Por outro lado, os estoques de Ca²⁺ e Mg²⁺ aumentaram nas profundidades de 30-40 cm para OEM-S e DEFA, enquanto para 20 IPA-A o Ca²⁺ apresentou reduções nas profundidades de 10-40 cm. Os estoques de Mg²⁺ 21 22 aumentaram em CAA e DEFA. Além disso, os maiores estoques de C e P foram observados para OEM-A com médias de 58,9 e 0,4 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os maiores 23 estoques de K⁺ foram observados em REGE (0,9 Mg ha⁻¹), enquanto os estoques de Ca²⁺ 24 25 foram similares entre as paisagens de CAA, REGE e OEM-A com médias de 6,5, 6,4 e 26 5,3 Mg ha⁻¹, respectivamente. Portanto, neste estudo observamos que os estoques de C e 27 nutrientes diminuem com o aumento da profundidade do solo, e são maiores durante a 28 estação chuvosa. Além disso, a paisagem com palma forrageira clone de Orelha de 29 Elefante Mexicana no Agreste apresentou maior capacidade em armazenar carbono e 30 fósforo.

31

32 Palavras-chave: Mudança no uso da terra, florestas seca, palma forrageira, estoques.

- 33
- 34

35 ABSTRACT

36 In the Brazilian semi-arid region, it is possible to observe a mosaic of landscapes, due to 37 human activities (i.e., deforestation). Thus, such changes can promote reductions in 38 carbon (C) and nutrient stocks, especially in arid and semi-arid regions. From this 39 perspective, the dynamics of C and nutrient stocks were evaluated in different landscapes 40 of the Brazilian semi-arid region under different levels of anthropogenic intervention. To 41 this end, the landscapes of preserved Caatinga (CAA), regenerating Caatinga (REGE), 42 deforested Caatinga (DEFA), clones forage cactus 'Orelha de Elefante Mexicana' -43 Sertão (OEM-S), 'Orelha de Elefante Mexicana' - Agreste (OEM- A) and 'IPA Sertânia' - Agreste (IPA-A) were evaluated. Soil samples were collected at four depths (0-10, 10-44 20, 20-30 and 30-40 cm) and physicochemical properties and stocks of C, P, K⁺, Ca²⁺, 45 Mg²⁺ and Na⁺ were quantified. The soil organic carbon (C) and P stocks were higher in 46 47 the topsoil layer (0-10 cm) for REGE and IPA-A. While K⁺ stocks were greater at depths of 10-20 cm for CAA, REGE, OEM-S, IPA-A and DEFA. On the other hand, Ca²⁺ and 48 Mg²⁺ stocks increased at depths of 30-40 cm for OEM-S and DEFA, while for IPA-A 49 Ca²⁺ showed reductions at depths of 10-40 cm. Mg²⁺ stocks increased in CAA and DEFA. 50 51 Furthermore, the highest C and P stocks were observed for OEM-A with averages of 58.9 and 0.4 Mg ha⁻¹, respectively. The highest K⁺ stocks were observed in REGE (0.9 Mg ha⁻¹ 52 ¹), while Ca²⁺ stocks were similar between the CAA, REGE and OEM-A landscapes with 53 averages of 6.5, 6.4 and 5. 3 Mg ha⁻¹, respectively. Therefore, in this study we observed 54 55 that C and nutrient stocks decrease with increasing soil depth and are greater during the 56 rainy season. Furthermore, the landscape with forage cactus clone of 'Orelha de Elefante 57 Mexicana' in Agreste showed greater capacity to store carbon and phosphorus.

58

59 **Keywords**: Land use change, dry forests, forage cactus, stocks.

- 60
- 61
- 62
- 63

64

- 65
- 66

67

68

69 **1. INTRODUÇÃO**

70 A mudança do uso e cobertura da terra é considerada o principal fator que afeta o 71 armazenamento de carbono (C), e a dinâmica na concentração e estoques de nutrientes no 72 solo em ecossistemas terrestres (Lai et al., 2016). Além disso, fatores antrópicos podem causar danos e reduções na biodiversidade vegetal (Lai et al., 2016), serviços 73 74 ecossistêmicos (Wang et al., 2022), conteúdo de matéria orgânica e aceleração dos 75 processos de erosão do solo (Kong et al., 2006). Quando há remoção da vegetação nativa 76 para o estabelecimento de cultivos agrícolas, consequentemente, haverá alterações na 77 produção de biomassa aérea e radicular, entrada de matéria orgânica, ciclagem de 78 nutrientes e no intemperismo natural (Santana et al., 2022). Isso pode promover reduções 79 nos estoques de C e nutrientes, principalmente em regiões áridas e semiáridas (Santos et 80 al., 2021; Menezes et al., 2021).

Em florestas nativas, as concentrações de C e nutrientes são mais estáveis, em função da produtividade primária líquida e a ciclagem de nutrientes (Johnson & Turner, 2019). Isso porque a cobertura vegetal promove alterações na ciclagem biogeoquímica do ecossistema em função dos resíduos orgânicos, os quais afetam as características físicoquímicas e as características microclimáticas do solo. Contudo, os estoques de C e nutrientes diferem entre pastagens e florestas com diferentes tipos de cobertura vegetal (Zhu et al., 2014; Zhou et al., 2023).

88 No Semiárido brasileiro é possível observar um mosaico de paisagens, em função das 89 forçantes antrópicas, que contribuíram para a modificação da vegetação nativa da 90 Caatinga, a partir de fatores como o clima, extrativismo, manejo agrícola inadequado e o 91 sobrepastoreio (Silva et al., 2021). Embora a Caatinga seja uma das maiores florestas 92 tropicais sazonalmente secas (Schulz et al., 2016), e está inserida em uma das regiões 93 semiáridas mais populosas (Jardim et al., 2022), estima-se que 46% da sua cobertura 94 vegetal original tenha sido desmatada até 2009 (IBAMA, 2019). Em contrapartida, apenas 95 8% da Caatinga corresponde a áreas protegidas (MMA, 2019). No Semiárido brasileiro é 96 possível observar desde áreas com vegetação nativa preservada e/ou em diferentes 97 estágios sucessionais, como também áreas desmatadas e com cultivos de palma forrageira 98 (Opuntia sp. e Nopalea sp.), espécies de grande importância no contexto do semiárido 99 brasileiro (Althoff et al., 2018; Queiroz et al., 2020). Essas áreas podem apresentar 100 variações nos estoques de C e nutrientes do solo, devido as características do solo e da 101 vegetação.
102 O desmatamento é a segunda maior fonte de emissão de gases de efeito estufa, 103 contribuindo para o aumento da erosão, degradação, redução da fertilidade e da qualidade 104 do solo. O declínio dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, além de contribuir para 105 o processo de desertificação (Bakhshandeh et al., 2019; Wijitkosum, 2016), podem 106 modificar as propriedades ecológicas do solo, como a dinâmica de carbono e as 107 propriedades microbianas (Ferreira et al., 2016). Alguns estudos avaliaram os impactos 108 da mudança no uso da terra nas propriedades do solo no bioma Caatinga (Silva et al., 109 2021; Fernandes et al., 2020, Santana et al. 2019; Menezes et al., 2021; Santos et al., 110 2021). Por exemplo, Santana et al. (2022) constataram que as concentrações e estoques 111 de fósforo (P) foram menores na Caatinga, enquanto as maiores concentrações e estoques foram registrados nos cultivos agrícolas, com maiores concentrações de cálcio (Ca²⁺) nas 112 113 camadas de 0-20 cm. Em contrapartida, Menezes et al. (2021) observaram que os estoques 114 médios de C foram 29% maiores em áreas de Caatinga densa (89,9 Mg ha⁻¹) quando 115 comparados às áreas de Caatinga aberta, campos de pastagens e cultivos. No entanto, 116 estudos que avaliaram as concentrações e os estoques de C e nutrientes no semiárido 117 brasileiro ao longo do perfil do solo e em função da sazonalidade dos eventos de chuva, 118 com destaque para ecossistemas de palma forrageira, Caatinga preservada, em 119 regeneração e áreas totalmente desmatadas sob diferentes condições climáticas, ainda são 120 incipientes, tornando-se necessário investigá-los.

121 Assim, caracterizar os diferentes tipos de paisagens e coberturas e a influência dos 122 distúrbios antrópicos permitem compreender os impactos do uso da terra no clima e os 123 seus efeitos nas paisagens nativas e cultivadas, adotar práticas sustentáveis para os 124 ecossistemas terrestres (H. Li et al., 2020; Menezes et al., 2021), além de indicar 125 estratégias de mitigação para o avanço das mudanças climáticas em ambientes 126 semiáridos, a partir do uso sustentável da vegetação. Fica evidente, portanto, a 127 necessidade de quantificar o impacto da mudança do uso e cobertura da terra na 128 variabilidade e na dinâmica dos estoques de C e nutrientes nas diferentes paisagens que 129 ocorrem no semiárido brasileiro. Nossa hipótese é que áreas agrícolas com cactos estocam 130 mais carbono no solo do que florestas com diferentes níveis de perturbação antrópica ou 131 em regeneração, os quais posteriormente podem ser indicados para recuperação de áreas 132 degradadas e mitigação das mudanças climáticas atendendo aos objetivos propostos pela 133 ONU com base no desenvolvimento sustentável no Brasil (ODS) como forma de proteção 134 aos ecossistemas terrestres e mitigação das mudanças climáticas de acordo com as OSD 135 13 e 15. Dado o exposto, neste estudo objetivamos avaliar a dinâmica dos estoques de C

e nutrientes em ecossistemas de palma forrageira, Caatinga preservada, Caatinga em
regeneração e uma área totalmente desmatada.

- 138
- 139

140

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.Localização e caracterização da área de estudo

141 O experimento foi conduzido em duas propriedades privadas, localizadas nos 142 municípios de Floresta (08°35'55'' S, 38°33'50'' W, 378 m) e Pesqueira (08°21'35" S, 143 38°41'42" W, 750 m), ambas situadas no estado de Pernambuco (Figura 1). Em Floresta, 144 o clima é do tipo BSh (semiárido quente-seco, com período chuvoso no verão) de acordo 145 com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). As características climáticas da 146 região apresentam temperatura média do ar de ~26 °C, umidade relativa média do ar de 147 62%; chuvas concentradas no verão com volumes médios anuais de 489,3 mm; alta 148 incidência de radiação solar e evapotranspiração potencial anual superior a 1800 mm 149 (Queiroz et al., 2020). Em Pesqueira, o clima é semiárido quente (BShw) (Beck et al., 150 2018), com chuvas concentradas de janeiro a julho, registrando valores médios de 607 151 mm e temperatura do ar de 26 °C. Além disso, o solo que ocorre em Floresta e Pesqueira 152 é caracterizado como Luvissolo Crômico (Santos et al., 2018). As características físicas 153 do solo são exibidas na Tabela 1.



Figura 1. Localização das áreas experimentais com diferentes paisagens com mudança
no uso da terra: Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Caatinga
desmatada (DEFA) e clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana – Sertão (O
EM-S) localizadas no município de Floresta, Pernambuco e clones de palma forrageira
Orelha de Elefante Mexicana – Agreste e IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A) localizadas no
município de Pesqueira, Pernambuco.

Tabela 1. Características físicas do solo em áreas de Caatinga preservada (CAA),
Caatinga em regeneração (REGE), clone de palma forrageira Orelha de Elefante
Mexicana no Sertão (OEM-S) e área desmatada (DEFA) localizadas em Floresta,
Pernambuco, Brasil e clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Agreste
(OEM-A) e IPA Sertânia no Agreste (IPA-A) localizadas em Pesqueira, Pernambuco,
Brasil.

Características	CAA	REGE	OEM-S	OEM-A	IPA-A	DEFA
Ds (kg dm ⁻³)	1.39	1.39	1.34	1.64	1.66	1.28
Dp (g kg ⁻¹)	2.59	2.47	2.57	2.53	2.54	2.52
Pt (%)	46.39	43.95	48.05	35.51	34.57	49.30
AT $(g kg^{-1})$	555.98	353.17	559.97	738.20	714.88	561.60
Sil (g kg ⁻¹)	355.34	384.80	412.03	235.64	216.86	347.91

 Arg (g kg⁻¹)
 88.69
 262.05
 28.01
 26.16
 68.26
 90.50

Ds – densidade do solo, Dp – densidade da partícula, Pt – porosidade total, AT – areia total, Sil – silte, Arg – argila.

167

168 Historicamente, a área de Caatinga preservada (CAA) era utilizada para atividades 169 extrativistas, através da extração da madeira para uso doméstico (Figura 1). Além disso, 170 a área ocupa aproximadamente 200 hectares, com espécies de diferentes hábitos como 171 herbáceo, arbustivos e arbóreos, predominando as espécies de pequeno porte sendo estas 172 endêmicas e decíduas. Assim, espécies como Cenostigma pyramidale (Tul.) G. & P. 173 Lewis, Myracrodruon urundeuva Allemão, Aspidosperma pyrifolium Mart., Schinopsis 174 brasiliensis Engl., Cnidoscolus quercifolius Pohl, Spondias tuberosa Arruda, 175 Commiphora leptophloeos (Mart.) J.B. Gillett e Jatropha molíssima (Pohl) Baill., podem 176 ser encontradas na respectiva área. A área de Caatinga em regeneração (REGE), por sua 177 vez, compreende cerca de cinco hectares, onde sua vegetação nativa foi parcialmente 178 desmatada para implementação de cultivos agrícolas. Nesta área permanece algumas 179 espécies a exemplo de Schinopsis brasiliensis Engl., Myracrodruon urundeuva Allemão, 180 Spondias tuberosa Arruda, Cnidoscolus quercifolius Pohl, Sideroxylon obtusifolium 181 (Humb. ex Roem. & Schult.) T.D. Penn. O desmatamento parcial ocasionou-se para o 182 plantio de Cenchrus ciliaris L. para criação de ovinos, contudo, com a não 183 implementação, a área vem se regenerando naturalmente.

184 Por outro lado, a área de Caatinga desmatada (DEFA) que antes era composta por 185 vegetação nativa teve sua área de três hectares completamente desmatada com o objetivo 186 de cultivar algumas culturas de interesse agrícola, como algodão (Gossypium hirsutum 187 L.), cebola (Allium cepa L.), feijão de corda (Vigna unguiculata (L.) Walp.), milho (Zea 188 mays L.) e, capim corrente (Urochloa mosambicensis (Hack.) Dandy). No entanto, há 18 189 anos a área não é cultivada datando de 2005. Atualmente, a área encontra-se em processo 190 de regeneração natural e é composta por gramíneas rasteiras espontâneas, arbustos que 191 medem até 1,0 m e grandes faixas de solo nu, principalmente durante a estação seca.

Nas áreas de cultivos agrícolas, o sítio com Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) localizada no Sertão (OEM-S), as plantas foram cultivadas em condições de sequeiro, sendo este cacto resistente a cochonilha do carmim (Jardim et al., 2021). Antes do plantio, práticas de mecanização do solo (e.g., aração, gradagem e sulcagem) foram aplicados. O plantio foi realizado em agosto de 2014, com espaçamento de 2 m entre fileiras e 0,5 m entre plantas (10.000 plantas ha⁻¹), o equivalente a um hectare de área plantada. Os cladódios foram inseridos deixando 50% da extremidade inserida no

solo. Enquanto os dois sítios de palma forrageira do Agreste, compostas por *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (OEM-A) e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (IPA-A) estão
localizados em Pesqueira, Pernambuco. Além disso, ressaltamos que apenas na OEM-A
foi realizada adubação orgânica com esterco (30 kg ha⁻¹) durante o período experimental.

- 203
- 204

2.2.Amostragem do solo e análises físico-químicas

205 Em cada uma das seis áreas experimentais foram coletadas amostras deformadas e 206 indeformadas do solo. As amostras foram coletadas de forma aleatória em quatro camadas 207 (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm) de seis áreas com aspectos homogêneos (Silva et al., 2021). As amostras deformadas após coletadas foram misturadas para obtenção de 208 209 amostras compostas conforme a camada e a data. As propriedades físico-hídricas do solo 210 foram obtidas conforme a metodologia descrita por Silva (2009), onde foram analisadas as seguintes propriedades: densidade do solo (Ds, kg dm⁻³), porosidade total (Pt, %) e 211 frações totais de areia (g kg⁻¹), silte (g kg⁻¹) e argila (g kg⁻¹). 212

213 As propriedades químicas do solo por sua vez, foram obtidas conforme Silva (2009) 214 e Medeiros et al. (2017). Com as amostras de solo foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT, g kg⁻¹), fósforo (P, mg dm⁻³), potássio (K⁺, cmol_c kg⁻¹), 215 magnésio (Mg²⁺, cmol_c kg⁻¹), Ca²⁺ (cmol_c kg⁻¹) e sódio (Na⁺, cmol_c kg⁻¹), e soma de bases 216 217 (SB, cmol_c kg⁻¹). O teor de carbono orgânico total do solo foi determinado pelo método 218 Walkley-Black modificado. Este método envolve o uso de dicromato de sódio (Na₂Cr₂O₇) 219 e ácido sulfúrico (H₂SO₄), e a oxidação da matéria orgânica é realizada a frio (Van Raij et al., 2001). Por sua vez, o P, K⁺ e Na⁺ disponíveis foram determinados pelo método de 220 extração Mehlich-1 com 0,05 mol L⁻¹ de H₂SO₄ mais 0,025 mol L⁻¹ de HCl. A extração 221 do teor de Ca^{2+} e Mg²⁺ foi obtida pelo método Mehlich-1 com KCl 1,0 mol L⁻¹. 222

223

2.3. Análise dos dados e estatística

Os estoques de C e nutrientes foram calculados em uma camada específica do solo
conforme as Equações (1-6) (Li et al., 2017):

226	Estoque de $COT_i = COT_i \times Ds_i \times E_i \times 10^{-1}$	(1)
-----	--	-----

- 227 Estoque de $P_i = P_i x Ds_i x E_i x 10^{-1}$ (2)
- 228 Estoque de $K_i = K_i \times Ds_i \times E_i \times 10^{-1}$ (3)
- 229 Estoque de $Mg_i = Mg_i \times Ds_i \times E_i \times 10^{-1}$ (4)
- 230 Estoque de Ca_i = Ca_i x Ds_i x E_i x 10^{-1} (5)
- $231 Estoque de Na_i = Na_i x Ds_i x E_i x 10^{-1} (6)$

Onde COT_i é o conteúdo de COT na i-ésima camada de solo (g kg⁻¹), P_i é o conteúdo de P na i-ésima camada de solo (g kg⁻¹), K_i é o conteúdo de K⁺ na i-ésima camada de solo (g kg⁻¹), Mg_i é o conteúdo de Mg²⁺ na i-ésima camada de solo (g kg⁻¹), Ca_i é o conteúdo de Ca²⁺ na i-ésima camada de solo (g kg⁻¹) e Na_i é o conteúdo de Na⁺ na i-ésima camada de solo (g kg⁻¹), Ds_i é a densidade aparente da i-ésima camada de solo (g cm⁻³), e E_i equivale a espessura da i-ésima camada de solo (cm).

238 Para análise dos dados, calcularam-se médias do acumulado em 40 cm para que os 239 estoques fossem comparados entre as seis paisagens (CAA, REGE, DEFA, OEM-S, 240 OEM-A e IPA-A). Os testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefor e Jaque-Bera (p<0,05) foram utilizados para verificar a normalidade dos dados. Além disso, as 241 242 concentrações e os estoques de C e nutrientes foram submetidos a estatística descritiva. 243 Considerando que os dados não apresentaram normalidade, a comparação das 244 concentrações e estoques de C e nutrientes nas profundidades, em diferentes épocas do 245 ano e entre paisagens foi realizada através dos testes de Kruskal-Wallis (p < 0.05) e 246 Conover-Iman (p < 0.05). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software 247 XLSTAT versão 2018 (Addison, Paris, France, www.xlstat.com).

248

249

3. RESULTADOS

250 As características químicas do solo variaram significativamente ao longo das 251 paisagens em função das quatro profundidades avaliadas (p < 0,05) (Tabela 2). De modo 252 geral, as concentrações dos nutrientes e carbono diminuíram ao longo da profundidade, 253 de modo que, o COT e P apresentaram reduções no perfil do solo. Observamos maiores 254 valores nas camadas mais superficiais nas paisagens de REGE e IPA-A, com reduções de 255 55% e 59% na camada de 10-40 cm para o COT e P na REGE, respectivamente. Enquanto 256 na IPA-A as reduções foram de 44% para o COT e 60% para o P (p<0.05). Houve 257 reduções nas concentrações de K⁺ para CAA, REGE, OEM-S, IPA-A e DEFA, com 258 valores significativamente maiores nas camadas de 10-20 cm, enquanto os menores 259 valores foram registrados nas camadas de 30-40. Tais resultados mostraram reduções de 260 56% para CAA, 47% para REGE, 32% para OEM-S, 39% para IPA-A e 74% para DEFA (p < 0.05). Em contrapartida, as concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ aumentaram conforme 261 o aumento da profundidade (40 cm), com acréscimos de 65% e 63% nas paisagens OEM-262 S e DEFA para o Ca²⁺, respectivamente, enquanto na IPA-A o Ca²⁺ reduziu 28% da 263 264 profundidade de 10-40 cm.

265

Tabela 2. Características química do solo (carbono orgânico total – COT, fósforo – P, potássio – K⁺,
cálcio – Ca²⁺, magnésio – Mg²⁺, sódio – Na⁺ e soma de bases – SB) nas camadas de 0-40 cm em áreas
de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Orelha de Elefante Mexicana –
Sertão (OEM-S), e Caatinga desmatada (DEFA) em Floresta, Pernambuco, Brasil e Orelha de
Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A), IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A) em Pesqueira, Pernambuco,

271 Brasil.

			CAA			REGE			OEM-S			OEM-A			IPA-A			DEFA	
Camada	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
									(COT (g	kg ⁻¹)								
0-10	8	0.63	5.51a	10.39	3.92	8.80a	13.69	1.82	4.83a	7.84	9.43	10.62a	11.81	7.61	8.60a	9.58	1.56	3.82a	6.08
10-20	8	1.34	4.28a	7.22	2.75	5.22ab	7.69	0.21	4.35a	8.48	7.11	8.99a	10.88	5.67	6.77b	7.87	-0.39	5.42a	11.22
20-30	8	1.51	3.77a	6.03	2.06	4.52ab	6.97	1.64	3.00a	4.35	5.67	8.56a	11.44	4.56	5.53bc	6.50	1.04	3.51a	5.97
30-40	8	1.72	3.93a	6.14	1.46	3.88b	6.29	1.55	2.96a	4.36	5.21	8.02a	10.83	3.75	4.77c	5.79	1.37	2.75a	4.12
Média		1.30	4.37	7.45	2.55	5.60	8.66	1.31	3.78	6.26	6.85	9.05	11.24	5.40	6.42	7.43	0.90	3.87	6.85
										P (mg o	1m ⁻³)								
0-10	8	1.21	6.99a	12.76	24.00	38.45a	52.90	10.91	19.47a	28.04	47.32	61.57a	75.83	8.56	13.40a	18.24	3.03	29.63a	56.22
10-20	8	2.24	5.99a	9.74	10.51	20.22ab	29.92	5.34	14.55a	23.76	34.42	50.50a	66.59	6.89	10.52a	14.14	1.66	22.20a	42.74
20-30	8	0.85	3.24a	5.62	8.36	16.43b	24.49	2.09	12.72a	23.34	-46.57	101.05a	248.66	6.12	8.29ab	10.45	-2.36	11.91a	26.18
30-40	8	1.17	3.85a	6.52	2.81	15.64b	28.47	3.61	15.63a	27.65	17.00	37.35a	57.70	3.48	5.28b	7.08	-2.69	11.77a	26.23
Média		1.37	5.01	8.66	11.42	22.68	33.95	5.49	15.59	25.70	13.04	62.62	112.19	6.26	9.37	12.48	-0.09	18.88	37.84
									K	+ (cmol	_c dm ⁻³)								
0-10	8	0.22	0.30a	0.37	0.38	0.61a	0.84	0.19	0.25a	0.31	0.25	0.29a	0.33	0.18	0.28a	0.38	0.21	0.59a	0.97
10-20	8	0.12	0.20ab	0.28	0.29	0.45ab	0.60	0.13	0.18ab	0.23	0.22	0.25a	0.28	0.17	0.24ab	0.31	0.19	0.36a	0.52
20-30	8	0.09	0.13b	0.18	0.27	0.33b	0.39	0.11	0.18ab	0.25	0.06	0.39a	0.72	0.15	0.21ab	0.27	0.16	0.20b	0.23
30-40	8	0.07	0.13b	0.19	0.20	0.31b	0.42	0.07	0.17b	0.27	0.21	0.25a	0.28	0.15	0.17b	0.20	0.12	0.15c	0.18
Media		0.13	0.19	0.26	0.29	0.43	0.56	0.13	0.20	$\frac{0.27}{2+}$	0.19	0.29	0.40	0.16	0.23	0.29	0.17	0.32	0.47
0.10	0	1.00		7.46	4.00	5 50	6.0.4	1.01		$\frac{2}{2}$ (cmc	$\frac{dl_c dm^{-3}}{1.00}$)	6.55	0.07	1.17	1.24	0.00	2 001	2.62
0-10	8	4.09	5.//a	/.46	4.23	5.58a	6.94	1.91	2.460	3.00	1.90	4.23a	6.33 5.01	0.97	1.15a	1.34	2.38	3.00b	3.62
10-20	8	5.99	5.11a	6.23	3.99	5.62a	1.25	2.82	2.996	3.15	3.27	4.14a	5.01	0.//	1.04ab	1.51	2.74	3.4/b	4.20
20-30	ð	5.05	0.39a	1.15	4.38	0.55a	8.09	5.47 2.72	5.95a	4.39	2.05	3.80a	5.00	0.77	0.90ab	1.15	3.84	4.52a	5.20
50-40 Mádia	ð	5.58	0.38a 5.06	7.78	4.30	5.40a	0.51	3.73	4.00a	4.39	2.03	5.8/a	5.12	0.05	0.820	0.98	3.99 2 04	4.91a	5.85 4.71
Media		4.02	5.90	7.50	4.22	5.70	7.34	2.98	<u> </u>	$\frac{3.73}{2^{+}}$ (cm)	$\frac{2.01}{1 \text{ dm}^{-3}}$	$\frac{4.02}{3}$	3.44	0.79	0.99	1.19	3.24	5.97	4./1
0.10	8	1 /6	1 87h	2.28	1 1 8	2 122	3 66	0.77	0.00c	1.03	$\frac{n_c}{0.51}$	<u>)</u> 1.01a	1 51	0.38	0.472	0.56	1.03	1.280	1.52
10-20	8	0.86	2 35ah	2.20	1.10	2.42a 2.84a	<i>J</i> .00	1.07	1.20b	1.05	0.51	0.90_{2}	1.51	0.38	0.47a	0.30	1.05	1.200 1.50abc	1.52
20-30	8	2 11	2.3540	J.04 1 71	2.18	2.04a	4.11	1.07	1.200	1.34	0.09	1.089	1.10	0.20	0.38a	0.47	1.10	1.30a0c	2 31
30-40	8	2.11	3.75a	4.74	2.10 2.00	2.27a	3 40	1.50	1.67a	1.77	0.44	1.00a 1.52a	2 77	0.31	0.37a	0.53	1.56	2.029	2.31 2.47
Média	0	1.63	2.73	3.82	1 74	2.81	3.88	1.42	1.000	1.57	0.20	1.52a 1.13	1 77	0.32	0.42a	0.55	1.30	1.62u	2.03
									Na	1 ⁺ (cmo	$l_c dm^{-3}$)		0.00		0.00			
0-10	8	0.06	0.19a	0.33	-0.04	0.10b	0.23	0.19	0.30b	0.40	0.10	0.19a	0.29	0.03	0.07a	0.10	0.01	0.03c	0.05
10-20	8	-0.02	0.26a	0.55	-0.03	0.22ab	0.46	0.39	0.53a	0.68	0.12	0.19a	0.27	0.04	0.07a	0.09	0.01	0.05abc	0.08
20-30	8	0.00	0.48a	0.96	0.12	0.33a	0.55	0.35	0.52a	0.69	0.12	0.22a	0.32	0.05	0.07a	0.09	0.04	0.08ab	0.13
30-40	8	0.04	0.57a	1.10	0.08	0.41a	0.73	0.37	0.50a	0.63	0.16	0.27a	0.38	0.06	0.08a	0.09	0.05	0.11a	0.16
Média		0.02	0.38	0.74	0.03	0.26	0.49	0.32	0.46	0.60	0.13	0.22	0.31	0.05	0.07	0.09	0.03	0.07	0.11
										SE									
0-10	8	6.57	8.13b	9.69	6.21	8.71a	11.20	3.17	3.90c	4.63	2.92	5.72a	8.51	1.83	1.97a	2.10	4.24	4.90b	5.56
10-20	8	5.40	7.93ab	10.45	6.08	9.13a	12.17	4.76	4.91b	5.05	4.36	5.48a	6.60	1.30	1.72ab	2.14	4.49	5.37b	6.26
20-30	8	7.88	10.43ab	12.98	7.10	10.47a	13.84	5.77	6.30a	6.84	3.59	5.55a	7.51	1.33	1.60b	1.86	5.68	6.74a	7.80
30-40	8	8.62	10.54a	12.45	6.74	8.83a	10.92	5.96	6.43a	6.90	3.85	5.91a	7.98	1.26	1.49b	1.73	5.78	7.18a	8.58
Média		7.12	9.26	11.39	6.53	9.28	12.03	4.91	5.38	5.85	3.68	5.67	7.65	1.43	1.69	1.96	5.05	6.05	7.05
										Ca ²⁺ /	K ⁺								
0-10	8	13.40	19.94b	26.49	2.87	11.16b	19.45	7.47	10.18b	12.90	8.30	14.59a	20.88	2.77	4.72a	6.67	3.22	6.80d	10.38
10-20	8	13.62	28.87b	44.13	4.63	14.55ab	24.47	11.82	17.64a	23.45	14.51	16.26a	18.00	3.45	4.50a	5.55	6.29	11.45c	16.62
20-30	8	34.50	51.11a	67.71	14.69	19.92a	25.15	15.29	24.11a	32.93	8.13	13.15a	18.18	3.66	4.89a	6.12	18.45	23.63b	28.81
30-40	8	23.03	59.27a	95.50	12.43	18.70a	24.98	15.80	29.41a	43.02	10.97	15.97a	20.97	3.46	4.84a	6.22	24.13	33.87a	43.60

Média		21.14	39.80	58.46	8.65	16.08	23.51	12.60	20.34	28.07	10.48	14.99	19.51	3.33	4.74	6.14	13.02	18.94	24.85
										Ca ²⁺ /N	$1 g^{2+}$								
0-10	8	1.73	3.29a	4.85	1.91	2.51a	3.12	2.35	2.72a	3.09	2.99	4.18a	5.36	1.88	2.59a	3.29	2.01	2.36a	2.72
10-20	8	1.02	2.86a	4.70	1.71	2.08a	2.45	2.23	2.50a	2.77	4.04	4.72a	5.39	2.32	2.78a	3.24	1.95	2.32a	2.69
20-30	8	1.27	2.06a	2.85	1.73	2.02a	2.31	2.08	2.36a	2.65	2.70	4.20a	5.69	2.06	2.64a	3.22	2.20	2.34a	2.48
30-40	8	1.24	2.30a	3.35	1.77	2.03a	2.28	2.16	2.41a	2.67	1.99	3.59a	5.20	1.67	1.96b	2.25	2.24	2.46a	2.69
Média		1.31	2.63	3.94	1.78	2.16	2.54	2.21	2.50	2.79	2.93	4.17	5.41	1.98	2.49	3.00	2.10	2.37	2.65
										Mg^{2+}	K^+								
0-10	8	4.36	6.68b	9.00	-0.25	5.24b	10.73	2.75	3.77c	4.79	2.10	3.46a	4.81	1.25	1.82ab	2.40	1.39	2.84d	4.28
10-20	8	-0.64	15.25ab	31.15	1.27	7.57ab	13.87	5.14	7.01b	8.87	2.89	3.55a	4.22	1.33	1.62b	1.91	2.88	4.84c	6.80
20-30	8	11.87	29.53a	47.20	7.35	10.00a	12.65	6.91	10.11ab	13.32	2.38	3.18a	3.97	1.42	1.88ab	2.34	7.61	10.21b	12.81
30-40	8	7.06	32.69a	58.32	5.45	9.50ab	13.55	6.77	12.16a	17.56	0.24	6.86a	13.47	1.76	2.52a	3.29	9.31	14.01a	18.71
Média		5.66	21.04	36.42	3.46	8.08	12.70	5.39	8.26	11.13	1.90	4.26	6.62	1.44	1.96	2.49	5.30	7.97	10.65
									(C	$a^{2+}+M$	$g^{2+})/K^+$								
0-10	8	19.13	26.62b	34.11	2.64	16.40b	30.15	10.33	13.96b	17.58	10.53	18.05a	25.56	4.15	6.54a	8.94	4.66	9.64d	14.61
10-20	8	13.13	44.13b	75.12	5.92	22.12ab	38.32	17.05	24.64a	32.23	17.56	19.81a	22.06	4.82	6.12a	7.41	9.25	16.29c	23.33
20-30	8	47.67	80.64a	113.61	22.22	29.92a	37.61	22.35	34.22a	46.10	10.91	16.33a	21.75	5.18	6.77a	8.36	26.07	33.83b	41.60
30-40	8	31.43	91.95a	152.47	17.95	28.21ab	38.47	22.72	41.58a	60.43	12.65	22.83a	33.00	5.29	7.36a	9.44	33.47	47.88a	62.30
Média		27.84	60.83	93.83	12.18	24.16	36.14	18.11	28.60	39.09	12.91	19.25	25.59	4.86	6.70	8.54	18.36	26.91	35.46

Médias (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra para as diferentes paisagens não se diferem entre si ao nível de significância de ($\alpha < 0.05$) pelo teste não paramétrico de Conover-Iman (comparação entre k amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança.

272

As concentrações de Mg²⁺ foram significativamente maiores para CAA, OEM-S e 273 DEFA na profundidade de 30-40 cm, com os menores valores registrados na camada mais 274 275 superficial (0-10 cm), assim os aumentos foram de 74% para CAA, 88% para OEM-S e 276 57% para DEFA (p < 0.05). O Na⁺ por sua vez, apresentou maiores médias na CAA e 277 DEFA, com aumentos de 310% e 266%, respectivamente (p < 0.05). A SB para CAA, 278 OEM-S, e DEFA foi maior nas profundidades de 30-40 cm com aumentos de 29% na 279 CAA, 65% na OEM-S, e 46% na DEFA, enquanto na IPA-A os maiores valores foram 280 observados nas camadas superficiais (0-20 cm), os quais apresentaram reduções de 24% (p < 0.05). A relação Ca²⁺/K⁺, Mg²⁺/K⁺ e (Ca²⁺+Mg²⁺)/K⁺ apresentaram diferencas 281 282 significativas para CAA, REGE, OEM-S e DEFA, com aumentos em função da 283 profundidade, registrando maiores médias nas profundidades de 30-40 cm. Por outro lado, para IPA-A apresentou diferença significativa apenas para a relação Ca²⁺/Mg²⁺ e 284 Mg²⁺/K⁺. Ambas as relações apresentaram comportamento contrastante, sendo Ca^{2+/}Mg²⁺ 285 286 com maiores médias observadas nas camadas mais superficiais (0-20 cm), com redução 287 de 24% na camada de 30-40 cm. Por outro lado, o Mg^{2+}/K^{+} ocorreu o inverso, com 288 maiores médias na camada mais profunda (30-40 cm) com aumento de 38% quando 289 comparada as camadas mais superficiais (p < 0.05).

Os estoques de C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ para as seis paisagens são apresentados na
Tabela 3. Como esperado, os estoques, em sua grande maioria, diminuíram ao longo do
perfil do solo. Assim, os estoques de C e P foram significativamente maiores para REGE
e IPA-A, com médias de 11,81 e 13,86 Mg ha⁻¹ para C e 0,05 e 0,02 Mg ha⁻¹ para P,

294	respectivamente, na camada de 0-10 cm (p <0,05). Isso mostra que houve reduções no
295	estoque de C de 53% para REGE e 41% para IPA-A na camada de 30-40, enquanto o
296	estoque de P as reduções foram de 60 e 50% para REGE e IPA-A, respectivamente. Além
297	disso, os estoques de $K^{\scriptscriptstyle +}$ diferiram significativamente ao longo do perfil do solo para
298	CAA, REGE, OEM-S, IPA-A e DEFA, registrando maiores médias na camada de 0-10
299	cm com 0,17, 0,32, 0,13, 0,18 e 0,30 Mg $K^{\scriptscriptstyle +}$ ha^{\scriptscriptstyle -1}, respectivamente. Ou seja, foram
300	encontradas reduções nas camadas de 30-40 cm de 58% para CAA, 43% para REGE,
301	31% para OEM-S, 31% IPA-A e 76% para DEFA (p<0,05). A 0-10 cm percebe-se que
302	os estoques de Ca^{2+} são menores quando comparados a profundidade de 30-40 cm para
303	OEM-S e DEFA, com aumentos de 66% e 58%, respectivamente. Na IPA-A o
304	comportamento do Ca2+ foi contrário, com maiores médias na camada mais superficial
305	(0-10 cm) de 0,37 Mg Ca ²⁺ ha ⁻¹ com redução de 24% para a camada de 30-40 cm. Por sua
306	vez, os estoques de Mg ²⁺ diferiram para CAA, OEM-S e DEFA com aumentos ao longo
307	do perfil do solo, com médias de 0,56, 0,26 e 0,30 Mg h ⁻¹ a 30-40 cm. Tais aumentos
308	tiveram magnitude de 69% para CAA, 86% para OEM-S e 55% para DEFA (p <0,05).
309	Similarmente, os estoques de Na ⁺ aumentaram ao longo do perfil do solo para REGE,
310	OEM-S e DEFA, registrando maiores médias a 30-40 cm de profundidade, o equivalente
311	a 333, 77 e 200%, respectivamente.

Tabela 3. Estoques de C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ nas camadas de 0-40 cm em áreas de
Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Caatinga desmatada
(DEFA), Orelha de Elefante Mexicana – Sertão (OEM-S) em Floresta, Pernambuco,
Brasil e clone IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A) e Orelha de Elefante mexicana – Agreste
(OEM-A) em Pesqueira, Pernambuco, Brasil.

Camada			CAA			REGE			OEM-S	5		OEM-A	1		IPA-A			DEFA	
cm	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
									C	stock (Mg ha	-1)							
0-10	8	3.42	9.55a	15.69	9.32	13.25a	17.17	4.73	7.47a	10.21	14.18	15.96a	17.74	12.27	13.86a	15.44	3.91	5.78a	7.66
10-20	8	3.22	6.45a	9.67	7.13	8.97ab	10.82	1.81	6.61ab	11.40	11.72	14.83a	17.94	9.42	11.26ab	13.09	0.93	7.77a	14.61
20-30	8	3.73	5.64a	7.54	4.33	8.54b	12.75	4.05	4.91b	5.77	9.52	14.37a	19.21	7.68	9.32bc	10.96	2.91	5.36a	7.82
30-40	8	4.61	6.43a	8.26	3.33	5.98b	8.63	4.12	4.70b	5.28	8.90	13.70a	18.51	6.34	8.07c	9.80	2.90	4.49a	6.08
Média		3.75	7.02	10.29	6.03	9.18	12.34	3.68	5.92	8.17	11.08	14.72	18.35	8.93	10.63	12.32	2.66	5.85	9.04
									P	stock (Mg ha	-1)							
0-10	8	0.00	0.01a	0.02	0.03	0.05a	0.07	0.01	0.03a	0.04	0.07	0.09a	0.11	0.01	0.02a	0.03	0.00	0.04a	0.07
10-20	8	0.00	0.01a	0.01	0.01	0.03ab	0.04	0.01	0.02a	0.03	0.06	0.08a	0.11	0.01	0.02a	0.02	0.00	0.03a	0.06
20-30	8	0.00	0.00a	0.01	0.01	0.02b	0.03	0.00	0.02a	0.03	-0.08	0.17a	0.42	0.01	0.01ab	0.02	0.00	0.02a	0.03
30-40	8	0.00	0.01a	0.01	0.00	0.02b	0.04	0.00	0.02a	0.04	0.03	0.06a	0.10	0.01	0.01b	0.01	0.00	0.01a	0.03
Média		0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.01	0.02	0.03	0.02	0.10	0.18	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.05
									K ⁺	stock	(Mg ha	ı⁻¹)							
0-10	8	0.13	0.17a	0.21	0.20	0.32a	0.44	0.10	0.13a	0.16	0.15	0.17a	0.19	0.12	0.18a	0.24	0.11	0.30a	0.49

10-20	8	0.07	0.11ab	0.15	0.16	0.24ab	0.33	0.07	0.09ab	0.12	0.14	0.16a	0.18	0.11	0.16ab	0.20	0.10	0.18a	0.26
20-30	8	0.05	0.07b	0.09	0.14	0.18b	0.21	0.06	0.09ab	0.13	0.04	0.26a	0.48	0.10	0.14ab	0.18	0.08	0.10b	0.11
30-40	8	0.04	0.07b	0.11	0.11	0.18b	0.24	0.04	0.09b	0.14	0.14	0.16a	0.18	0.10	0.12b	0.14	0.06	0.07c	0.09
Média		0.07	0.10	0.14	0.15	0.23	0.30	0.07	0.10	0.14	0.12	0.19	0.26	0.10	0.15	0.19	0.09	0.16	0.24
									Ca ²⁻	+ stock	(Mg h	na⁻¹)							
0-10	8	1.19	1.68a	2.17	1.14	1.50a	1.87	0.51	0.66b	0.80	0.57	1.27a	1.97	0.31	0.37a	0.43	0.62	0.78b	0.94
10-20	8	1.10	1.41a	1.72	1.11	1.57a	2.02	0.75	0.79b	0.84	1.08	1.37a	1.65	0.26	0.35ab	0.44	0.71	0.90b	1.08
20-30	8	1.31	1.67a	2.02	1.21	1.81a	2.41	0.92	1.05a	1.17	0.89	1.30a	1.70	0.26	0.32ab	0.39	0.97	1.15a	1.32
30-40	8	1.52	1.86a	2.20	1.23	1.55a	1.86	1.01	1.10a	1.19	0.90	1.33a	1.75	0.22	0.28b	0.33	1.00	1.24a	1.47
Média		1.28	1.65	2.03	1.17	1.61	2.04	0.80	0.90	1.00	0.86	1.32	1.77	0.26	0.33	0.40	0.83	1.02	1.20
									Mg ²	+ stock	t (Mg l	na ⁻¹)							
0-10	8	0.26	0.33b	0.40	0.19	0.39a	0.60	0.13	0.15b	0.17	0.09	0.18a	0.28	0.07	0.09a	0.11	0.16	0.20b	0.24
10-20	8	0.14	0.39ab	0.64	0.27	0.48a	0.70	0.17	0.19a	0.21	0.14	0.18a	0.22	0.06	0.08a	0.09	0.18	0.24ab	0.29
20-30	8	0.33	0.54ab	0.75	0.37	0.55a	0.73	0.25	0.27a	0.29	0.09	0.22a	0.35	0.06	0.08a	0.09	0.24	0.30a	0.36
30-40	8	0.36	0.56a	0.76	0.35	0.47a	0.59	0.25	0.28a	0.31	0.06	0.32a	0.57	0.07	0.09a	0.11	0.24	0.31a	0.38
Média		0.27	0.46	0.64	0.29	0.47	0.65	0.20	0.22	0.24	0.10	0.23	0.35	0.06	0.08	0.10	0.21	0.26	0.32
									Na ⁺	stock	(Mg h	a ⁻¹)							
0-10	8	0.02	0.06a	0.11	-0.01	0.03b	0.07	0.06	0.09b	0.12	0.03	0.07a	0.10	0.01	0.02a	0.04	0.00	0.01b	0.02
10-20	8	-0.01	0.08a	0.17	-0.01	0.07ab	0.15	0.12	0.16a	0.21	0.05	0.07a	0.10	0.02	0.03a	0.04	0.00	0.01b	0.02
20-30	8	0.00	0.14a	0.29	0.04	0.11a	0.18	0.11	0.16a	0.21	0.05	0.08a	0.12	0.02	0.03a	0.03	0.01	0.02ab	0.04
30-40	8	0.01	0.19a	0.36	0.03	0.13a	0.24	0.12	0.16a	0.20	0.06	0.11a	0.15	0.02	0.03a	0.04	0.02	0.03a	0.05
Média		0.01	0.12	0.23	0.01	0.08	0.16	0.10	0.14	0.19	0.05	0.08	0.12	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03
2 11 / N				1			c .		~	1.0					1 () 0	0.50 1		. ,	

Médias (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra para as diferentes paisagens não se diferem entre si ao nível de significância de ($\alpha < 0.05$) pelo teste não paramétrico de Conover-Iman (comparação entre k amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança.

319 Para os estoques de C e nutrientes em diferentes épocas do ano em áreas de CAA, 320 REGE, DEFA, OEM-S, OEM-A e IPA-A observou-se diferenças significativas (p<0,05) 321 (Tabela 4). Desta forma, notou-se variações para os estoques de C em função das épocas 322 do ano para CAA e OEM-A, de modo que, na CAA os maiores estoques foram observados 323 no tempo 2, com reduções de ~64% para o tempo 3 (p < 0.05). Já na OEM-A, os maiores 324 estoques foram observados no tempo 1 com reduções no tempo 3 para OEM-A, o 325 equivalente a 46%. Por sua vez, os estoques de P foram semelhantes aos de C com 326 diferenças significativas para CAA, REGE, OEM-S, OEM-A e DEFA (p<0,05). Na CAA, 327 REGE e OEM-S, os estoques de P aumentaram em função do tempo, com aumentos de 0,019 Mg ha⁻¹ do tempo 2 para o tempo 7 na CAA, 0,03 Mg ha⁻¹ do tempo 2 para o tempo 328 329 6 na REGE e do tempo 3 para o tempo 6 na OEM-S, respectivamente (p < 0.05). Por outro 330 lado, na OEM-A e DEFA os estoques de P diminuíram em função do tempo, com 331 reduções de 0,27 e 0,06 Mg ha⁻¹ do tempo 2 para o tempo 3 na OEM-A e DEFA, 332 respectivamente. Em contrapartida, os estoques de K⁺ foram significativos apenas para as 333 paisagens de palma forrageira, de modo que houve aumento ao longo do tempo. Assim, na OEM-S houve um acréscimo de 114% do tempo 1 para o tempo 2, enquanto na OEM-334 335 A esse acréscimo foi de 42% do tempo 3 para o 4 com redução de 30% para o tempo 7. 336 Houve aumento de 120% do tempo 2 para o tempo 7 na IPA-A. Da mesma forma, os estoques de Mg²⁺ aumentaram ao longo do tempo para REGE e IPA-A. Esses aumentos 337

³¹⁸

338 foram de 93% do tempo 1 para 8 em REGE e de 43% do tempo 2 para o tempo 8 na IPA-339 A (p<0,05). Já na CAA e OEM-A o comportamento foi contrário, com reduções de 62% 340 no estoque de P para CAA do tempo 3 para o tempo 5, e 69% do tempo 2 para o tempo 8 341 na OEM-A. Os estoques de Na⁺ diminuíram na CAA, OEM-A e IPA-A. Na CAA, essas 342 reduções foram de 96% do tempo 3 para o tempo 5, enquanto na OEM-A foi de 73% do 343 tempo 1 para o tempo 8 e na IPA de 75% do tempo 2 para o tempo 8 (p<0.05). REGE e DEFA apresentaram aumentos de 0,14 Mg ha⁻¹ e 0,027 Mg ha⁻¹ no estoque de Na⁺, 344 345 durante os tempos 1 e 2 para o tempo 8, respectivamente.

346

Tabela 4. Estoques de C, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ em diferentes épocas do ano em áreas
de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), Orelha de Elefante
Mexicana – Sertão (OEM-S) e Caatinga desmatada (DEFA) em Floresta, Pernambuco,
Brasil e clones de Orelha de Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A) e IPA-Sertânia –
Agreste (IPA-A) em Pesqueira, Pernambuco, Brasil.

			CAA			REGE			OEM-S			OEM-A			IPA-A			DEFA	
Periodo	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
									С	stock (Mg ha	1 ⁻¹)							
1	4	4.27	5.62ab	6.97	2.34	7.10a	11.87	4.86	6.21a	7.57	13.55	21.08a	28.61	8.17	12.54a	16.91	3.68	4.29a	4.90
2	4	3.93	12.23a	20.53	2.15	11.16a	20.17	0.11	9.28a	18.45	7.62	16.64ab	25.65	4.60	9.06a	13.51	5.34	8.17a	11.00
3	4	3.64	4.39b	5.15	6.48	11.49a	16.51	3.90	4.74a	5.58	9.03	11.45b	13.86	5.89	11.87a	17.84	3.09	4.14a	5.18
4	4	3.83	5.31ab	6.79	5.12	9.65a	14.19	3.41	4.84a	6.26	9.59	15.92ab	22.24	5.13	9.16a	13.18	2.89	4.25a	5.62
5	4	4.02	6.22ab	8.42	3.76	7.81a	11.87	2.91	4.93a	6.95	5.11	10.80b	16.50	3.25	9.97a	16.70	2.69	4.37a	6.05
6	4	1.85	7.41ab	12.97	2.08	7.73a	13.38	2.99	4.52a	6.04	8.91	12.72ab	16.52	8.03	10.59a	13.14	0.00	8.21a	21.57
7	4	1.66	6.82ab	11.98	1.85	8.76a	15.68	3.72	5.19a	6.65	9.78	12.72ab	15.67	9.58	11.20a	12.83	2.35	7.07a	14.36
8	4	1.48	6.24ab	11.00	1.62	9.80a	17.97	4.45	5.86a	7.27	14.69	16.40ab	18.10	6.63	7.75a	8.87	4.71	5.92a	7.14
Média		3.08	6.78	10.48	3.17	9.19	15.20	3.29	5.69	8.10	9.79	14.72	19.65	6.41	10.27	14.12	3.09	5.80	9.48
									Р	stock (Mg ha	l ⁻¹)							
1	4	0.00	0.01abc	0.02	0.00	0.03ab	0.07	0.00	0.01d	0.02	0.08	0.12a	0.16	0.01	0.02a	0.04	0.00	0.02ab	0.06
2	4	0.00	0.001d	0.00	0.00	0.01b	0.02	0.02	0.02cd	0.02	-0.32	0.31abc	0.94	0.00	0.02a	0.03	0.03	0.07a	0.11
3	4	0.00	0.002bcd	0.00	0.00	0.03ab	0.06	0.00	0.01d	0.02	0.03	0.04cd	0.06	0.00	0.01a	0.02	0.00	0.01b	0.02
4	4	0.001	0.002cd	0.003	0.013	0.03ab	0.054	0.017	0.02bc	0.025	0.04	0.09abcd	0.13	0.01	0.02a	0.02	0.013	0.03ab	0.043
5	4	0.00	0.01ab	0.02	0.03	0.05a	0.07	0.01	0.02bcd	0.03	0.00	0.05c	0.10	0.00	0.01a	0.02	0.00	0.01b	0.01
6	4	0.00	0.01ab	0.02	0.02	0.04a	0.06	0.03	0.04a	0.04	0.02	0.05bc	0.09	0.01	0.01a	0.02	0.01	0.02ab	0.04
7	4	0.001	0.02a	0.03	0.02	0.03ab	0.05	0.02	0.03ab	0.04	0.05	0.06bcd	0.08	0.01	0.01a	0.02	0.01	0.02ab	0.03
8	4	0.01	0.01abcd	0.01	0.01	0.02ab	0.04	0.02	0.03ab	0.05	0.08	0.09abc	0.11	0.006	0.01a	0.021	0.00	0.02ab	0.03
Média		0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.02	0.03	0.00	0.10	0.21	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.04
									K ⁺	stock	(Mg h	a ⁻¹)							
1	4	0.06	0.12a	0.17	0.10	0.24a	0.37	0.05	0.07b	0.09	0.15	0.19ab	0.23	0.14	0.19ab	0.25	0.18	0.22a	0.63
2	4	0.01	0.08a	0.16	0.04	0.17a	0.30	0.11	0.15a	0.19	-0.22	0.36ab	0.93	0.10	0.10c	0.11	0.07	0.15a	0.23
3	4	0.01	0.08a	0.15	0.07	0.31a	0.55	0.03	0.10ab	0.17	0.13	0.14c	0.16	0.10	0.12bc	0.13	0.01	0.17a	0.35
4	4	0.011	0.08a	0.15	0.111	0.25a	0.38	0.09	0.11ab	0.140	0.16	0.20a	0.24	0.10	0.14abc	0.17	0.046	0.14a	0.239
5	4	0.04	0.14a	0.23	0.16	0.27a	0.39	0.06	0.09ab	0.12	0.13	0.15abc	0.18	0.07	0.13abc	0.19	0.03	0.11a	0.19
6	4	0.03	0.13a	0.23	0.13	0.23a	0.34	0.09	0.12ab	0.16	0.13	0.15bc	0.17	0.10	0.12abc	0.15	0.05	0.15a	0.24
7	4	0.047	0.15a	0.245	0.132	0.18a	0.234	0.059	0.10ab	0.141	0.13	0.14c	0.15	0.11	0.22a	0.33	0.003	0.15a	0.295
8	4	-0.01	0.08a	0.16	0.13	0.15a	0.18	0.02	0.08ab	0.15	0.15	0.17abc	0.19	0.108	0.17ab	0.237	0.11	0.18a	0.47
Média		0.03	0.11	0.19	0.11	0.23	0.34	0.06	0.10	0.14	0.10	0.19	0.28	0.10	0.15	0.20	0.06	0.16	0.33
									Ca ²	+ stock	(Mg l	1a ⁻¹)							
1	4	1.03	1.65a	2.27	1.16	1.36a	1.56	0.39	0.93a	1.47	0.07	1.61a	3.15	0.20	0.26a	0.32	0.51	1.04a	1.56
2	4	1.02	1.54a	2.05	0.92	1.34a	1.76	0.40	0.80a	1.20	1.09	1.72a	2.35	0.13	0.28a	0.43	0.85	0.89a	0.94

3	4 0.92	1.49a	2.06	1.12	1.81a	2.50	0.58	0.90a	1.22	0.84	1.01a	1.18	0.28	0.36a	0.45	0.27	1.02a	1.77
4	4 1.425	1.51a	1.60	1.19	1.60a	2.01	0.58	0.87a	1.17	0.21	1.74a	3.27	0.33	0.39a	0.46	0.70	1.02a	1.34
5	4 1.23	1.78a	2.33	0.53	1.70a	2.88	0.67	0.88a	1.10	0.80	1.00a	1.20	0.22	0.29a	0.35	0.71	0.99a	1.26
6	4 1.56	1.96a	2.36	1.37	1.53a	1.70	0.60	0.90a	1.21	0.92	1.09a	1.26	0.19	0.32a	0.45	0.87	1.17a	1.47
7	4 1.312	1.65a	1.99	1.221	1.52a	1.81	0.67	0.92a	1.18	1.00	1.29a	1.58	0.24	0.39a	0.55	0.77	1.10a	1.33
8	4 0.67	1.51a	2.35	1.33	1.90a	2.46	0.68	0.98a	1.28	1.00	1.07a	1.14	0.257	0.36a	0.456	0.68	0.98a	1.29
Média	1.14	1.64	2.13	1.10	1.59	2.08	0.57	0.90	1.23	0.74	1.32	1.89	0.23	0.33	0.43	0.67	1.02	1.37
								Mg	²⁺ stock	k (Mg l	na ⁻¹)							
1	4 0.19	0.31ab	0.43	0.26	0.33b	0.40	0.10	0.22a	0.35	0.02	0.16ab	0.30	0.05	0.07bc	0.09	0.16	0.29a	0.42
2	4 0.39	0.56ab	0.72	0.34	0.43ab	0.52	0.09	0.21a	0.33	0.09	0.36a	0.62	0.05	0.07c	0.08	0.17	0.20a	0.22
3	4 0.36	0.69a	1.02	0.26	0.58ab	0.91	0.13	0.25a	0.37	0.16	0.20ab	0.24	0.08	0.09abc	0.10	0.12	0.27a	0.43
4	4 0.390	0.62ab	0.856	0.290	0.47ab	0.646	0.122	0.22a	0.325	0.04	0.22ab	0.41	0.05	0.07abc	0.09	0.185	0.26a	0.327
5	4 0.11	0.26b	0.40	0.04	0.43ab	0.83	0.15	0.23a	0.31	0.10	0.17ab	0.24	0.04	0.09bc	0.15	0.16	0.24a	0.33
6	4 0.30	0.45ab	0.60	0.30	0.42ab	0.55	0.12	0.21a	0.30	0.10	0.18ab	0.26	0.08	0.08abc	0.09	0.26	0.31a	0.36
7	4 0.211	0.38ab	0.543	0.327	0.43ab	0.535	0.137	0.22a	0.298	-0.30	0.40ab	1.10	0.08	0.11ab	0.13	0.197	0.27a	0.342
8	4 0.09	0.47ab	0.86	0.40	0.64a	0.89	0.14	0.21a	0.29	0.10	0.11b	0.13	0.084	0.10a	0.106	0.17	0.25a	0.34
Média	0.26	0.47	0.68	0.28	0.47	0.66	0.12	0.22	0.32	0.04	0.23	0.41	0.06	0.08	0.10	0.18	0.26	0.35
								Na	+ stock	(Mg h	a ⁻¹)							
1	4 0.02	0.04bc	0.06	0.00	0.03b	0.05	0.01	0.14a	0.27	0.06	0.15a	0.24	0.01ab	0.03	0.05	0.00	0.03a	0.06
2	4 0.02	0.08abc	0.13	0.01	0.03ab	0.07	0.10	0.17a	0.24	0.00	0.08ab	0.16	0.02ab	0.03	0.03	0.00	0.003b	0.01
3	4 0.07	0.26a	0.45	0.06	0.15ab	0.36	0.11	0.16a	0.20	0.05	0.06ab	0.08	0.04a	0.04	0.04	0.00	0.02ab	0.04
4	4 0.087	0.17ab	0.251	0.013	0.08ab	0.168	0.105	0.15a	0.203	0.06	0.07ab	0.09	0.02ab	0.03	0.04	0.001	0.01ab	0.029
5	4 0.01	0.01c	0.02	0.01	0.07ab	0.15	0.10	0.12a	0.14	0.05	0.06ab	0.07	0.00b	0.02	0.03	0.00	0.02ab	0.04
6	4 0.04	0.16ab	0.29	0.01	0.06ab	0.11	0.10	0.17a	0.24	0.04	0.10a	0.17	0.01b	0.02	0.02	0.00	0.02ab	0.03
7	4 0.007	0.09abc	0.188	0.036	0.11ab	0.185	0.087	0.13a	0.173	0.00	0.09ab	0.17	0.02ab	0.03	0.03	0.005	0.02ab	0.035
8	4 0.12	0.16ab	0.44	0.09	0.17a	0.25	0.05	0.10a	0.14	0.04	0.04b	0.05	0.018b	0.02	0.028	0.01	0.03a	0.04
Média	0.05	0.12	0.23	0.03	0.09	0.17	0.08	0.14	0.20	0.04	0.08	0.13	0.02	0.03	0.03	0.00	0.02	0.03
/ 1' /			1	1		1. (1		~	1.0		/ 1					. ~		1

Médias (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra para as diferentes paisagens não se diferem entre si ao nível de significância de ($\alpha < 0.05$) pelo teste não paramétrico de Conover-Iman (comparação entre k amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança. Tempos: 1 (17/03/2020), 2 (04/06/2020), 3 (27/08/2020), 4 (10/12/2020), 5 (06/06/2021), 6 (14/10/2021), 7 (11/03/2022) e 8 (17/11/2022).

352 353

As características químicas do solo para as áreas de CAA, REGE, OEM-S, OEM-

354 A, IPA-A e DEFA mostraram diferenças significativas ao longo do tempo avaliado 355 (p<0.05) (Tabela 5). Para o COT foram observadas variações ao longo do tempo para CAA, REGE, OEM-S, OEM-A e DEFA com valores médios de 8,75 g kg⁻¹ no tempo 2 356 357 com posterior redução de 63% para o tempo 3 (3,18 g kg⁻¹) na CAA. Para OEM-A a 358 concentração de COT apresentou valores significativamente maiores no tempo 1, com 359 valor médio de 12,85 g kg⁻¹ com redução de 45% para o tempo 3. Similarmente, as 360 concentrações de P apresentaram variações para CAA, REGE, OEM-S, OEM-A e DEFA, com maiores médias no tempo 7 para CAA (10,90 mg dm⁻³), com decréscimos para o 361 362 tempo 1 (1,04 mg dm⁻³) (p < 0.05). Além disso, na REGE foram observadas menores concentrações de P para o tempo 2 (8,20 mg dm⁻³), com posterior aumento no tempo 5 363 364 (35,78 mg dm⁻³), enquanto na OEM-S as menores concentrações foram observadas no tempo 1 (6,46 mg dm⁻³), com as maiores médias no tempo 5 (28,21 mg dm⁻³) (p < 0.05). 365 Para OEM-A as maiores concentrações de P foram observadas no tempo 1 (75.24 mg dm⁻ 366 ³), com reduções para os tempos 3, 5 e 6 (i.e., 26,42, 31,13 e $33,23 \text{ mg dm}^{-3}$). Já na DEFA, 367 o tempo 1 registrou a maior média com 52,63 mg P dm⁻³, com posterior redução no tempo 368

1 e 5. As concentrações de K⁺ apresentaram variações apenas para as áreas de OEM-S e
OEM-A, com menores médias para o tempo 1, e com aumento para o tempo 2 na OEMS, enquanto na OEM-A as maiores concentrações foram observadas no tempo 2 e 4, e
menores concentrações no tempo 7.

- Por sua vez, as concentrações de Mg²⁺ apresentaram variações para CAA, REGE, 373 374 OEM-A e IPA-A, de modo que, as maiores concentrações foram observadas no tempo 3 375 com média de 4,12 cmol_c dm⁻³, e com redução de 63% para o tempo 5 para CAA. Na 376 REGE, observou-se aumento de 98% do tempo 1 para o tempo 8, enquanto na OEM-A 377 as maiores concentrações foram observadas no tempo 2 (1,78 cmol_c dm⁻³) com reduções 378 de 217% para o tempo 8 (0,56 cmol_c dm⁻³). Na IPA-A observou-se aumentos do tempo 1 (0,35 cmol_c dm⁻³) para o tempo 7 (0,53 cmol_c dm⁻³) nas concentrações de Mg²⁺. Por outro 379 lado, as concentrações de Na⁺ variaram ao longo do tempo para CAA, REGE, OEM-A, 380 381 IPA-A e DEFA. Na CAA e IPA-A, as concentrações de Na⁺ foram maiores no tempo 3 com média de 0.83 cmol_c dm⁻³, reduzindo para 0.04 cmol_c dm⁻³ no tempo 5 para CAA, 382 383 enquanto na IPA-A a maior média foi de 0,10 cmol_c dm⁻³ no tempo 3, com redução para 384 o tempo 5 (média de 0,04 cmol_c dm⁻³). Em contrapartida, na REGE foram registradas 385 maiores concentrações no tempo 8 (média de 0,54 cmol_c dm⁻³) e menor média de 0,10 cmol_c dm⁻³ no tempo 2. Já na DEFA as menores médias foram de 0,01 cmol_c dm⁻³ no 386 387 tempo 2, enquanto a maior média foi de 0,09 cmol_c dm⁻³ no tempo 8. Para OEM-A, as maiores concentrações de Na⁺ foram de 0,39 cmol_c dm⁻³ no tempo 1, de modo que as 388 menores concentrações foram de $0,12 \text{ cmol}_{c} \text{ dm}^{-3}$ no tempo 8. Para as relações $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^{+}$ e 389 (Ca²⁺+Mg²⁺)/K⁺ observou-se variações apenas para IPA-A, onde a maior média foi 390 391 registrada no tempo 3 com médias de 6,13 e 8,57, respectivamente, enquanto as menores 392 concentrações foram observadas no tempo 1 com média de 2,67 para Ca²⁺/K⁺ e 3,85 para 393 (Ca²⁺+Mg²⁺)/K⁺. Contrariamente, a relação Ca²⁺/Mg²⁺ mostrou variações para CAA, 394 REGE e DEFA. Assim, as maiores concentrações na CAA foram observadas no tempo 5 395 (4,64), com reduções no tempo 3 (1,34), enquanto na REGE as maiores concentrações 396 foram registradas no tempo 1 (2,53) com posterior redução no tempo 8 (1,80). Além disso, 397 na DEFA as maiores concentrações foram observadas no tempo 2, com reduções no 398 tempo 1.
- 399

400 **Tabela 5**. Características químicas do solo (carbono orgânico total – COT, fósforo – P,
401 potássio – K⁺, cálcio – Ca²⁺, magnésio – Mg²⁺, sódio – Na⁺ e soma de bases – SB) em
402 diferentes épocas do ano para Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração

403 (REGE), Orelha de Elefante Mexicana - Sertão (OEM-S), e Caatinga desmatada

404 (DEFA) em Floresta, Pernambuco, Brasil e Orelha de Elefante Mexicana - Agreste

405 (OEM-A), IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A) em Pesqueira, Pernambuco, Brasil.

			CAA			REGE			OEM-S			OEM-A			IPA-A	L		DEFA	
Period	n	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α	α	μ	1-α
-									CC)T (g kg	g ⁻¹)								
1	4	3.09	4.06ab	5.03	1.47	5.16a	8.85	3.64	4.65a	5.67	8.81	12.85a	16.89	4.70	7.57a	10.43	2.93	3.35a	3.78
2	4	3.36	8.75a	14.14	1.21	8.13a	15.05	0.03	6.97a	13.92	4.97	10.17ab	15.36	2.58	5.47a	8.37	4.23	6.38a	8.53
3	4	2.48	3.18b	3.89	4.36	8.33a	12.30	2.96	3.55a	4.15	4.88	7.06b	9.23	3.32	7.17a	11.02	2.35	3.24a	4.13
4	4	2.75	3.83ab	4.92	3.43	7.00a	10.57	2.57	3.62a	4.67	5.04	9.86ab	14.67	2.88	5.53a	8.18	2.25	3.33a	4.40
5	4	3.03	4.48ab	5.94	2.50	5.67a	8.84	2.19	3.69a	5.19	2.49	6.72ab	10.94	1.74	6.04a	10.34	2.15	3.41a	4.67
6	4	1.49	5.30ab	9.12	1.35	5.62a	9.88	2.25	3.38a	4.51	4.89	7.85ab	10.81	4.66	6.38a	8.10	0.00	6.38a	16.71
7	4	1.41	4.88ab	8.35	1.25	6.36a	11.47	2.77	3.89a	5.00	5.28	7.85ab	10.42	5.56	6.75a	7.94	0.00	5.51a	11.21
8	4	1.33	4.46ab	7.59	1.16	7.11a	13.06	3.30	4.39a	5.48	9.60	10.03ab	10.45	4.24	5.05a	5.86	3.57	4.64a	5.71
Mean		3.09	4.06	5.03	1.47	5.16	8.85	3.64	4.65	5.67	8.81	12.85	16.89	4.70	7.57	10.43	2.93	3.35	3.78
										P (mg)	dm ⁻³)								
1	4	0.63	6.56abc	12.50	0.00	22.89ab	51.29	0.13	6.46d	12.80	46.82	75.24a	103.67	5.80	15.10a	24.40	0.00	15.00b	44.61
2	4	0.00	1.04d	2.26	0.00	8.20b	17.82	11.93	13.33cd	14.73	0.00	186.78a	557.62	21.57	11.41a	21.26	24.49	52.63a	80.77
3	4	0.79	1.79bcd	2.79	0.00	22.15ab	47.83	0.00	5.88d	14.85	12.78	26.42b	40.07	2.71	6.57a	10.43	0.00	7.85b	18.19
4	4	0.82	1.41cd	2.01	8.11	24.18ab	40.25	12.79	15.73bc	18.67	23.29	52.84ab	82.40	6.19	9.19a	12.19	10.42	21.57ab	32.72
5	4	2.09	7.30ab	12.51	19.46	5 35.78a	52.11	10.17	15.49bcc	120.82	0.00	31.13b	62.53	0.63	6.75a	12.86	3.78	6.72b	9.66
6	4	0.59	8.37ab	16.14	15.76	5 30.59a	45.42	25.05	28.21a	31.38	10.98	33.26b	55.54	4.21	7.90a	11.58	9.90	19.08ab	28.27
7	4	0.91	10.90a	20.88	10.67	22.33ab	33.99	18.10	22.62ab	27.14	25.92	38.56ab	51.20	3.11	8.66a	14.22	5.04	12.59ab	20.15
8	4	4.09	5.03abcd	5.98	6.17	16.48ab	26.79	11.84	24.16ab	36.49	42.80	56.70ab	70.59	3.81	8.28a	12.75	0.00	11.98ab	26.67
Mean		1.22	5.30	9.38	7.52	22.83	39.44	10.86	16.49	22.11	20.32	62.62	127.95	3.50	9.23	14.96	6.70	18.43	32.63
-									K	+ (cmol	$c dm^{-3}$								
1	4	0.11	0.22a	0.32	0.18	0.44a	0.69	0.10	0.13b	0.17	0.21	0.30ab	0.38	0.20	0.30a	0.40	0.00	0.44a	1.24
2	4	0.03	0.15a	0.28	0.07	0.32a	0.57	0.21	0.28a	0.35	0.00	0.55a	1.42	0.14	0.16b	0.18	0.14	0.29a	0.44
3	4	0.02	0.15a	0.27	0.10	0.57a	1.04	0.05	0.19ab	0.32	0.18	0.23b	0.27	0.15	0.18ab	0.20	0.00	0.33a	0.69
4	4	0.03	0.15a	0.27	0.19	0.46a	0.73	0.17	0.22ab	0.27	0.25	0.32a	0.38	0.15	0.21ab	0.27	0.10	0.28a	0.47
5	4	0.10	0.25a	0.40	0.29	0.51a	0.73	0.11	0.17ab	0.24	0.19	0.24ab	0.30	0.10	0.20ab	0.30	0.07	0.22a	0.37
6	4	0.07	0.24a	0.41	0.23	0.44a	0.64	0.17	0.24ab	0.31	0.22	0.23ab	0.25	0.15	0.19ab	0.23	0.11	0.29a	0.47
7	4	0.09	0.27a	0.44	0.23	0.34a	0.44	0.11	0.19ab	0.27	0.19	0.226	0.26	0.16	0.34a	0.53	0.00	0.29a	0.58
8	4	0.00	0.14a	0.29	0.24	0.28a	0.32	0.04	0.16ab	0.28	0.25	0.27ab	0.28	0.16	0.27a	0.37	0.00	0.36a	0.93
Mean		0.06	0.20	0.34	0.19	0.42	0.65	0.12	0.20	0.28	0.19	0.29	0.44	0.15	0.23	0.31	0.05	0.31	0.65
									Ca	$\frac{2^{+}(cmo)}{cmo}$	$\frac{dm^{-3}}{dm^{-3}}$)		0.10					
1	4	3.87	5.93a	7.99	4.30	4.88a	5.45	1.48	3.47a	5.47	0.27	4.81a	9.36	0.60	0.79a	0.99	1.92	4.06a	6.20
2	4	3.98	5.51a	7.04	3.11	4.83a	6.55	1.51	2.99a	4.46	3.67	5.21a	6.76	0.37	0.86a	1.34	3.33	3.49a	3.65
3	4	3.03	5.41a	7.79	4.16	6.49a	8.83	2.19	3.36a	4.54	2.41	3.09a	3.77	0.82	1.09a	1.36	0.98	4.00a	7.02
4	4	4.89	5.46a	6.03	4.26	5.75a	7.23	2.18	3.25a	4.33	0.04	5.46a	10.88	0.95	1.18a	1.41	2.64	3.98a	5.33
5	4	4.72	6.39a	8.05	1.90	6.14a	10.39	2.54	3.29a	4.05	2.18	3.07a	3.97	0.67	0.86a	1.06	2.69	3.86a	5.03
6	4	5.26	7.08a	8.91	4.90	5.52a	6.15	2.23	3.37a	4.50	2.69	3.34a	3.98	0.55	0.96a	1.38	3.31	4.58a	5.86
7	4	4.69	5.95a	7.21	4.44	5.49a	6.55	2.52	3.44a	4.37	3.17	3.94a	4.70	0.72	1.18a	1.65	2.90	4.10a	5.29
8	4	2.43	5.46a	8.49	4.69	6.83a	8.97	2.56	3.67a	4.78	2.87	3.27a	3.67	0.75	1.07a	1.39	2.57	3.85a	5.12
Mean		4.11	5.90	7.69	3.97	5.74	7.52	2.15	3.36	4.56	2.16	4.02	5.89	0.68	1.00	1.32	2.54	3.99	5.44
		1.10	1.04.1	0.54	1.50	1.001	2.20	0.60	Mg	$\frac{2^{2+}(\text{cm})}{2}$	$\frac{D_c dm^{-1}}{2}$	<u>')</u>	1 47	0.04	0.051	0.45	0.07	1.04	0.75
l	4	1.13	1.84ab	2.54	1.58	1.93b	2.28	0.60	1.36a	2.12	0.13	0.80ab	1.47	0.26	0.356	0.45	0.97	1.86a	2.75
2	4	2.27	3.33ab	4.39	1.91	2.56ab	3.20	0.55	1.28a	2.01	0.53	1.78a	3.02	0.24	0.326	0.41	1.10	1.27a	1.43
3	4	1.93	4.12a	6.32	1.61	3.45ab	5.29	0.79	1.52a	2.26	0.86	0.99ab	1.11	0.37	0.43ab	0.49	0.71	1.77a	2.83
4	4	2.16	3./3a	5.29	1.75	2.7/ab	3.80	0.76	1.38a	1.99	0.07	1.16ab	2.25	0.25	0.35b	0.45	1.15	1.65a	2.15
5	4	0.58	1.53b	2.47	0.25	2.57ab	4.90	0.93	1.42a	1.91	0.45	0.85ab	1.26	0.19	0.46ab	0.73	1.00	1.57a	2.13
6	4	1.63	2.71ab	3.79	1.81	2.52ab	3.22	0.73	1.29a	1.84	0.55	0.89ab	1.24	0.36	0.41ab	0.46	1.62	2.00a	2.38
/	4	1.20	2.25ab	5.30	1.97	2.57ab	5.17	0.85	1.34a	1.83	-1.35	1.99ab	5.32	0.42	0.53a	0.64	1.23	1./4a	2.25
8	4	0.51	2.83ab	5.14	2.30	3.83a	5.37	0.85	1.52a	1.79	0.53	0.56b	0.59	0.42	0.47ab	0.52	1.04	1.64a	2.24
wean		1.43	2.19	4.10	1.05	2.78	3.90	0.76	1.30	1.9/	U.22	1.13	2.03	0.31	0.42	0.52	1.10	1.69	2.21
1	1	0.07	0.125	0.10	0.01	0.001	0.15	0.04		$\frac{1}{0.80}$	$\frac{1_c \text{ um}^3}{0.17}$	0.20-	0.00	0.02	0.07-1	0.12	0.01	0.11.	0.21
1	4	0.00	0.1200	0.19	0.01	0.080	0.15	0.04	0.40a	0.89	0.17	0.39a	0.00	0.02	0.0/abc	0.12	0.01	0.11a	0.21

2	4	0.07	0.24abc	0.40	0.00	0.10b	0.23	0.31	0.54a	0.78	0.02	0.21ab	0.41	0.06	0.08abc	0.09	0.00	0.01b	0.02
3	4	0.20	0.83a	1.46	0.00	0.46ab	1.10	0.36	0.51a	0.66	0.14	0.16ab	0.19	0.09	0.10a	0.11	0.00	0.07ab	0.15
4	4	0.26	0.53ab	0.81	0.00	0.24ab	0.52	0.34	0.50a	0.66	0.16	0.20ab	0.24	0.07	0.08ab	0.09	0.00	0.05ab	0.10
5	4	0.02	0.04c	0.06	0.00	0.21ab	0.46	0.31	0.38a	0.46	0.14	0.16ab	0.19	0.00	0.04c	0.08	0.00	0.07ab	0.14
6	4	0.09	0.52ab	0.96	0.05	0.19ab	0.34	0.33	0.57a	0.80	0.08	0.28a	0.48	0.04	0.05bc	0.06	0.02	0.05ab	0.09
7	4	0.00	0.29abc	0.59	0.12	0.35ab	0.58	0.28	0.42a	0.57	0.02	0.23ab	0.44	0.05	0.07abc	0.09	0.02	0.07ab	0.12
8	4	0.00	0.51ab	1.36	0.31	0.54a	0.76	0.16	0.32a	0.47	0.11	0.12b	0.13	0.05	0.06bc	0.08	0.04	0.09a	0.14
Mean		0.09	0.38	0.73	0.06	0.27	0.52	0.27	0.46	0.66	0.10	0.22	0.33	0.05	0.07	0.09	0.01	0.07	0.12
										SB									
1	4	5.45	8.11a	10.76	6.55	7.33a	8.11	2.30	5.43a	8.56	1.01	6.29ab	11.58	1.17	1.52a	1.86	4.11	6.47a	8.84
2	4	8.33	9.22a	10.12	5.30	7.81a	10.32	2.67	5.09a	7.52	4.52	7.75a	10.99	0.84	1.42a	2.00	4.71	5.06a	5.40
3	4	5.48	10.51a	15.54	6.74	10.98a	15.22	3.65	5.58a	7.51	3.91	4.47ab	5.03	1.47	1.80a	2.13	2.33	6.18a	10.02
4	4	7.73	9.87a	12.01	6.79	9.22a	11.66	3.60	5.35a	7.10	0.61	7.13ab	13.65	1.55	1.82a	2.10	4.26	5.97a	7.68
5	4	6.06	8.20a	10.35	2.90	9.43a	15.96	4.13	5.27a	6.42	3.15	4.33ab	5.52	1.08	1.57a	2.05	4.06	5.72a	7.37
6	4	7.42	10.56a	13.70	7.47	8.67a	9.87	3.75	5.46a	7.17	4.25	4.75ab	5.25	1.13	1.62a	2.11	5.43	6.93a	8.43
7	4	6.36	8.76a	11.15	7.02	8.75a	10.48	4.03	5.40a	6.77	2.21	6.38ab	10.54	1.53	2.12a	2.72	4.70	6.19a	7.69
8	4	2.93	8.94a	14.95	7.85	11.48a	15.12	4.03	5.47a	6.91	3.85	4.21b	4.58	1.44	1.87a	2.30	4.54	5.94a	7.33
Mean		6.22	9.27	12.32	6.33	9.21	12.09	3.52	5.38	7.24	2.94	5.67	8.39	1.28	1.72	2.16	4.27	6.06	7.84
										Ca ²⁺ /	K ⁺								
1	4.00	7.33	30.54a	53.75	4.31	12.56a	20.82	7.29	27.69a	48.10	0.14	17.37a	34.61	2.19	2.67c	3.15	0.00	22.48a	53.69
2	4.00	18.74	40.74a	62.73	6.80	17.12a	27.45	7.26	10.47a	13.69	1.97	14.71a	27.45	2.85	5.29abc	7.73	5.55	13.04a	20.52
3	4.00	8.10	46.66a	85.22	0.60	14.71a	28.81	5.00	21.44a	37.88	11.40	13.64a	15.89	5.41	6.13a	6.85	0.00	19.36a	45.81
4	4.00	16.77	43.70a	70.63	5.22	14.82a	24.42	7.33	16.84a	26.36	2.73	16.96a	31.20	4.55	5.68ab	6.81	1.34	18.04a	34.73
5	4.00	14.10	27.43a	40.75	0.00	14.02a	30.83	5.74	20.74a	35.75	10.52	12.63a	14.75	1.91	4.68abc	7.45	3.74	21.01a	38.28
6	4.00	4.99	35.37a	65.75	7.69	13.42a	19.15	6.99	14.71a	22.43	11.40	14.33a	17.26	3.43	5.01abc	6.59	2.06	18.75a	35.44
7	4.00	2.99	33.35a	63.71	12.84	19.95a	27.06	7.24	20.80a	34.36	12.36	17.95a	23.53	2.03	3.70bc	5.37	1.78	19.58a	37.38
8	4.00	0.00	58.04a	138.94	14.06	24.66a	35.27	5.48	26.95a	48.42	10.40	12.34a	14.29	4.15	4.35abc	4.56	0.00	18.98a	39.12
Mean		9.12	39.48	72.69	6.44	16.41	26.73	6.54	19.96	33.37	7.61	14.99	22.37	3.31	4.69	6.06	1.81	18.91	38.12
										Ca ²⁺ /M	lg^{2+}								
1	4	2.64	3.25ab	3.87	2.33	2.53a	2.73	2.19	2.54a	2.88	1.59	5.51a	9.43	2.19	2.26a	2.34	1.98	2.16b	2.35
2	4	0.59	1.76cde	2.94	1.70	1.88ab	2.06	2.12	2.37a	2.62	1.76	3.20a	4.65	1.71	2.61a	3.52	2.48	2.77a	3.06
3	4	1.15	1.34e	1.53	1.39	1.97ab	2.55	1.93	2.25a	2.58	2.11	3.17a	4.23	1.90	2.55a	3.20	1.78	2.19b	2.60
4	4	0.88	1.55de	2.22	1.61	2.16ab	2.71	2.04	2.42a	2.80	3.66	4.67a	5.69	2.35	3.46a	4.58	2.27	2.43ab	2.59
5	4	2.00	4.64a	7.28	1.65	2.54a	3.43	1.68	2.38a	3.08	2.12	3.78a	5.45	1.21	1.99a	2.77	2.26	2.48ab	2.69
6	4	2.08	2.67abcd	3.26	1.65	2.24ab	2.83	2.20	2.67a	3.13	1.83	3.97a	6.10	1.52	2.31a	3.10	2.01	2.28b	2.55
7	4	2.05	2.98abc	3.91	1.99	2.28ab	2.57	2.16	2.61a	3.06	0.72	3.22a	5.71	1.41	2.26a	3.10	2.28	2.37ab	2.47
8	4	1.41	2.08bcde	2.76	1.59	1.80b	2.02	2.59	2.79a	3.00	4.89	5.84a	6.79	1.57	2.28a	2.99	2.08	2.35ab	2.63
Mean		1.60	2.54	3.47	1.74	2.17	2.61	2.11	2.50	2.89	2.34	4.17	6.01	1.73	2.47	3.20	2.14	2.38	2.62
										Mg ²⁺ /	K ⁺								
1	4	1.72	9.53a	17.34	1.50	5.02a	8.54	2.90	10.83a	18.76	0.53	2.79ab	5.05	1.00	1.18b	1.36	0.00	10.07a	23.43
2	4	1.76	27.64a	53.51	2.94	9.26a	15.58	2.79	4.46a	6.14	1.77	4.28ab	6.79	1.68	2.01ab	2.34	2.06	4.72a	7.38
3	4	4.41	36.09a	67.76	0.00	7.99a	16.10	1.31	9.87a	18.43	3.20	4.41a	5.63	2.00	2.44a	2.87	0.00	8.27a	18.82
4	4	5.92	31.86a	57.80	1.76	7.39a	13.03	2.41	7.24a	12.08	0.83	3.57ab	6.31	0.81	1.72ab	2.63	0.75	7.40a	14.06
5	4	0.61	7.15a	14.92	0.00	6.07a	14.50	2.27	8.97a	15.67	2.10	3.50ab	4.90	0.89	2.43ab	3.96	1.20	8.58a	15.97
6	4	0.58	13.87a	27.16	2.59	6.25a	9.91	2.22	5.67a	9.11	2.39	3.83a	5.28	1.75	2.19ab	2.63	1.64	8.04a	14.44
7	4	0.00	14.50a	31.34	6.10	9.25a	12.41	2.37	8.14a	13.92	0.00	9.59ab	27.15	0.30	1.77ab	3.23	0.68	8.26a	15.84
8	4	17.16	31.95a	81.07	6.72	13.88a	21.03	1.73	9.79a	17.85	2.05	2.11b	2.18	1.16	1.98ab	2.80	0.00	8.15a	17.22
Mean		4.02	21.57	43.86	2.70	8.14	13.89	2.25	8.12	13.99	1.60	4.26	7.91	1.20	1.96	2.73	0.79	7.94	15.89
1		0.16	40.07	70.07	5 00	17.50	20.26	10.02	<u>(C</u>	$a^{2+}+Mg$	$\frac{g^{2+}}{K}$	20.16	20.40	2.10	2.051	4.51	0.00	22.55	77 11
1	4	9.16	40.07a	/0.9/	5.82	17.59a	29.36	10.23	38.52a	00.81	0.85	20.16a	39.48	3.19	3.85b	4.51	0.00	32.55a	//.11
2	4	20.63	68.37a	110.11	9.74	26.38a	43.02	10.09	14.93a	19.78	3.// 15.70	18.99a	34.22	4.61	/.30ab	9.98	/.64	17.75a	21.87
5	4	12.52	02.75a 75.56	132.9/	0.50	22.70a	44.90	0.54	31.32a	20.30	13.19	18.06a	20.52	1.95	8.5/a	9.18	0.00	27.03a	04.05
4	4 1	12.50	15.50a	128.42	0.99	22.218	51.45	9./4 0.16	24.08a	38.43 51.26	3.0U	20.55a	3/.40	3.54	7.40ab	9.20	2.10	20.50-	48.19
) 2	4 1	13.32	54.58a	02.05	0.00	20.09a	43.31	0.10	29./1a	31.20 21.52	15./5	10.14a	10.02	2.90	7.10ab	11.23	4.90	29.59a	34.23
07	4 1	J.02	49.24a 17.05-	72.80 05.05	10.51	19.008	29.02	9.22 0.62	20.38a	51.55 10 25	10.50	10.10a	20.02	3.49	1.20ab	0.9U 0 47	5./1 2.46	20.79a	47.8/
/ 0	4 1	0.00	47.85a	93.03 210.07	10.90	29.20a	37.43 56 27	7.05 7.01	28.94a	48.23	4.30	27.53a	30.30	2.4/	J.4/ab	0.4/ 7 20	2.40	27.84a	33.22
ð Maar	4	0.00	90.00a	219.9/ 116 50	20.80	38.34a	30.27	1.21	30./4a	00.27 47.22	12.31	14.45a	10.40	3.39	0.33aD	1.28	0.00	21.14a	54.00
wiean		10.00	01.03	110.30	7.14	24.JJ	40.39	0.03	∠0.00	47.33	0.00	17.23	27.02	4.70	0.05	0.00	2.01	20.04	54.00

Médias (μ) na horizontal seguidas pela mesma letra para as diferentes paisagens não se diferem entre si ao nível de significância de ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Conover-Iman (comparação entre k amostras). α , 1- α – indicam o intervalo de confiança. Tempos: 1 (17/03/2020), 2 (04/06/2020), 3 (27/08/2020), 4 (10/12/2020), 5 (06/06/2021), 6 (14/10/2021), 7 (11/03/2022) e 8 (17/11/2022).

407 Percebe-se que os estoques de C e nutrientes apresentaram variações em função 408 das paisagens avaliadas, como mostra a Figura 2. Desta forma, o estoque de C foi maior 409 para a paisagem de palma forrageira (OEM-A) que apresentou variações 43,21 a 84,33 Mg ha⁻¹, com valor médio de 58,9 Mg ha⁻¹ (p<0,05) (Figura 2A). Em contrapartida, CAA, 410 411 DEFA e OEM-S obtiveram os menores estoques, com média de 28,58 Mg ha⁻¹ para CAA, 23,74 Mg ha⁻¹ para DEFA e 23,25 Mg ha⁻¹ para OEM-S, com valores mínimos e máximos 412 de 17,57 a 48,93 Mg ha⁻¹, 16,54 a 32,85 Mg ha⁻¹ e 18,06 a 37,13 Mg ha⁻¹, respectivamente 413 414 (p<0.05). Por sua vez, REGE e IPA-A apresentaram variações de 28,42 a 45,97 Mg ha⁻¹ e 43,21 a 84,33 Mg ha⁻¹, respectivamente, com valores médios de 36,27 Mg ha⁻¹ para 415 416 REGE e 46,24 Mg ha⁻¹ para IPA-A (Figura 2A) (p<0,05). Similarmente, o estoque de P 417 foi significativamente maior em OEM-A quando comparado as demais paisagens, com variações de 0,17 a 1,24 Mg ha⁻¹ e valor médio de 0,4 Mg ha⁻¹ (Figura 1B) (p<0,05), 418 419 enquanto OEM-S, DEFA, CAA, IPA-A e REGE tiveram os menores estoques de P (p<0.05). As variações foram de 0.03 a 0.15 Mg ha⁻¹ para OEM-S, 0.03 a 0.27 Mg ha⁻¹ 420 421 para DEFA, 0,01 a 0,06 Mg ha⁻¹ para CAA, 0,04 a 0,10 Mg ha⁻¹ para IPA-A e 0,04 a 0,20 422 Mg ha⁻¹ para REGE. Diferentemente, os estoques de K⁺ foram significativamente maiores 423 na REGE, que obteve valor médio acumulado de 0,90 Mg ha⁻¹, no entanto, não houve 424 diferença estatística entre REGE, DEFA e OEM-A (p>0,05). Além disso, CAA, OEM-S 425 e IPA-A registraram os menores estoques de K⁺, com médias de 0,4 Mg ha⁻¹ para CAA e 426 DEFA, e 0,6 Mg ha⁻¹ para IPA-A (p < 0.05) (Figura 2C), de modo que, os valores máximos e mínimos foram de 0.31 a 0.58, 0.44 a 0.89 e 0.42 a 0.88 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os 427 428 estoques de Ca²⁺ foram estatisticamente maiores para CAA, REGE e OEM-A não havendo diferença entre essas paisagens, com médias de 6,5, 6,4 e 5,3 Mg ha⁻¹, 429 430 respectivamente (Figura 2D). Enquanto os menores estoques de Ca²⁺ foram observados na IPA-A, com variações de 1,06 a 1,57 Mg ha⁻¹, com média de 1,33 Mg ha⁻¹, seguida 431 por DEFA que apresentou média de 4,1 Mg ha⁻¹, com variações de 3,58 a 4,69 Mg ha⁻¹ 432 (Figura 2D). Contudo, os estoques de Ca²⁺ na OEM-S não diferiu da DEFA e IPA-A. 433 434



Figura 2. Estoques de carbono (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e
sódio (F) para os diferentes tipos de paisagens: Caatinga preservada (CAA), Caatinga
desmatada (DEFA), área com palma forrageira clone IPA-Sertânia – Agreste (IPA-A),
Orelha de Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A), Orelha de Elefante Mexicana – Sertão
(OEM-S) e Caatinga em regeneração (REGE).

441

442 Os estoques de Mg²⁺ foram maiores para as paisagens de Caatinga (i.e., REGE e 443 CAA) que apresentaram média de 1,9 Mg ha⁻¹ cada, com variações de 1,02 a 2,75 Mg ha⁻¹ ¹ e 1,31 a 2,75 Mg ha⁻¹ (p < 0,05) (Figura 2E). De modo contrastante, o menor estoque de 444 Mg²⁺ foi observado na paisagem de palma (IPA-A) com redução de 47% em relação a 445 CAA e REGE, com 1,0 Mg ha⁻¹ (p<0,05), enquanto DEFA, OEM-A e OEM-S foram 446 estatisticamente iguais (p>0.05). De modo similar ao Mg²⁺, o estoque de Na⁺ foi maior 447 448 na CAA, OEM-S, OEM-A e REGE, as quais não diferiram entre si, com médias de 0,5, 449 0,6, 0,3 e 0,3 Mg ha⁻¹, respectivamente (p < 0,05) (Figura 2F). Por outro lado, DEFA e 450 IPA-A obtiveram o menor estoque de Na⁺, com variações de 0,01 a 0,13 e 0,06 a 0,16 Mg 451 ha⁻¹, respectivamente (p < 0.05).

453 A mudança no uso e cobertura da terra afetou a distribuição vertical dos estoques 454 de C e nutrientes ao longo do perfil do solo (Figura 3). Assim, o estoque de C apresentou 455 variações de 4,41 a 8,23 Mg ha⁻¹ na DEFA, 5,72 a 9,91 Mg ha⁻¹ na CAA, 8,35 a 13,67 ha⁻¹ ¹ na IPA-A, 13,70 a 15,96 Mg ha⁻¹ na OEM-A, 4,63 a 7,37 Mg ha⁻¹ na OEM-S e 5,51 a 456 457 11,66 Mg ha⁻¹ na REGE, de modo que as menores concentrações foram observadas nas 458 camadas mais profundas (30-40 cm) em todas as paisagens. Além disso, as paisagens com 459 palma forrageira, i.e., OEM-A e IPA-A, em todo o perfil do solo (0-40 cm) obtiveram os maiores estoques de C, com médias de 14,72 e 10,66 Mg ha⁻¹, respectivamente, seguida 460 por REGE (9,07 Mg ha⁻¹), CAA (7,15 Mg ha⁻¹), DEFA (5,94 Mg ha⁻¹) e OEM-S (5,81 461 Mg ha⁻¹) (Figura 3A). O estoque de P exibiu comportamento similar ao estoque de C 462 (Figura 3D). Na OEM-A, a média foi de 0,08 Mg ha⁻¹ e o estoque de P variou de 0,06 a 463 0,09 Mg ha⁻¹, enquanto nas demais paisagens foram observadas variações de 0,02 a 0,05 464 Mg ha⁻¹, com média de 0.03 Mg ha⁻¹ para REGE. Já na OEM-S observou-se uma média 465 de 0,02 Mg ha⁻¹, com variações de 0,02 a 0,03 Mg ha⁻¹. Da mesma forma, DEFA obteve 466 467 valor médio de 0,02 Mg ha⁻¹ variando de 0,01 a 0,04 Mg ha⁻¹, enquanto CAA e IPA-A tiveram os menores estoques de P, com média de 0,01 e 0,02 Mg ha⁻¹, respectivamente. 468 Em contrapartida, o estoque de K⁺ foi maior para REGE, em todas as profundidades 469 470 quando comparada as demais, assumindo valores médios de 0,23 Mg ha⁻¹ (Figura 3C). Além disso, OEM-A mostrou um acréscimo de 52% no estoque de K⁺ na profundidade 471 472 de 20-30 cm em relação a camada de 0-10, com média de 0,19 Mg ha⁻¹ e variações de 0.16 a 0.26 Mg ha⁻¹, enquanto na IPA-A as variações foram de 0.12 a 0.18 Mg ha⁻¹ e 473 média de 0,15 Mg ha⁻¹. Na DEFA os estoques de K⁺ variaram de 0,07 a 0,28 Mg ha⁻¹, 474 475 com média de 0,16 Mg ha⁻¹, com reduções ao longo do perfil (Figura 3B). As paisagens 476 de CAA e OEM-S resultaram em estoques médio de K⁺ de 0,11 e 0,15 Mg ha⁻¹, respectivamente, com variações de 0,09 a 0,13 Mg ha⁻¹ para CAA e 0,12 a 0,18 Mg ha⁻¹ 477 478 para OEM-S. Por sua vez, as paisagens de Caatinga (i.e., CAA e REGE) registraram os maiores estoques de Ca²⁺ com média de 1,64 e 1,59 Mg ha⁻¹, respectivamente, os quais 479 variaram de 1,43 a 1,82 Mg ha⁻¹ na CAA e 1,48 a 1,83 Mg ha⁻¹ na REGE (Figura 2E). Por 480 outro lado, IPA-A apresentou variações de 0,28 a 0,37 Mg ha⁻¹, sendo a paisagem com 481 menor estoque de Ca^{2+} (0.33 Mg ha⁻¹), enquanto na DEFA e OEM-S a média do estoque 482 foi semelhante, com 0,90 e 1,02 Mg ha⁻¹, respectivamente. No entanto, com exceção de 483 IPA-A, em todas as paisagens o estoque de Ca²⁺ apresentou aumentos ao longo do perfil 484 do solo, com acréscimos de 11%, 62%, 4% e 55% da camada de 10 cm para a de 40 cm 485

na CAA, OEM-S, OEM-A, DEFA, respectivamente, enquanto na REGE o acréscimo foi
de 23% da camada de 10 cm para a de 30 cm. Da mesma forma, o estoque de Mg²⁺
apresentou aumentos ao longo do perfil do solo, especialmente na CAA e REGE que
obtiveram maior média (0,47 Mg ha⁻¹). Esses aumentos foram de 73% para a CAA, 21%
para REGE, 86% para OEM-S, 78% para OEM-A e 48% para DEFA da camada de 10
cm para a de 40 cm. No entanto, na IPA-A os valores de Mg²⁺ permaneceram semelhantes
entre as camadas.



493

494 Figura 3. Distribuição vertical dos estoques de carbono (A), fósforo (B), potássio (C),
495 cálcio (D), magnésio (E) e sódio (F) para os diferentes tipos de paisagem: Caatinga
496 preservada (CAA), Caatinga desmatada (DEFA), área com palma forrageira clone IPA497 Sertânia – Agreste (IPA-A), Orelha de Elefante Mexicana – Agreste (OEM-A), Orelha
498 de Elefante Mexicana – Sertão (OEM-S) e Caatinga em regeneração (REGE).

500 O estoque de Na⁺, por sua vez, seguiu o mesmo comportamento dos demais 501 nutrientes, aumentando ao longo do perfil do solo (Figura 3F). Assim, maiores 502 quantidades de Na⁺ foram observados, principalmente, para as paisagens do Sertão, a 503 exemplo de OEM-S, CAA e REGE que obtiveram estoque médio de 0,14, 0,12 e 0,09 Mg 504 ha⁻¹, respectivamente, enquanto DEFA foi responsável pelo menor estoque (0,02 Mg ha⁻¹ 505 ¹). Já as paisagens do Agreste (i.e., OEM-A e IPA-A) apresentaram estoques de 0,08 e 506 0,03 Mg ha⁻¹. Na CAA houve um acréscimo de 171% na quantidade de Na⁺, 366% na 507 REGE, 78% na OEM-S, 57% na OEM-A, 50% na IPA-A e 200% na DEFA.

508

509 **4. DISCUSSÃO**

510 4.1. Estoques de C e P são maiores em paisagens de palma forrageira (Opuntia stricta
511 Haw.)

512 No presente estudo, os estoques de C, P, K^+ e Mg^{2+} , Ca^{2+} e Na^+ foram 513 significativamente afetados pelo tipo de uso da terra, os quais apresentaram variações ao 514 longo das paisagens, profundidades e épocas do ano. Os estoques de C e P foram os mais 515 elevados na OEM-A. A variação dos estoques ao longo das paisagens e das 516 profundidades, podem ser associadas a disponibilidade de matéria orgânica adicionada.

517 A quantidade de C e nutrientes disponíveis no solo podem variar de acordo com o tipo 518 de cobertura vegetal, solo, biomassa radicular e a intensidade das intervenções antrópicas 519 (Zhou et al., 2023). A entrada de C no solo nos ecossistemas é controlado, principalmente, 520 a partir da deposição e decomposição da serapilheira, além da biomassa radicular, 521 exsudados radiculares e posterior saída por meio da respiração heterotrófica (Benbi et al., 522 2012). Assim, neste estudo, os estoques de C no solo foram significativamente maiores 523 nos ecossistemas de palma situados no Agreste pernambucano (i.e., OEM-A e IPA-A), 524 quando comparados a áreas com vegetação nativa (i.e., CAA) e não apresentaram 525 diferença no armazenamento de C em relação à REGE, embora estejam situados em 526 regiões diferentes (Figura 2). Além disso, percebe-se que para as paisagens situadas no 527 Sertão (i.e., CAA, REGE, DEFA e OEM-S) a capacidade de estocar C é semelhante.

Tais resultados podem ser atribuídos ao manejo de solo adotado, a exemplo da adubação orgânica com esterco para OEM-A, resultando em maior quantidade de carbono estocado no solo, além das características do solo e do clima, uma vez que em condições de déficit hídrico a produção de biomassa e sua incorporação no solo torna-se limitada (Santana et al., 2022). Associado a isto, a vegetação perene possui maior quantidade de resíduos no solo, a exemplo da perda de cladódios, restos de tratos culturais, o que implica no maior reservatório de C no solo (C. Li et al., 2016). Na verdade, os estoques de C variam em detrimento dos diferentes tipos de uso da terra, de tal forma que as mudanças que ocorrem tendem a ser complexas em função dos diferentes tipos de decomposição que ocorrem no solo (Bakhshandeh et al., 2019).

538 O estoque de C na OEM-A quando comparado as áreas de vegetação nativa (i.e., CAA 539 e REGE), mostrou aumentos de 150% e 114%, respectivamente. Ecossistemas de 540 florestas secas, a exemplo da Caatinga, apresentam alta variabilidade nos estoques de C 541 no solo em função das condições ambientais como tipo de solo, densidade da vegetação 542 e fatores climáticos, especialmente, a precipitação (Menezes et al., 2021). Em nosso estudo, os estoques de C na CAA foram de 25,08 Mg ha⁻¹, enquanto a OEM-A obteve um 543 544 estoque médio de 58,86 Mg ha⁻¹. Coêlho et al. (2023) evidenciaram que a palma forrageira 545 Orelha de Elefante Mexicana nas camadas de 0-20 cm é capaz de armazenar cerca de 100 546 Mg C ha⁻¹, evidenciando a capacidade desta cultura em mitigar as mudanças climáticas, 547 a partir do armazenamento de C em ambientes semiáridos. O solo presente na vegetação 548 de Caatinga, que inclui as paisagens de CAA, REGE, DEFA e OEM-S é classificado 549 como arenoso, sendo caracterizado pelos baixos teores de C (Schulz et al., 2016).

550 Embora situadas em regiões diferentes, percebe-se que o estoque de P foi semelhante 551 entre as paisagens de OEM-A, OEM-S e REGE. O conteúdo de P presente no solo é um 552 indicativo do impacto das atividades antrópicas no ambiente, de modo que, a 553 intensificação de atividades como a agricultura, pastoreio e aplicação de fertilizantes 554 naturais, a exemplo do estrume potencializam o acúmulo deste nutriente no solo, contudo, 555 o P é um elemento com baixa mobilidade no solo (Kabala et al., 2018; Wang et al., 2022). 556 Em contrapartida, os acúmulos de P na OEM-A mostraram aumento de 85% quando 557 comparado a CAA. No entanto, deve-se considerar a paisagem de OEM-A foi submetida 558 a adição de adubação orgânica, e associado a isso, os estoques de P podem variam de 559 acordo com o tipo de cobertura vegetal uma vez que haverá diferença nas características 560 da serapilheira, clima, solo e manejos diferentes (Cherubin et al., 2016; Wright, 2009)

A conversão de florestas naturais para diferentes tipos de uso da terra pode proporcionar reduções nos estoques de K⁺ no solo. Desta forma, a paisagem com maior estoque de K⁺ foi a REGE (Figura 2C) (Bakhshandeh et al., 2019). Os estoques de K⁺ no sistema solo-planta estão associadas ao intemperismo, decomposição dos restos vegetais e adição de fertilizantes (Santana et al., 2022). O aumento das concentrações de K⁺ no solo e, consequentemente, dos estoques pode ser atribuído a menor quantidade de argila.

567 Outro fator importante, é que após o desmatamento parcial da vegetação ocorreu a queima da vegetação na REGE, o que pode ter favorecido ao aumento das bases trocáveis (Mg²⁺, 568 Ca²⁺, K⁺ e Na⁺) devido a incorporação das cinzas, que são ricas em nutrientes 569 570 (Bakhshandeh et al., 2019; Mishra & Francaviglia, 2021). Sazonalmente, observa-se que 571 as concentrações e estoques de K⁺ foram maiores durante a estação chuvosa e a transição 572 seco-chuvosa. Durante as estações em que a disponibilidade de água no solo é maior, a 573 matéria orgânica proveniente da serapilheira passa pelo processo de mineralização 574 disponibilizando os nutrientes no solo, a exemplo do K⁺ (Kaur et al., 2021). Além disso, 575 o estoque de K⁺ reduziu com o aumento da profundidade do solo. Neste sentido, os 576 maiores estoques de Mg²⁺, Ca²⁺ e Na⁺ foram observados na REGE, de modo que, as áreas 577 de CAA, OEM-A e OEM-S armazenaram estes nutrientes de forma semelhante à REGE. 578 Mishra e Francavigilia (2021) avaliando diferentes tipos de uso da terra, constataram 579 maiores teores de K⁺ em áreas de cultivos itinerantes em função das cinzas deixadas após 580 a queima da vegetação nativa.

As concentrações de Mg²⁺ aumentaram ao longo do perfil do solo. Assim, tanto as 581 concentrações como os estoques de Mg²⁺ foram maiores para as paisagem de vegetação 582 583 nativa (i.e., CAA e REGE) quando compara as paisagens cultivadas (i.e., OEM-S e IPA-584 A). Este fenômeno pode ser atribuído as características da vegetação, visto que, a copa 585 das árvores promovem condições favoráveis para o intemperismo mineral, a partir das 586 condições ideias de temperatura e umidade, culminando em uma maior liberação de Mg²⁺. 587 Neste sentindo, Samani et al. (2020) relataram que as copas das árvores são responsáveis pela adição de 27 kg Mg²⁺ ha⁻¹ ano⁻¹. Logo, a ausência de vegetação arbórea e serapilheira 588 589 em áreas cultivadas, reduz a quantidade de Mg^{2+} que retorna ao solo (Samani et al., 2020). 590 Santana et al. (2022) e Samani et al. (2020) observaram reduções nas concentrações de 591 Mg²⁺ em campos agrícolas, devido à baixa deposição de resíduos orgânicos e remoção da 592 biomassa aérea.

- 593
- 594

4.2. Estoques de C e nutrientes diminuem ao longo do perfil do solo

595 Neste estudo, o conteúdo de nutrientes e C diminuiu com o aumento da profundidade. 596 Resultados semelhantes foram encontrado em outros estudos (Danise et al., 2022; Santana 597 et al., 2022; Zhao et al., 2022). As concentrações e os estoques de C, P e K⁺ diminuíram 598 com o aumento da profundidade do solo. Assim, além da mudança no uso da terra, a 599 profundidade do solo são fatores que influenciam na distribuição de nutrientes ao longo 600 do perfil do solo (C. Li et al., 2016). As maiores concentrações e estoques de C na 601 superfície do solo (0-10 cm) estão associados a entrada de matéria orgânica e nutrientes 602 via deposição da serapilheira, além dos sistemas radiculares abundantes, extensos e a 603 produção de exsudados pela vegetação. Isso pode contribuir para maiores concentrações 604 de C nas camadas mais superficiais do solo (Freitas et al., 2022; Kaur et al., 2021). Li et 605 al. (2016) observaram maiores concentrações de C, N e P na camada superficial do solo 606 (0-10 cm), com reduções nas profundidades de 10-40 cm, corroborando com os resultados 607 encontrados no presente estudo. Resultados semelhantes também foram reportados por 608 Freitas et al. (2022) em vegetação nativa de Caatinga.

609 Assim, as concentrações e o estoques de P foram relativamente homogêneos em todas 610 as camadas, com exceção da IPA-A que apresentou reduções de 60% da camada de 10 611 cm para a de 40 cm. Embora a mobilidade do P seja limitada com maiores acúmulos na 612 camada superficial, com exceção da IPA-A, que os estoques tiveram uma distribuição 613 homogênea entre as camadas do solo (Alves et al., 2019; Gava et al., 2022). Contudo, o 614 acúmulo de P nas camadas superiores pode ser atribuído ao uso de adubação ou pela 615 ciclagem dos resíduos orgânicos depositados no solo (Assis et al., 2010). Os mesmos 616 autores também relataram reduções no conteúdo de P com o aumento da profundidade.

617 A redução das concentrações dos macronutrientes P e K⁺ pode estar associado à 618 variabilidade das atividades microbianas e fúngicas, uma vez que estas reduzem com o 619 aumento da profundidade do solo. Outro fator a se considerar é que nas camadas mais 620 profundas do solo, os nutrientes provenientes da decomposição da serapilheira são 621 limitados, logo, as maiores concentrações e estoques destes nutrientes se restringem as 622 camadas mais superficiais do solo (Baul et al., 2023; Zhao et al., 2022). Além disso, 623 maiores concentrações de K^+ e P nas camadas mais superficiais do solo pode ser atribuída 624 ao papel de ciclagem de nutrientes que a vegetação exerce sobre estes elementos, visto 625 que, a partir da queda de resíduos orgânico estes nutrientes são rapidamente absorvidos 626 conforme aumento da necessidade da vegetação (Teramage et al., 2023).

Em contrapartida, as bases trocáveis (i.e., Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺) aumentaram ao longo do 627 perfil do solo, e consequentemente, a soma de bases (SB), Ca²⁺/K⁺, Ca²⁺/Mg²⁺, Mg²⁺/K⁺ 628 e $(Ca^{2+}Mg^{2+})/K^+$, independente da paisagem. O aumento das bases trocáveis são 629 630 indicativos de que os nutrientes que foram liberados permaneceram nas camadas de 40 631 cm, principalmente, na REGE, já que esta paisagem passou pelo processo de queima de 632 biomassa após o desmatamento parcial da área (Bahr et al., 2014). Além disso, as maiores concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ podem ser devido a maior quantidade de serapilheira 633 634 em decomposição lenta nas camadas mais superficiais do solo, a qual libera cátions que a partir do processo de lixiviação se acumulam nas camadas mais profundas (Arunrat et al., 2022). Os mesmos autores observaram a maiores concentrações de K⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ no subsolo em florestas naturais. Por outro lado, Santana et al. (2022) constataram maiores concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas camadas superficiais de 0-20 cm em sistemas agrícolas, comportamento contrário ao observado neste estudo.

- 640
- 641

4.3. Padrões sazonais na dinâmica de C e nutrientes no solo

642 Os estoques de C e nutrientes apresentaram variações sazonais, com maiores 643 concentrações na estação chuvosa e na transição chuvosa-seca. Assim, a sazonalidade da 644 deposição de serapilheira e consequentemente, dos nutrientes que serão liberados no solo 645 são dependentes dos eventos de chuva (Tomar & Baishya, 2020). Além disso, os maiores 646 estoques de C foram observados para CAA, REGE, OEM-S, OEM-A e DEFA (p<0,05). 647 O aumento observado pode ser associado, principalmente, a camada de serapilheira que 648 é depositada no solo durante a estação seca, a qual é fonte essencial para a transferência 649 de nutrientes da vegetação para o solo através da decomposição deste material (Sales et 650 al., 2020). Assim, o aumento da umidade no solo, em função dos eventos de chuva, 651 contribui para o aumento da atividade microbiana sobre a decomposição da serapilheira 652 presente no solo, além de ser o principal fator para a mineralização dos compostos 653 orgânicos presente no solo (Tomar & Baishya, 2020b). Por isso, maiores quantidades de 654 carbono são degradados pela ação dos microrganismos que estão presentes no solo, 655 resultando em maiores concentrações de C no solo (Baradwal et al., 2023; Khan & Chiti, 656 2022).

Em contrapartida, os menores estoques são observados durante a transição secochuvosa. Em regiões semiáridas, devido a ocorrência de déficit hídrico em maior parte do ano, ocorre a perda de folhas pela vegetação durante a estação seca (Gava et al., 2021). Assim, o material decíduo se acumula acima do solo e será decomposto em função do aumento da disponibilidade de água a partir dos eventos de chuva. Por isso, durante a estação de transição seco-chuvosa há menor retorno de nutrientes para o solo (Gava et al., 2022).

Os estoques de P e K⁺ apresentaram comportamento semelhante aos estoques de C, com aumentos durante a estação chuvosa e as transições seca-chuvosa e chuvosa-seca. Os maiores conteúdos de P e K⁺ podem ser associados ao fornecimento de matéria orgânica devido à deposição da serapilheira, que por sua vez, passa pelo processo de mineralização dos nutrientes (Kaur et al., 2021). Além disso, a dinâmica sazonal dos 669 nutrientes no solo fornecidos via serapilheira são dependentes da fisiologia da vegetação 670 presente, visto que o P tem uma taxa de reabsorção maior pelas plantas em relação a 671 outros nutrientes, com menores concentrações durante o período chuvoso em OEM-A e 672 DEFA (Quichimbo et al., 2020). Diferentemente, os estoque de K⁺ na OEM-S foi menor 673 durante a estação chuvosa. Esta diminuição indica que o K⁺ do solo provavelmente foi 674 extraído pela planta, visto que o K^+ é um dos nutrientes mais extraídos pela palma 675 forrageira (Jardim et al., 2023). Além disso, durante o período chuvoso os nutrientes, 676 assim como o K⁺, tornam-se mais disponíveis para as plantas (Camelo et al., 2021; Matos 677 et al., 2021).

Além disso, os menores estoques de Mg²⁺ e Na⁺ foram observados durante a estação 678 679 chuvosa na REGE. A diminuição da disponibilidade destes nutrientes no solo durante a 680 estação chuvosa pode ser associado a absorção destes pela vegetação ou ainda, que eles 681 estão sendo lixiviados. Assim, percebe-se que a sazonalidade dos eventos de chuva é um 682 fator importante, que influencia na dinâmica de nutrientes no solo, tornando-os mais 683 disponíveis no solo como foi observado por Kaur et al. (2021) que constataram aumentos 684 nos macro e micronutrientes avaliados, ou lixiviando-os. Portanto, ambientes 685 caracterizados com clima quente, a exemplo do semiárido brasileiro, durante a estação 686 chuvosa, apresentam maior taxa de decomposição da matéria orgânica presente no solo a 687 partir do aumento da atividade microbiana que registra maior pico durante o período de 688 maior disponibilidade de água no solo e consequentemente, ocorre a maior liberação de 689 nutrientes no solo (Lepcha & Devi, 2020).

690

5. CONCLUSÕES

692 O presente estudo buscou investigar os estoques de C e nutrientes no solo e a dinâmica 693 destes nutrientes ao longo da profundidade e em função da sazonalidade dos eventos de 694 chuva, a fim de compreender quais as implicações da mudança no uso da terra sobre estes 695 nutrientes. Assim, observamos que os estoques diminuem com o aumento da 696 profundidade do solo, com menores valores nas profundidades de 40 cm, com exceção das bases trocáveis (Ca²⁺, Na⁺ e Mg²⁺) que aumentaram ao longo do perfil do solo. Além 697 698 disso, a sazonalidade foi um fator importante, contribuindo para maiores acúmulos de C 699 e nutrientes durante os períodos com maior disponibilidade de água no ambiente. Outro 700 fator importante na dinâmica de nutrientes no solo, foi a utilização de adubação orgânica 701 com esterco em uma área com clones de palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' 702 no Agreste pernambucano, a qual foi capaz de armazenar 58,9 Mg C ha⁻¹ e 0,4 Mg P ha⁻¹

703 ¹, enquanto ambientes com vegetação nativa de Caatinga preservada armazenaram 25,1 704 Mg C ha⁻¹. Assim, torna-se evidente a capacidade de plantas de palma forrageira em 705 acumular carbono no solo e mitigar as mudanças climáticas em ecossistemas semiáridos. 706 Além disso, a remoção da vegetação nativa e posterior queima promoveu maior estoque 707 de K⁺ na área de Caatinga em regeneração, a qual foi capaz de armazenar 0,9 Mg K⁺ ha⁻ 708 ¹. Os estoques de K⁺ na Caatinga em regeneração foram 56% maior em relação a Caatinga 709 preservada, totalizando 0,5 Mg ha⁻¹ a mais de K⁺. A conversão da Caatinga em áreas 710 desmatadas, e com clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Sertão e IPA-Sertânia no Agreste reduziram os estoques de Ca²⁺, enquanto as paisagens de 711 Caatinga preservada, Caatinga em regeneração e o clone de Orelha de Elefante Mexicana 712 no Agreste armazenam Ca^{2+} de forma semelhante. Os estoques de Mg^{2+} foram maiores 713 nas paisagens de Caatinga (i.e., CAA e REGE), enquanto nas demais paisagens a 714 715 capacidade de armazenar foi reduzida. Além disso, áreas de Caatinga preservada, em 716 regeneração e com clones de Orelha de Elefante Mexicana no Agreste e no Sertão 717 estocam Na⁺ de forma semelhante, com reduções na capacidade de armazenamento para 718 áreas desmatadas e com clone de IPA Sertânia no Agreste. Portanto, este estudo 719 evidenciou as alterações que a mudança no uso da terra promove na dinâmica de C e 720 nutrientes no solo, de modo que, clones de palma forrageira podem ser utilizados para 721 combater a desertificação em ambientes degradados, perda de biodiversidade e avanço 722 das mudanças climáticas, além de poder ser utilizada de forma estratégica para 723 erradicação da pobreza.

724

725 **6. REFERÊNCIAS**

- 726 Althoff, T. D., Menezes, R. S. C., Pinto, A. de S., Pareyn, F. G. C., Carvalho, A. L. de,
- 727 Martins, J. C. R., de Carvalho, E. X., Silva, A. S. A. da, Dutra, E. D., & Sampaio,
- E. V. de S. B. (2018). Adaptation of the century model to simulate C and N
- dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agriculture*,
- 730 *Ecosystems & Environment*, 254, 26–34.
- 731 https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2017.11.016
- Alves, L. A., Denardin, L. G. de O., Martins, A. P., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. de F.,
 & Tiecher, T. (2019). Soil acidification and P, K, Ca and Mg budget as affected by
 sheep grazing and crop rotation in a long-term integrated crop-livestock system in
 southern Brazil. *Geoderma*, 351, 197–208.
- 736 https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2019.04.036

90

- Arunrat, N., Sereenonchai, S., Kongsurakan, P., & Hatano, R. (2022). Soil organic
 carbon and soil erodibility response to various land-use changes in northern
- 739 Thailand. CATENA, 219, 106595. https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2022.106595
- 740 Assis, C. P. de, de Oliveira, T. S., da Nóbrega Dantas, J. d. A., & de Sá Mendonça, E.
- 741 (2010). Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a
- semi-arid region of Northeastern Brazil. Agriculture, Ecosystems & Environment,
- 743 *138*(1–2), 74–82. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2010.04.002
- Bahr, E., Chamba Zaragocin, D., & Makeschin, F. (2014). Soil nutrient stock dynamics
 and land-use management of annuals, perennials and pastures after slash-and-burn
 in the Southern Ecuadorian Andes. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 188*,
 275–288. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2014.03.005
- Bakhshandeh, E., Hossieni, M., Zeraatpisheh, M., & Francaviglia, R. (2019). Land use
 change effects on soil quality and biological fertility: A case study in northern Iran. *European Journal of Soil Biology*, 95, 103119.
- 751 https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2019.103119
- Baradwal, H., Ghosh, A., Singh, A. K., Jiménez-Ballesta, R., Yadav, R. K., Misra, S.,
 Siddanagouda Sannagoudar, M., Kumar, S., Kumar, R. V., Singh, S. K., Yadav, D.
- 754 K., & Mahala, D. M. (2023). Soil Nutrient Dynamics under Silviculture,
- 755 Silvipasture and Hortipasture as Alternate Land-Use Systems in Semi-Arid
- 756 Environment. Forests 2023, Vol. 14, Page 125, 14(1), 125.
- 757 https://doi.org/10.3390/F14010125
- 758 Baul, T. K., Chowdhury, A. I., Uddin, M. J., Hasan, M. K., Kilpeläinen, A., Nandi, R.,
- 759 Karmakar, S., & Akhter, J. (2023). Effects of fragmentation and shifting
- 760 cultivation on soil carbon and nutrients: A case study in Sitapahar forest,
- 761 Bangladesh. *Rhizosphere*, 27, 100756.
- 762 https://doi.org/10.1016/J.RHISPH.2023.100756
- Benbi, D. K., Brar, K., Toor, A. S., Singh, P., & Singh, H. (2012). Soil carbon pools
 under poplar-based agroforestry, rice-wheat, and maize-wheat cropping systems in
- semi-arid India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 92(1), 107–118.
- 766 https://doi.org/10.1007/S10705-011-9475-8/FIGURES/5
- 767 Camelo, D., Dubeux, J. C. B., Dos Santos, M. V. F., Lira, M. A., Fracetto, G. G. M.,
- Fracetto, F. J. C., da Cunha, M. V., & de Freitas, E. V. (2021). Soil Microbial
- 769 Activity and Biomass in Semiarid Agroforestry Systems Integrating Forage Cactus
- and Tree Legumes. *Agronomy 2021, Vol. 11, Page 1558, 11*(8), 1558.

771 https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11081558 772 Cherubin, M. R., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Karlen, D. L., Pavinato, P. S., 773 Rodrigues, M., Davies, C. A., & Cerri, C. C. (2016). Phosphorus pools responses 774 to land-use change for sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. 775 Geoderma, 265, 27-38. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2015.11.017 776 Coêlho, D. de L., Dubeux, J. C. B., Santos, M. V. F. dos, Mello, A. C. L. de, Cunha, M. 777 V. da, Santos, D. C. dos, Freitas, E. V. de, & Santos, E. R. da S. (2023). Soil and Root System Attributes of Forage Cactus under Different Management Practices in 778 779 the Brazilian Semiarid. Agronomy 2023, Vol. 13, Page 743, 13(3), 743. 780 https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13030743 781 Danise, T., Innangi, M., Curcio, E., & Fioretto, A. (2022). Covariation between plant 782 biodiversity and soil systems in a European beech forest and a black pine 783 plantation: the case of Mount Faito, (Campania, Southern Italy). Journal of 784 Forestry Research, 33(1), 239-252. https://doi.org/10.1007/S11676-021-01339-785 3/TABLES/2 786 Fernandes, M. M., Fernandes, M. R. de M., Garcia, J. R., Matricardi, E. A. T., de 787 Almeida, A. Q., Pinto, A. S., Menezes, R. S. C., Silva, A. de J., & Lima, A. H. de 788 S. (2020). Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon 789 stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. Land Use Policy, 99, 790 104795. https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2020.104795 791 Ferreira, A. C. C., Leite, L. F. C., de Araújo, A. S. F., & Eisenhauer, N. (2016). Land-792 Use Type Effects on Soil Organic Carbon and Microbial Properties in a Semi-arid 793 Region of Northeast Brazil. Land Degradation & Development, 27(2), 171–178. 794 https://doi.org/10.1002/LDR.2282 795 Freitas, I. C. de, Alves, M. A., Magalhães, J. R., Dias, R. F., Albuquerque, C. J. B., 796 Ferreira, E. A., Fernandes, L. A., Pegoraro, R. F., & Frazão, L. A. (2022). Soil 797 Carbon and Nitrogen Stocks under Agrosilvopastoral Systems with Different 798 Arrangements in a Transition Area between Cerrado and Caatinga Biomes in 799 Brazil. Agronomy 2022, Vol. 12, Page 2926, 12(12), 2926. 800 https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12122926 801 Gava, C. A. T., Giongo, V., Signor, D., Fernandes-Júnior, P. I., Correspondente, B., & 802 Agricultural, B. (2022). Land-use change alters the stocks of carbon, nitrogen, and 803 phosphorus in a Haplic Cambisol in the Brazilian semi-arid region. Soil Use and 804 Management, 38(1), 953–963. https://doi.org/10.1111/SUM.12716

805 Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., da Silva, M. V., Dos Santos, A., da 806 Silva, J. L. B., Pandorfi, H., de Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. de C., 807 Teodoro, P. E., de Lima, J. L. M. P., da Silva Junior, C. A., de Souza, L. S. B., 808 Silva, E. A., & da Silva, T. G. F. (2022). Using Remote Sensing to Quantify the 809 Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga 810 Biome of Northeast Brazilian. Remote Sensing, 14(8), 1911. 811 https://doi.org/10.3390/RS14081911/S1 812 Jardim, A. M. da R. F., Morais, J. E. F. de, Souza, L. S. B. de, Marin, F. R., Moura, M. 813 S. B. de, Morellato, L. P. C., Montenegro, A. A. de A., Ometto, J. P. H. B., de 814 Lima, J. L. M. P., Dubeux Júnior, J. C. B., & Silva, T. G. F. da. (2023). Sink or 815 carbon source? how the Opuntia cactus agroecosystem interacts in the use of 816 carbon, nutrients and radiation in the Brazilian semi-arid region. Journal of 817 Hydrology, 625, 130121. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2023.130121 818 Johnson, D. W., & Turner, J. (2019). Tamm Review: Nutrient cycling in forests: A 819 historical look and newer developments. Forest Ecology and Management, 444, 820 344-373. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2019.04.052 821 Kabala, C., Galka, B., Labaz, B., Anjos, L., & de Souza Cavassani, R. (2018). Towards 822 more simple and coherent chemical criteria in a classification of anthropogenic 823 soils: A comparison of phosphorus tests for diagnostic horizons and properties. 824 Geoderma, 320, 1-11. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.01.024 825 Kaur, T., Sehgal, S. K., Singh, S., Sharma, S., Dhaliwal, S. S., & Sharma, V. (2021). 826 Assessment of Seasonal Variability in Soil Nutrients and Its Impact on Soil Quality 827 under Different Land Use Systems of Lower Shiwalik Foothills of Himalaya, 828 India. Sustainability 2021, Vol. 13, Page 1398, 13(3), 1398. 829 https://doi.org/10.3390/SU13031398 830 Khan, M. Z., & Chiti, T. (2022). Soil carbon stocks and dynamics of different land uses 831 in Italy using the LUCAS soil database. Journal of Environmental Management, 832 306, 114452. https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.114452 833 Kong, X., Zhang, F., Wei, Q., Xu, Y., & Hui, J. (2006). Influence of land use change on 834 soil nutrients in an intensive agricultural region of North China. Soil and Tillage 835 Research, 88(1-2), 85-94. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2005.04.010 836 Lai, L., Huang, X., Yang, H., Chuai, X., Zhang, M., Zhong, T., Chen, Z., Chen, Y., 837 Wang, X., & Thompson, J. R. (2016). Carbon emissions from land-use change and 838 management in China between 1990 and 2010. Science Advances, 2(11).

- 839 https://doi.org/10.1126/SCIADV.1601063/SUPPL_FILE/1601063_SM.PDF
- 840 Lepcha, N. T., & Devi, N. B. (2020). Effect of land use, season, and soil depth on soil
- 841 microbial biomass carbon of Eastern Himalayas. *Ecological Processes*, 9(1), 1–14.
 842 https://doi.org/10.1186/S13717-020-00269-Y/FIGURES/4
- 843 Li, C., Zhao, L., Sun, P., Zhao, F., Kang, D., Yang, G., Han, X., Feng, Y., & Ren, G.
- 844 (2016). Deep Soil C, N, and P Stocks and Stoichiometry in Response to Land Use
- Patterns in the Loess Hilly Region of China. *PLOS ONE*, *11*(7), e0159075.
- 846 https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0159075
- Li, H., Zhu, H., Qiu, L., Wei, X., Liu, B., & Shao, M. (2020). Response of soil OC, N
 and P to land-use change and erosion in the black soil region of the Northeast
- 849 China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 302, 107081.
- 850 https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107081
- Matos, L. V., Donato, S. L. R., Kondo, M. K., Lani, J. L., & Aspiazú, I. (2021). Soil
 attributes and the quality and yield of 'Gigante' cactus pear in agroecosystems of
 the semiarid region of Bahia. *Journal of Arid Environments*, 185, 104325.
- 854 https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2020.104325
- Medeiros, E. V. de, Duda, G. P., Rodrigues dos Santos, L. A., de Sousa Lima, J. R.,
 Almeida-Cortêz, J. S. d., Hammecker, C., Lardy, L., & Cournac, L. (2017). Soil
- 857 organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural
- regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. *CATENA*, *151*, 137–146.

859 https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2016.12.012

- Menezes, R. S. C., Sales, A. T., Primo, D. C., Albuquerque, E. R. G. M. de, Jesus, K. N.
 de, Pareyn, F. G. C., Santana, M. da S., Santos, U. J. dos, Martins, J. C. R., Althoff,
- 862 T. D., Nascimento, D. M. do, Gouveia, R. F., Fernandes, M. M., Loureiro, D. C.,
- 863 Araújo Filho, J. C. de, Giongo, V., Duda, G. P., Alves, B. J. R., Ivo, W. M. P. de
- 864 M., ... Sampaio, E. V. de S. B. (2021). Soil and vegetation carbon stocks after
- land-use changes in a seasonally dry tropical forest. *Geoderma*, 390, 114943.
- 866 https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2021.114943
- Mishra, G., & Francaviglia, R. (2021). Land Uses, Altitude and Texture Effects on Soil
 Parameters. A Comparative Study in Two Districts of Nagaland, Northeast India.
- 869 Agriculture 2021, Vol. 11, Page 171, 11(2), 171.
- 870 https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11020171
- 871 Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., Zolnier, S., Jardim, A. M. da R. F., de Souza, C. A.
- A., Araújo Júnior, G. do N., de Morais, J. E. F., & de Souza, L. S. B. (2020).

- 873 Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land
- 874 use in the semi-arid region of Brazil. CATENA, 188, 104457.
- 875 https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2020.104457
- 876 Ouichimbo, P., Jiménez, L., Veintimilla, D., Potthast, K., Tischer, A., Günter, S.,
- 877 Mosandl, R., & Hamer, U. (2020). Nutrient dynamics in an Andean forest region: a
- 878 case study of exotic and native species plantations in southern Ecuador. New
- 879 Forests, 51(2), 313–334. https://doi.org/10.1007/S11056-019-09734-9/TABLES/2
- Sales, G. de B., Lessa, T. A. M., Freitas, D. A., Veloso, M. das D. M., Silva, M. L. de 880
- 881 S., Fernandes, L. A., & Frazão, L. A. (2020). Litterfall dynamics and soil carbon 882 and nitrogen stocks in the Brazilian palm swamp ecosystems. Forest Ecosystems,

883 7(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/S40663-020-00251-2/FIGURES/5

- 884 Samani, K. M., Pordel, N., Hosseini, V., & Shakeri, Z. (2020). Effect of land-use 885 changes on chemical and physical properties of soil in western Iran (Zagros oak 886 forests). Journal of Forestry Research, 31(2), 637-647.
- 887
- https://doi.org/10.1007/S11676-018-0799-Y/FIGURES/3
- 888 Santana, M. da S., Andrade, E. M. de, Sampaio, E. V. de S. B., Ferreira, T. O., 889 Salviano, A. M., Silva, D. J. da, Cunha, T. J. F., & Giongo, V. (2022). Do
- 890 agrosystems change soil carbon and nutrient stocks in a semiarid environment? 891 Journal of Arid Environments, 201, 104747.
- 892 https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2022.104747
- 893 Santana, M. da S., Sampaio, E. V. de S. B., Giongo, V., Menezes, R. S. C., Jesus, K. N. 894 de, Albuquerque, E. R. G. M. de, Nascimento, D. M. do, Pareyn, F. G. C., Cunha,
- 895 T. J. F., Sampaio, R. M. B., & Primo, D. C. (2019). Carbon and nitrogen stocks of
- 896 soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. Geoderma Regional,
- 897 16, e00205. https://doi.org/10.1016/J.GEODRS.2019.E00205
- 898 Santos, U. J. dos, de Sá Barretto Sampaio, E. V., de Andrade, E. M., de Siqueira Pinto,
- 899 A., de Oliveira Dias, B., de Jesus, K. N., da Silva Santana, M., Althoff, T. D.,
- 900 Fernandes, M. M., & Menezes, R. S. C. (2021). Nitrogen Stocks in Soil Classes
- 901 Under Different Land Uses in the Brazilian Semiarid Region. Journal of Soil
- 902 Science and Plant Nutrition, 21(2), 1621–1630. https://doi.org/10.1007/S42729-
- 903 021-00466-4
- 904 Silva, T. G. F., de Queiroz, M. G., Zolnier, S., de Souza, L. S. B., de Souza, C. A. A., de 905 Moura, M. S. B., de Araújo, G. G. L., Steidle Neto, A. J., dos Santos, T. S., de
- 906 Melo, A. L., da Cruz Neto, J. F., da Silva, M. J., & Alves, H. K. M. N. (2021). Soil

- 907 properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian
- 908 semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a
- 909 deforested area. *Soil and Tillage Research*, 207, 104852.
- 910 https://doi.org/10.1016/J.STILL.2020.104852
- 911 Schulz, K., Voigt, K., Beusch, C., Almeida-Cortez, J. S., Kowarik, I., Walz, A., &
- 912 Cierjacks, A. (2016). Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest
- 913 ecosystems in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 367, 62–70.
- 914 https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2016.02.011
- 915 Teramage, M. T., Asfaw, M., Demissie, A., Feyissa, A., Ababu, T., Gonfa, Y., & Sime,
 916 G. (2023). Effects of land use types on the depth distribution of selected soil
- 917 properties in two contrasting agro-climatic zones. *Heliyon*, 9(6).
- 918 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17354
- Tomar, U., & Baishya, R. (2020). Moisture regime influence on soil carbon stock and
 carbon sequestration rates in semi-arid forests of the National Capital Region,
- 921 India. Journal of Forestry Research, 31(6), 2323–2332.
- 922 https://doi.org/10.1007/S11676-019-01032-6
- Wang, L., Zhang, G., Zhu, P., Xing, S., & Wang, C. (2022). Soil C, N and P contents
 and their stoichiometry as affected by typical plant communities on steep gully
 slopes of the Loess Plateau, China. *CATENA*, 208, 105740.
- 926 https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2021.105740
- Wang, Z., Li, X., Mao, Y., Li, L., Wang, X., & Lin, Q. (2022). Dynamic simulation of
 land use change and assessment of carbon storage based on climate change
 scenarios at the city level: A case study of Bortala, China. *Ecological Indicators*,
- 930 *134*, 108499. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.108499
- Wijitkosum, S. (2016). The impact of land use and spatial changes on desertification
 risk in degraded areas in Thailand. *Sustainable Environment Research*, 26(2), 84–
 92. https://doi.org/10.1016/J.SERJ.2015.11.004
- Wright, A. L. (2009). Soil phosphorus stocks and distribution in chemical fractions for
 long-term sugarcane, pasture, turfgrass, and forest systems in Florida. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83(3), 223–231. https://doi.org/10.1007/S10705-008-
- 937 9213-Z/FIGURES/6

941	648, 13(5), 648. https://doi.org/10.3390/F13050648
942	Zhou, W., Li, C., Zhao, W., Stringer, L. C., & Fu, B. (2023). Spatial distributions of soil
943	nutrients affected by land use, topography and their interactions, in the Loess
944	Plateau of China. International Soil and Water Conservation Research.
945	https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2023.02.005
946	Zhu, H., Wu, J., Guo, S., Huang, D., Zhu, Q., Ge, T., & Lei, T. (2014). Land use and
947	topographic position control soil organic C and N accumulation in eroded hilly
948	watershed of the Loess Plateau. CATENA, 120, 64-72.
949	https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2014.04.007
950	
951	
952	
953	
954	
955	
956	
957	
958	
959	
960	
961	
962	
963	
964	
965	
966	
967	
968	
969	
970	
971	
972	
973	
974	

975	
976	
977	

CAPÍTULO 3 – DEPOSIÇÃO, SAZONALIDADE E DETERMINANTES CLIMÁTICOS NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E SEUS COMPONENTES EM UMA FLORESTA TROPICAL SECA: UMA OBSERVAÇÃO DE CINCO ANOS

5 **RESUMO**

6 A produção de serapilheira é um processo ecossistêmico responsável pela entrada e saída 7 de matéria orgânica nos ecossistemas através da queda do material vegetal. No entanto, 8 na Caatinga cerca de 40% da cobertura vegetal já foi modificada com implicações para a 9 perda de serapilheira, que contribui para o aumento da fertilidade e respiração do solo, além de evitar sua degradação e erosão. Neste estudo avaliamos a deposição e 10 11 decomposição da serapilheira durante cinco anos, sua relação com as variáveis 12 meteorológicas, concentração, retorno e eficiência no uso de nutrientes. A produção 13 média anual de serapilheira foi de 864,69 kg MS ha⁻¹ para o período avaliado, com maior deposição durante a estação seca. A fração foliar foi o principal componente, 14 15 correspondendo a 61% da serapilheira total. A produção de folhas foi positivamente 16 correlacionada a velocidade do vento e negativamente a radiação solar global, radiação 17 líquida, temperatura do dossel e temperatura do solo. As fracões galhos e estruturas 18 reprodutivas foram negativamente correlacionadas a velocidade do vento, temperatura do 19 solo e positivamente a umidade volumétrica do solo. A taxa média de decomposição foi de 1,60 com variações 0,14 a 3,99 ao longo dos cinco anos avaliados. O retorno de 20 21 nutrientes foi equivalente a produção de serapilheira, principalmente para o Ca (39,4 kg ha⁻¹), N (20,7 kg ha⁻¹) e K (13,1 kg ha⁻¹). A eficiência no uso de nutrientes foi 22 23 relativamente alta para o P, Mg e K. Nossos resultados indicaram que a Caatinga 24 apresenta um padrão sazonal unimodal de deposição de serapilheira, com maior produção 25 em anos mais chuvosos e picos de produção na transição entre a estação chuvosa e seca. 26 A produção de serapilheira atua como fonte de nutrientes para o solo, protegendo o 27 mesmo dos impactos ocasionados pelas condições ambientais (i.e., radiação solar, chuva).

Palavras-chave: Caatinga; dinâmica de nutrientes; decomposição; espécies decíduas.

28

- 29
- 30
- 31

32

33 ABSTRACT

34 Litter production is an ecosystem process responsible for the entry and exit of organic 35 matter into ecosystems through the fall of plant material. However, in the Caatinga around 36 40% of the vegetation cover has already been modified with implications for the loss of 37 litter, which contributes to increasing soil fertility and respiration, in addition to 38 preventing its degradation and erosion. In this study we evaluated the deposition and 39 decomposition of litter over five years, its relationship with meteorological variables, 40 concentration, return and efficiency in the use of nutrients. The average annual litter production was 864.69 kg DM ha⁻¹ for the period evaluated, with greater deposition 41 during the dry season. The leaf fraction was the main component, corresponding to 61% 42 43 of the total litter. Leaf production was positively correlated with wind speed and 44 negatively correlated with global solar radiation, net radiation, canopy temperature and 45 soil temperature. The fractions of branches and reproductive structures were negatively 46 correlated with wind speed, soil temperature and positively with soil volumetric moisture. 47 The average decomposition rate was 1.60 with variations from 0.14 to 3.99 over the five 48 years evaluated. Nutrient return was equivalent to litter production, mainly for Ca (39.4 kg ha⁻¹), N (20.7 kg ha⁻¹) and K (13.1 kg ha⁻¹). Nutrient use efficiency was relatively high 49 50 for P, Mg and K. Our results indicated that the Caatinga presents a unimodal seasonal 51 pattern of litter deposition, with greater production in rainier years and production peaks 52 in the transition between the rainy season and dry. Litter production acts as a source of 53 nutrients for the soil, protecting it from impacts caused by environmental conditions (i.e., 54 solar radiation, rain). 55 Keywords: Caatinga; nutrient dynamics; decomposition; deciduous species. 56 57 58 59

- 60
- 61

62

63

64

65
66 **1. INTRODUÇÃO**

67 O bioma Caatinga é uma floresta tropical sazonalmente seca (FTSS), endêmica 68 do Brasil, que recobre grande parte do Nordeste brasileiro além de ser uma das maiores 69 regiões semiáridas da América do Sul (Silva et al., 2019; Jardim et al., 2022). Com grande 70 variabilidade climática, a Caatinga abriga um amplo espectro de formações 71 fitogeográficas com a ocorrência de espécies endêmicas; caracterizada por um mosaico 72 de espécies xerófitas e caducifólias (Bezerra-Gusmão et al., 2011; Barbosa et al., 2019). 73 Apesar da vasta biodiversidade presente na Caatinga, cerca de 40% da sua cobertura 74 vegetal já foi modificada (Mapbiomas, 2022), com implicações para a perda de serapilheira que contribui para o aumento da fertilidade e respiração do solo, além de 75 76 evitar sua degradação e erosão.

77 A produção de serapilheira é um processo ecossistêmico responsável pela entrada 78 e saída de matéria orgânica no solo através da queda do material vegetal (Asigbaase et 79 al., 2021; Becker et al., 2015; Jia et al., 2020); além de desempenhar um papel crucial na 80 ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais (Williams-Linera et al., 2021). A 81 deposição do material decíduo é a principal fonte de matéria orgânica e energia para os 82 organismos presentes no solo, contribuindo para o crescimento da vegetação, 83 recuperação e conservação de ambientes degradados (Becker et al., 2015; Queiroz 2020; 84 Rai et al., 2016; Tesfay et al., 2020; Wu et al., 2021). Adicionalmente, em regiões 85 semiáridas, a serapilheira desempenha um papel crucial, protegendo a camada mais superficial do solo da intensa radiação solar, e consequentemente, na retenção de 86 87 umidade, uma vez que os solos da Caatinga dispõem de baixa capacidade de infiltração e 88 altas taxas de escoamento superficial (Lopes et al., 2015).

89 Nesta perspectiva, em florestas sazonalmente secas como a Caatinga, a produção 90 de serapilheira ocorre principalmente durante o período seco, como mecanismo a fim de 91 evitar a perda de água via transpiração devido ao déficit hídrico presente na região 92 (Queiroz et al., 2019; Morffi-Mestre et al., 2020; Souza et al., 2019). A sazonalidade da 93 serapilheira está associada as características fenológicas das espécies, 94 predominantemente decíduas, sendo que o tecido foliar compõe maior parte do material 95 decíduo (Chave et al., 2009; Souza et al., 2019; Alberton et al., 2019, 2023). Além da 96 fração foliar, a serapilheira é composta por galhos, caules, estruturas reprodutivas, e 97 miscelânia (e.g., dejetos animais, insetos), com maior contribuição da fração foliar na 98 produção anual (Lopes et al., 2015; Pérez-Suárez et al., 2009). A dinâmica espaço-

101

temporal da serapilheira pode ser influenciada por fatores como a composição de
espécies, distúrbios antropogênicos, altitude, latitude, condições climáticas (Zhu et al.,
2019; Shen et al., 2019) e estádio sucessional (Correia et al., 2016).

102 A produção de serapilheira tem sido correlacionada com as condições ambientais 103 (i.e., radiação solar, temperatura, chuva, nutrientes do solo) (Araújo et al., 2019; Queiroz 104 et al., 2019; Souza et al., 2019). Por exemplo, Queiroz et al. (2019) constataram um 105 comportamento inversamente proporcional entre a deposição de serapilheira e a 106 intensidade de radiação solar, sendo o déficit de pressão de vapor e o fluxo de calor no 107 solo as variáveis ambientais que mais influenciam na deposição de folhas. Por outro lado, 108 Araújo et al., (2020) observaram que a produção de serapilheira foliar teve forte 109 correlação com a chuva e a evapotranspiração real para o mês de análise. No entanto, até 110 o presente momento a maioria dos estudos que investigaram a produção de serapilheira 111 na Caatinga foram de curto prazo (Moura et al.; 2016; Queiroz et al., 2019; Araújo et al., 112 2020; Oliveira et al., 2019), o que dificulta avaliar os padrões inter e intra-anuais da 113 deposição, além de modelar e estimar os possíveis efeitos das mudanças climáticas para 114 a Caatinga (Morffi-Mestre et al., 2020).

115 Desta forma, avaliar a deposição e decomposição de serapilheira em detrimento 116 das condições climáticas atuais pode fornecer informações para um melhor desempenho 117 dos modelos climáticos, além de subsidiar projeções acerca da ciclagem de nutrientes em 118 florestas secas (Queiroz et al., 2019). No entanto, ainda são escassos os estudos que 119 avaliaram a serapilheira a longo prazo associando-a as variáveis climáticas em florestas 120 tropicais secas como a Caatinga, ainda que estas tenham maior ocorrência e estão 121 expostas aos distúrbios antropogênicos (Amorim et al., 2014; Queiroz et al., 2019; 122 Morffi-Mestre et al., 2020).

123 Nesta perspectiva, o presente estudo objetivou compreender a variação sazonal da 124 deposição da serapilheira e sua decomposição ao longo de cinco anos consecutivos, 125 identificar as variáveis micrometeorológicas que influenciam na deposição total e das 126 frações da serapilheira e quantificar as concentrações de nutrientes que retornam ao solo 127 via decomposição. Buscamos compreender como esses fatores influenciam na deposição 128 de serapilheira e entender as consequências dessas respostas no cenário atual de avanço 129 das mudanças climáticas e aos distúrbios antropogênicos. Até onde sabemos, este é o 130 primeiro estudo que avalia uma série de cinco anos da dinâmica da serapilheira para a 131 Caatinga. Neste sentido, os objetivos propostos neste estudo buscam atender os padrões de desenvolvimento sustentável no Brasil (ODS) propostos pela Organização das Nações
Unidas (ONU) para garantir a proteção dos ecossistemas terrestres e a mitigação da
mudança global do clima de acordo com as ODS 13 e 15.

135 **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

136 2.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido em uma propriedade privada no semiárido brasileiro, 137 138 localizada no município de Floresta, Pernambuco (08º18'31" S, 38º31'37" W, 378 m) 139 (Figura 1). Conforme a classificação de Köppen, o clima é Semiárido do tipo BSh, quente 140 e seco (Alvares et al., 2013), com temperatura média de 26,1 °C e chuva pluvial de 489,3 141 mm estando concentrada entre os meses de dezembro a abril (Tabela 1) (Queiroz et al., 142 2019). As propriedades físico-químicas do solo foram coletadas na profundidade de 0-143 0,40 cm (Tabela 2), sendo o solo classificado como Luvissolo Crômico (Santos et al., 144 2018).



145

Figura 1. Localização da área experimental em uma área de Caatinga preservada, no
 município de Floresta, Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

148

149 Tabela 1. Normal climatológica (1961-1990) para os elementos meteorológicos no

150 município de Floresta, PE, no sertão Central do Brasil.

Mês	$T_{\rm N}$	Tair	T_X	UR	VV	Chuva	Rg	ET_0
		°C		%	m s ⁻¹	mm	MJ m ⁻² dia ⁻¹	mm
Janeiro	21,7	27,4	34,7	59,9	2,0	66,1	23,4	5,9
Fevereiro	21,5	26,7	33,9	63,8	1,9	79,4	23,6	5,7

Março	21,4	26,5	33,6	68,5	1,9	104,3	23,2	5,5
Abril	21,0	26,0	32,8	70,4	1,9	66,7	21,5	5,0
Maio	20,2	25,0	31,8	70,4	2,0	37,2	18,7	4,4
Junho	18,9	23,8	30,7	70,1	2,4	19,9	16,9	4,2
Julho	18,1	23,3	30,4	69,0	2,5	16,6	17,9	4,3
Agosto	18,1	24,1	31,7	61,1	2,7	7,0	21,8	5,4
Setembro	19,3	25,9	33,7	54,1	2,9	7,6	23,8	6,3
Outubro	20,8	27,6	35,3	50,3	2,7	12,1	25,5	6,8
Novembro	21,8	28,3	36,0	50,8	2,4	22,6	25,7	6,8
Dezembro	22,0	28,0	35,2	54,2	2,1	49,8	24,1	6,3
Anual	20,4	26,1	33,3	61,9	2,3	489,3	22,2	5,5

151 T_N: temperatura mínima, Tair: temperatura média, T_X: temperatura máxima; VV –

152 velocidade do vento, Rg: radiação solar global e ET₀: evapotranspiração de referência

153

Tabela 2. Caracterização físico-química do solo em área do bioma Caatinga, localizado
no município de Floresta, PE, no sertão Central do Brasil.

Profundidade	CC	PM	Ds	Dp	Pt	Areia	Silte	Argila
cm	dag	kg ⁻¹	kg	m ⁻³	%		g kg ⁻¹	
	10,58	7,42	1,45	2,51	41,79	675,25	211,12	113,63
	COT	Р		\mathbf{K}^+	Ca ²⁺		Mg^{2+}	Na ⁺
0-40								
	mg o	dm ⁻³				cmol _c dm ⁻	3	
_	5.16	4.78		0.20	6.06		2.71	0.35

156 CC: capacidade de campo, PM: ponto de murcha permanente; Ds: densidade aparente,

157 Dp: densidade da partícula, Pt: porosidade total e COT: carbono orgânico total.

158 A área experimental é composta por vegetação de Caatinga com cerca de 200 159 hectares. Na área são observadas a predominância de algumas espécies, como Spondias 160 tuberosa Arruda (Anacardiaceae), Commiphora leptophloeos (Mart.) J.B. Gillett 161 (Burseraceae), Cnidoscolus quercifolius Pohl. e Croton blanchetianus Baill. 162 (Euphorbiaceae); Aspidosperma pyrifolium Mart. (Apocinaceae), Cenostigma 163 pyramidale (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis (Fabaceae), Schinopsis brasiliensis Engl. 164 (Anacardiaceae), e Myracrodruon urundeuva Allemão (Anacardiaceae), conforme o levantamento fitossociológico de Queiroz et al. (2020). Além disso, a área apresenta 165 densidade de suporte de 930 árvores ha⁻¹, com diâmetro da altura do peito (DAP) de 5 cm 166 167 e 26 cm, enquanto o diâmetro médio na base (DMB) foi de 7 cm e 33 cm, e a altura média 168 de 3 m e 8 m, para as plantas de porte arbóreo e arbustivo, respectivamente.

169 2.2. Coleta de serapilheira, decomposição e análise química

Instalamos 32 armadilhas abaixo de cada copa das espécies avaliadas, com dimensões
de 0,50 m x 0,50 m (0,25 m²), e posicionadas a 1 m de distância da superfície do solo.
Cada armadilha por sua vez, foi confeccionada com tela de malha de nylon (1 mm). O
período de deposição da serapilheira foi composto por uma série de cinco anos de
monitoramento, o equivalente a janeiro de 2018 a dezembro de 2022 (61 meses).

175 A deposição de serapilheira foi monitorada nas seguintes espécies: S. tuberosa, C. 176 leptophloeos, C. quercifolius, C. blanchetianus, A. pyrifolium, C. pyramidale, S. 177 brasiliensis e M. urundeuva. As características das espécies podem ser consultadas na 178 Tabela 3. A serapilheira depositada nas armadilhas foi coletada mensalmente, sendo 179 separada e classificada em folhas, galhos (cascas), estruturas reprodutivas (i.e., flores, 180 inflorescências, frutos e sementes) e miscelânia (i.e., dejetos animais e estruturas não 181 identificadas) (Figura 2). Após a separação da serapilheira, as amostras foram secas em 182 estufa de ventilação forçada a 65 °C até atingir o peso constante e, em seguida, o material 183 foi pesado em balança analítica. A contribuição da serapilheira por hectare (kg ha⁻¹) foi 184 estimada com base na área de cobertura vegetal e a quantidade mensal de matéria seca 185 por amostra (0.25 m⁻²) (Tabela 4). O material depositado no solo também foi coletado de forma aleatória próximo aos coletores através de uma armação de madeira de 0,50 m x 186 187 0.50 m.

Tabela 3. Características das espécies predominantes em um fragmento de Caatinga,
utilizadas para monitorar a deposição da serapilheira no município de Floresta,
Pernambuco.

Fsnécies	DR(i)	DAP	ALT
		cm	m
Spondias tuberosa	0.02	19	5
Comiphora leptophloeos	0.03	15	5
Cnidosculus quercifolius	0.04	6	6
Aspidosperma pyrifolium	0.29	7	4
Cenostigma pyramidale	0.45	7	4
Croton blanchetianus	0.07	7	4
Myracrodruon urundeuva	0.01	13	7
Schinopsis brasiliensis	0.02	45	15

191 DR – dominância relativa, DAP – diâmetro da altura do peito e ALT – altura.

192



194 Figura 2. Ilustração esquemática dos coletores e da deposição de serapilheira e suas
195 frações presentes nos coletores.

196

Tabela 4. Proporção da área (%) de cada uso do solo em relação a área total de serrapilheira de 2018 a 2022.

Uso do solo			Ano		
0.50 00 5010	2018	2019	2020	2021	2022
Caatinga	38.16323	37.92350	41.96047	58.03284	57.94097
Pastagem	12.18351	11.04713	10.16305	9.008399	8.566736
Agropecuária	49.64846	51.02456	47.87167	32.95396	33.48749
Solo exposto	0.004803	0.004802	0.004803	0.004802	0.004803

199

200 Após a secagem em estufa as amostras foram misturadas para obtenção de amostras 201 compostas para cada data de coleta e, posteriormente, foram trituradas em um moinho 202 Wiley com malha de 2 mm. Posterior a isso, as amostras foram encaminhadas para o 203 laboratório da Plant & Solo para a análise química para obtenção do teor de nutrientes 204 conforme a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). A exportação de nutrientes foi avaliada conforme os teores de potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). O teor 205 206 de potássio e sódio (Na⁺) foram determinados através do método de fotometria de chama; 207 enquanto o teor de cálcio, magnésio e sódio por meio da espectrofotometria de absorção 208 atômica (posterior a digestão perclórica de nitrato) (Loupassaki et al., 2002; Jardim et al., 209 2023). O total de nutrientes presentes em cada fração das amostras foi calculado 210 multiplicando o teor de nutrientes pela quantidade de matéria seca total.

As taxa de decomposição, tempo médio de residência da serapilheira foram
calculados a partir das seguintes equações (Olson, 1963):

$$k = \frac{L}{X_{\rm ss}} \tag{1}$$

214
$$1/k$$
 (2)

em que, k é a taxa de decomposição da serapilheira (ano⁻¹) e indica a velocidade do processo de decomposição; L é a serapilheira produzida anualmente (kg ha⁻¹ ano ⁻¹); Xss é a média anual de serapilheira acumulada no solo (kg ha⁻¹ ano⁻¹). Já a durabilidade da serapilheira no solo foi calculada de maneira inversa ao k (1/k), sendo expresso em anos. Além disso, o tempo médio de desaparecimento do material foi obtido para 50% (t0,5) e 95% (t0,05) (Eq. (3) e (4)) (Arato et al., 2003; Vital et al., 2004).

221
$$t0,5 = \frac{\ln 2}{k}$$
 (3)

222
$$t0,05 = \frac{3}{k}$$
 (4)

A eficiência do uso de nutrientes (EUN) e tempo de retorno (NR) foram calculados a
partir das Equações (5), (6) e (7) (Vitousek, 1982).

$$EUN = \frac{L}{NR}$$
(5)

226
$$NR = \sum_{i=1}^{n=12} Ci \times Mi$$
 (6)

em que L é a serapilheira produzida anualmente (kg ha⁻¹ ano ⁻¹), Ci é a média mensal das
concentrações dos nutrientes (g kg⁻¹) das amostras de serapilheira, Mi é a produção média
mensal da serapilheira (g kg⁻¹) e i é o mês da amostra.

230 2.3. Cobertura Vegetal Fracionada

Para estimar a fração de cobertura vegetal (FVC) da área de serrapilheira apresentada na Figura 2 foi utilizado o modelo que descreve a proporção de vegetação escalonando o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) de acordo com o NDVI de vegetação altamente densa (NDVI_v ou V_v) e solo descoberto (NDVI_s ou V_s) (Eq. (8)) (Song et al., 2017, 2022; Zhang et al., 2019).

236
$$FVC = \frac{NDVI-NDVI_s}{NDVI_v-NDVI_s}$$
 Eq. (8)

Para tanto, os valores de NDVI máximo (NDVI_v) e mínimo (NDVI_s) foram
obtidos pelo método tradicional do NDVI conforme proposto por Gutman e Ignatov
(1998). Obtidas as imagens, foi calculado o NDVI a partir da expressão subsequente (Eq.

(9)) e, finalmente, conseguiu a FVC de 2018 a 2022 com base na média aritmética da
FVC da estação seca e chuvosa de cada ano.

242 NDVI=
$$\frac{\rho_5 \cdot \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$$
 Eq. (9)

onde, ρ_4 e ρ_5 correspondem as reflectâncias das bandas 4 e 5 do Landsat 8, computadas automaticamente pelo *plugin* SCP do *software* QGIS.

E para alcançar a FVC média para cada uma das quatro coberturas identificadas
na área de serrapilheira, exportou separadamente cada uma das classes de uso e cobertura
do solo de 2018 a 2022, e estas saídas foram usadas como máscaras para recortar a FVC
média de cada ano da série de dados.

249 2.4. Análise estatística

250 No presente estudo, os dados foram divididos em dois grupos. O grupo 1 251 denominado de "Condições ambientais" é composto pelas variáveis meteorológicas (Tair 252 - temperatura do ar, RH - umidade relativa, Rn - radiação líquida, Td - temperatura do 253 dossel, Tsolo – temperatura do solo, Rg – radiação solar global, ET₀ – evapotranspiração 254 de referência, DPV – déficit de pressão de vapor, VV – velocidade do vento, e θsolo – 255 umidade volumétrica do solo). Dentro deste grupo são considerados os valores médios 256 e/ou acumulados das variáveis meteorológicas dentro do período experimental. O grupo 257 2, nomeado de "Serapilheira" foi composto pela deposição das frações de serapilheira 258 (i.e., folhas, galhos, estruturas reprodutivas e miscelânea). As condições ambientais são 259 as variáveis explicativas, enquanto a serapilheira foi considerada como grupo resposta. A 260 princípio, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors, Anderson-261 Darling e Jarque-Bera (p<0,05). Após isso, as variáveis respostas foram relacionadas as 262 variáveis explicativas por meio da matriz de correlação de Pearson. Para tanto, o 263 coeficiente de correlação linear de Pearson (r) foi utilizado para avaliar a existência e 264 direção, além de medir o grau de intensidade da inter-relação entre as variáveis.

Posterior a isso, o diagnóstico de multicolinearidade foi aplicado somente para as variáveis respostas e explicativas que apresentarem correlações significativas. O número de condição (CN), representa a razão entre o maior e menor valor da matriz de correlação e utilizá-lo a fim de avaliar a existência de valores fortes (CN > 1000), moderados (100 < CN < 1000) e fracos (CN < 100) (Montogomery et al., 2021). Contudo, as variáveis explicativas que apresentaram multicolinearidade fraca, foram submetidas à análise de 271 correlação canônica para analisar eventuais associações entre os grupos, para isso o teste

do qui-quadrado foi utilizado para verificar a significância das correlações (p<0,05).

273 Além disso, a produção média anual de serapilheira das oito espécies ao longo dos 274 cinco anos avaliados foram submetidas a análise de variância (ANOVA), seguido pelo 275 teste de Fisher (p<0,05), a fim de avaliar se houve diferença na produção de serapilheira 276 pelas espécies ao longo dos anos. As frações da serapilheira (folhas, galhos, flores, 277 miscelânia), as espécies e as variáveis meteorológicas foram submetidas à análise de 278 componentes principais (PCA) possibilitando uma análise multidimensional dos dados, 279 ordenando-os em eixos de acordo com suas semelhanças em relação às variáveis 280 utilizadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas nos softwares XLSTAT 281 (Addinson, Paris, Franca, www.xlstat.com) e R.

282

3. RESULTADOS

283 3.1. Condições ambientais

284 A Figura 3 apresenta as condições ambientais para o período experimental. 285 Durante o período avaliado a temperatura média do ar foi de 26,6 °C em 2018, 26,7 °C 286 em 2019, 26,1 °C em 2020, 26,5 °C em 2021 e 25,4°C em 2022, sendo este o ano com 287 menor temperatura do ar (Figura 3A). Os valores mínimos de temperatura foram 288 registrados em julho de ambos os anos com 24,0 °C, 23,4 °C, 23,3 °C, 24,1 °C e 22,4 °C 289 para 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente. Já os valores máximos da 290 temperatura do ar foram observados entre os meses de outubro e novembro, de modo 291 que, em 2018 a máxima foi de 29,1 °C, 29,3 °C em 2019, 29,7 °C em 2020, 28,8 °C em 292 2021 e 27,7 °C em 2022. Por outro lado, 2022 foi o ano com maior umidade relativa do 293 ar, com média de 70,2%, seguido pelos anos de 2020 com 66,6%, 2021 com 63,4%, 294 2018 com 62.5% e 2019 com 62.1% (Figura 3A). A radiação solar global foi de 21.3 MJ m⁻² em 2018 e 2019, 20,4 MJ m⁻² em 2020, 20,2 MJ m⁻² em 2021 e 20,3 MJ m⁻² em 295 296 2022 (Figura 3A).

297



Figura 3. Temperatura média do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Rg, MJ m⁻²), umidade volumétrica do solo (θ , m³ m⁻³), déficit de pressão de vapor (DPV, kPa), velocidade do vento (VV, m s⁻¹), chuva (mm dia⁻¹) e evapotranspiração de referência (ET₀, mm dia⁻¹) para o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2022, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

A umidade volumétrica do solo foi de 0,12 m³ m⁻³ em 2018, 0,14 m³ m⁻³ em 303 2019 e 2020, 0.13 m³ m⁻³ em 2021 e 0.15 m³ m⁻³ em 2022 (Figura 3B). O déficit de 304 pressão de vapor foi de 1,3 kPa em 2018 e 2021, 1,4 kPa em 2019, 1,2 kPa em 2020 e 305 306 1,0 kPa em 2022 (Figura 3B). A velocidade do vento para o período avaliado foi de 1,7 m s⁻¹ em 2018 e 2020, 1,9 m s⁻¹ em 2019 e 2021 e 1,6 m s⁻¹ em 2022 (Figura 3B). A 307 308 chuva média foi maior em 2022 com 755,4 mm seguido por 2019, 2020, 2021 e 2018 com média de 717,7 mm ano⁻¹, 658,2 mm ano⁻¹, 447,5 mm ano⁻¹ e 427,9 mm ano⁻¹, 309 310 respectivamente (Figura 3C). A evapotranspiração de referência foi de 5,5 mm em 2018, 311 5,4 mm em 2019, 5,0 mm em 2020, 5,2 mm em 2021 e 4,7 mm em 2022 (Figura 3C).

312 3.2. Dinâmica sazonal da produção de serapilheira na Caatinga

A produção anual de serapilheira apresentou variações inter e intra-anual com comportamento sazonal ao longo do período analisado (Figura 4F). A deposição de serapilheira mensal para os anos de 2018 a 2022 apresentou variações de 7,89 a 218,57 316 kg MS ha⁻¹, com maior produção de serapilheira total em 2022 com 1.390,9 kg MS ha⁻¹, 317 seguido pelos anos de 2021, 2020, 2019 e 2018, com 923,4, 912,8, 640,4 e 456,1 kg MS 318 ha⁻¹, respectivamente (Figura 1F). Além disso, a menor produção de serapilheira anual 319 foi equivalente a menor chuva anual de 428 mm em 2018, seguida por 2021, 2020, 2019 320 e 2022 com chuva pluvial de 447,5, 658,2, 717,7 e 755,4 mm, respectivamente. De modo 321 geral, torna-se evidente que os maiores picos de produção total de serapilheira são 322 coincidentes aos meses com menor chuva (Figura 4A). Em 2018 os meses com maiores 323 produções foram maio, junho e julho com produção de 94,7 kg MS ha⁻¹ para o mês de maio e 69,4 kg MS ha⁻¹ para os meses de junho e julho; com eventos de chuva inferiores 324 325 a 10 mm para estes meses. De modo semelhante, em 2019 observou-se picos de produção 326 para os meses de abril a julho, de modo que, para o mês de abril registrou-se um valor médio de 88,8 kg MS ha⁻¹, 81,9 kg MS ha⁻¹ para o mês de maio, 174 kg MS ha⁻¹ para o 327 mês de junho e 62,4 kg MS ha⁻¹ para o mês de julho. Em 2020 foi observado produção de 328 329 serapilheira acima de 70 kg MS ha⁻¹ para os meses de março a julho e setembro. Por outro 330 lado, em 2021 a maior deposição de serapilheira se concentrou entre os meses de junho a 331 setembro com médias acima de 100 kg MS ha⁻¹. Diferentemente, 2022 foi o ano com 332 maior pico de deposição de serapilheira onde entre os meses de fevereiro a maio, agosto 333 e de outubro a dezembro houve uma produção média de 126,2 kg MS ha⁻¹, sendo que 334 apenas no mês de maio houve uma deposição de 219,6 kg MS ha⁻¹. Além disso, os meses 335 com menor deposição de serapilheira foram setembro, novembro e dezembro em 2018, 336 sendo os dois últimos equivalentes a 2019; fevereiro e outubro em 2020, outubro em 2021 337 e janeiro e setembro em 2022. A deposição dos componentes da serapilheira também 338 apresentaram variações sazonais com diferentes picos ao longo dos anos analisados.

339



Figura 4. Deposição e sazonalidade da serapilheira e da chuva em um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil, de janeiro de 2018 a dezembro de 2022.

340 Entre as frações da serapilheira, a deposição do tecido foliar foi maior em relação 341 as outras frações (Figura1B) seguindo o mesmo comportamento sazonal da serapilheira 342 total correspondendo a 50,4%, 50,3%, 55%, 67% e 68% da serapilheira total para os anos 343 de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente. De modo geral, a maior deposição 344 foliar foi observada para os meses com menor chuva, com valores inferiores a 40 mm 345 (Figura 4A). Observamos que em 2018 a deposição de folhas se concentrou entre os meses de maio a julho com deposição média de 56,47 kg MS ha⁻¹, enquanto em 2019 346 registrou-se um pico de deposição em junho com 131,9 kg MS ha⁻¹. Em 2020 os maiores 347 348 picos se concentraram entre os meses de maio a julho, com maior deposição em junho 349 (115,65 kg MS ha⁻¹). Similarmente, em 2021 os meses com maior deposição foliar foram 350 junho e julho com 151,01 e 162,11 kg MS ha⁻¹, respectivamente. No entanto, o maior pico de deposição em 2022 foi registrado em maio com 192 kg MS ha⁻¹, seguido por junho e 351 julho com 71 e 116 kg MS ha⁻¹. 352

353 A contribuição da fração de galhos foi a segunda maior em relação aos demais. 354 Assim, a maior deposição de galhos ocorreu em 2019, o equivalente a 29,83% da 355 serapilheira total, seguido pelos anos de 2020 (24,49%), 2018 (21,64%), 2022 (21,28%) 356 e 2021 (15,13%). A deposição de galhos em 2018 foi maior no mês de outubro com 21,16 357 kg MS ha⁻¹, seguido pelos meses de janeiro a julho de 2019, com valores que oscilaram 358 entre 15 a 30 kg MS ha⁻¹ (média de 25.93 kg MS ha⁻¹ mês). Por outro lado, em 2020 o maior pico registrado foi de 42,93 kg MS ha⁻¹ em novembro. No entanto, em 2021 a 359 360 deposição foi regular sem grandes picos de deposição, sendo agosto com menor deposição de 2,27 kg MS ha⁻¹, enquanto para os demais meses a deposição oscilou entre 361 11 a 18 kg MS ha⁻¹. Já em 2022, janeiro, abril, julho e novembro foram os meses com 362 363 maior deposição de galhos, com valores médios de 27,72, 23,59, 23,23 e 28,07 kg MS ha-364 ¹. Além disso, em anos como 2019 o pico de deposição de galhos coincidiu com eventos de chuva acima de 110 mm mês⁻¹. 365

366 Para as estruturas reprodutivas (Figura 4D), o maior acúmulo ocorreu em 2018, 367 representando 23% da serapilheira total, seguido por 2020, 2021, 2019 e 2022 com 368 contribuições de 17, 15,48, 15,07 e 13,35% do acumulado total de serapilheira, 369 respectivamente. Em 2018 os meses com maior acúmulo de estruturas reprodutivas foi 370 janeiro, abril e maio com produção de 19,75, 22,70 e 20,85 kg MS há⁻¹, respectivamente. 371 Já em 2019 registrou-se maior acúmulo em abril com 20,15 kg Mháha⁻¹. Em 2020, 372 observamos que em janeiro houve um acúmulo de 40,64 kg MS ha⁻¹, seguido por março 373 (20,09 kg MS ha⁻¹). Por outro lado, em 2021 os meses que obtiveram maior deposição de 374 estruturas reprodutivas foram abril, setembro e novembro com produção de 30,07, 26,69 375 e 19,12 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Diferentemente, fevereiro, março e abril registram 376 maior deposição de estruturas reprodutivas em 2022, com produções equivalentes a 377 37,18, 29,70 e 20,58 kg MS ha⁻¹, respectivamente.

A fração de miscelânia apresentou contribuições de 4,74% em 2018, 4,77% em 2019, 3,53% em 2020, 2,34% em 2021 e 2,68% em 2022 da serapilheira total. Além disso, os meses com maior acúmulo de miscelânia foi março em 2018, abril e dezembro em 2019, março e abril em 2020, maio em 2021 e fevereiro e abril em 2022.

382 3.3. Acúmulo mensal e anual de serapilheira para oito espécies da Caatinga

A Figura 5 mostra a deposição de folhas, galhos, estruturas reprodutivas e
 miscelânia para as oito espécies avaliadas. De modo geral, percebemos que dentre as oito

385 espécies avaliadas, A. pyrifolium foi responsável pela maior deposição foliar para os anos 386 avaliados, com valores de 444,32, 890,9, 995,1 e 1700,8 kg MS ha⁻¹ para 2018, 2020, 387 2021 e 2022, respectivamente. Houve exceção em 2019, em que a maior deposição foi 388 registrada pela *C. quercifolius* (536,50 kg MS ha⁻¹). Maiores deposições também foram observadas em C. leptophloeos, C. blanchetianus e C. quercifolius com acumulado de 389 390 303.07 kg MS ha⁻¹ em 2018, 394, 93 kg MS ha⁻¹ em 2019, 439.84 kg MS ha⁻¹ em 2020, 314,09 kg MS ha⁻¹ em 2021 e 563,80 kg MS ha⁻¹ em 2022 para C. leptophloeos. Os 391 valores de 253,60, 334,31, 690,44, 977,51 e 1132,08 kg MS ha⁻¹ foram observados para 392 393 C. blanchetianus em 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente. C. quercifolius acumulou 252,82 kg MS ha⁻¹ em 2018, 536,50 kg MS ha⁻¹ em 2019, 661,29 kg MS ha⁻¹ 394 em 2020, 688,67 kg MS ha⁻¹ em 2021 e 910,43 kg MS ha⁻¹ em 2022. Por outro lado, M. 395 396 urundeuva foi responsável pela menor deposição foliar, com valores de 67,32 kg MS ha-¹ em 2018, 200,04 kg MS ha⁻¹ em 2020, 107,76 kg MS ha⁻¹ em 2021 e 335,03 kg MS ha⁻ 397 ¹ em 2022. Contudo, em 2019 a menor deposição foliar foi registrada em A. pvrifolium 398 399 (175.57 kg MS ha⁻¹). Além disso, a maior deposição de folhas foi registrada na transição 400 do período chuvoso para o período seco (Figura 5A).



Figura 5. Produção mensal e acumulado de serapilheira durante janeiro de 2018 a dezembro de 2022 para (A) folhas, (B) galhos, (C) estruturas reprodutivas e (D) miscelânea para oito espécies vegetais em um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

401 Em contrapartida, observa-se que a deposição de galhos variou ao longo dos anos 402 e em função das espécies, de modo que, S. brasiliensis foi responsável pela maior 403 deposição em 2018 com 215,24 kg MS ha⁻¹, seguida por A. pyrifolium com 117,12 kg MS ha⁻¹ (Figura 4B). Por outro lado, em 2019 C. blanchetianus e C. leptophloeos 404 405 apresentaram maior produção de galhos com 330 e 326 kg MS ha⁻¹, respectivamente. De 406 modo similar, C. pyramidale obteve maior produção em 2020 com 390,64 kg MS ha⁻¹, 407 seguida por C. leptophloeos com 323,67 kg MS ha⁻¹, a qual registrou maior produção de galhos em 2021 e 2022 com 247,07 e 457,32 kg MS ha⁻¹, respectivamente, com segunda 408 409 maior produção observada por S. brasiliensis com 232,75 e 357, 50 kg MS ha⁻¹. Além disso, a menor produção de galhos foi observada em C. quercifolius, especificamente em 410 411 2018, 2019 e 2021 com 32,40, 65,55 e 34,53 kg MS ha⁻¹, respectivamente, enquanto para 412 os anos de 2020 e 2022 a menor produção foi registrada por S. tuberosa e M. urundeuva com 103,83 e 83,79 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Além disso, observamos que os meses 413 414 em que houve maior deposição pelas espécies foram março, abril e maio em 2018 e 2019, 415 abril e maio em 2020, abril e julho em 2021 e junho e julho em 2022. Além disso, entre

416 os meses de outubro a dezembro houve um aumento cumulativo da deposição de galhos
417 pelas espécies em 2018. Esse mesmo comportamento foi observado a partir de abril em
418 2019, novembro em 2020 e 2021, e 2022 esse aumento foi observado a partir de julho.

419 De modo geral, a deposição das estruturas reprodutivas variou ao longo dos anos 420 e dos meses (Figura 5C). Neste contexto, as maiores contribuições de estruturas 421 reprodutivas foram observadas de fevereiro a março em 2018; janeiro, fevereiro e abril 422 em 2019; janeiro, abril e dezembro em 2020; abril, maio e dezembro em 2021 e de 423 fevereiro a abril em 2022. Entre as espécies, C. quercifolius foi uma das que obteve maior 424 deposição de estruturas reprodutivas ao longo dos anos, com acumulado de 214,40, 228,84, 198,67, 148,82 e 225,16 kg MS ha⁻¹ em 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, 425 426 respectivamente. A partir de 2020 observou-se um aumento na deposição de estruturas reprodutivas em C. pyramidale que apresentou acúmulo de 266,87 kg MS ha⁻¹ em 2020, 427 217.34 kg MS ha⁻¹ em 2021 e 275,16 kg MS ha⁻¹ em 2022. Contudo, a menor deposição 428 429 foi registrada em diferentes espécies ao longo dos anos, de modo que, em 2018, 2019 e 430 2022 S. brasiliensis teve menor deposição de estruturas reprodutivas com 54,47, 1,90 e 431 105,58 kg MS ha⁻¹, respectivamente, enquanto em 2020 e 2021 a menor deposição foi observada em S. tuberosa e M. urundeuva com 68,22 e 87,24 kg MS ha⁻¹, 432 433 respectivamente. Para a fração de miscelânia, as maiores contribuições foram observadas 434 para os coletores situados abaixo das espécies de A. pyrifolium em 2018 e 2019 com 43,24 435 e 48,34 kg MS ha⁻¹, respectivamente; C. quercifolius em 2020 com 56,76 kg MS ha⁻¹ e C. blanchetianus com 30,66 e 62,98 kg MS ha⁻¹ em 2021 e 2022, respectivamente. 436

437

3.4. Deposição anual a nível de espécie

438 A Figura 6 mostra a deposição de serapilheira em função das espécies avaliadas, 439 com exceção de M. urundeuva e C. leptophloeos, as demais espécies foram 440 estatisticamente diferentes para os cinco anos avaliados (p<0,05). Nota-se que ao longo 441 dos anos, as espécies registraram diferentes acúmulos de serapilheira, de modo que, a 442 maior produção foi registrada em 2022 para S. brasiliensis, C. pyramidale, C. 443 quercifolius, A. pyrifolium, C. blanchetianus e S. tuberosa (p<0,05) (Figura 5B, C, D, E, 444 G, H). Por outro lado, para estas mesmas espécies a menor produção de serapilheira 445 ocorreu em 2018 e 2019. Em termos de Caatinga, o comportamento foi semelhante, com 446 maior produção de serapilheira em 2022, e menor produção observada em 2018 (p<0,05) 447 (Figura 6I).



Figura 6. Produção anual de serapilheira em oito espécies vegetais da Caatinga e para toda área de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

448 3.5. Relações entre a deposição de serapilheira para espécies da Caatinga e as
449 variáveis ambientais

450 Para as espécies, a análise de correlação canônica mostrou que a deposição de 451 serapilheira da *M. urundeuva* e *S. brasiliensis* não apresentaram relações com as variáveis 452 do grupo resposta e as explicativas (i.e., ambientais). Por outro lado, C. pyramidale e C. 453 leptophloeos obtiveram dois eixos canônicos significativos, enquanto para as demais 454 espécies apenas um eixo foi significativo pelo teste de qui-quadrado (p<0.05) (Tabela 5). 455 Assim, para C. leptophloeos o primeiro eixo canônico indica que sob condições de maior 456 Tsolo e θsolo houve maior deposição da fração de miscelânia. No entanto, a miscelânia 457 não é uma fração de origem vegetal, enquanto o segundo eixo aponta que à medida que 458 há diminuição na radiação solar incidente, houve aumento para a deposição foliar. Já para 459 C. pyramidale observou-se no primeiro eixo conforme Rn, Td, Rg e Tsolo diminuíram 460 com o aumento na deposição da fração foliar; já o segundo eixo mostrou que em função 461 da diminuição da VV, Tsolo e aumento da θ solo há maior deposição da fração de galhos. 462 O mesmo comportamento foi observado para o primeiro eixo de C. quercifolius, no 463 entanto, para a fração reprodutiva. De modo semelhante ao primeiro eixo de C. 464 pyramidale, em C. blanchetianus as condições são mais favoráveis para a maior 465 deposição foliar quando há diminuição na Rn, Td, Rg e 0solo. Por outro lado, em A. 466 pyrifolium o aumento da VV explicou o aumento na deposição da fração foliar. Assim, 467 variações na deposição foliar e nas frações de galho e reprodutiva podem ser associadas 468 as variáveis do grupo explicativo, como observado pelas espécies.

469**Tabela 5.** Cargas canônicas entre os grupos de variáveis resposta (folha, galho, órgãos470reprodutivas e miscelânia) e as variáveis explicativas (velocidade do vento – VV, radiação471líquida – Rn, temperatura do dossel – Td, Chuva, temperatura do solo – Tsolo, radiação472solar global – Rg, umidade volumétrica do solo – θ solo e índice de cobertura vegetal –473ICV) para as espécies em uma fragmento de Caatinga, no município de Floresta,474Pernambuco, Brasil.

Grupo	Variáveis	Myracrodruon urundeuva					Schinopsis brasiliensis			sis
	-	E	Eixos canônicos				Eixos canônicos			
		1	2	3	4		1	2	3	4
Resposta	Folha	0.30	0.66	-0.08	-0.15	-().27	0.76	-0.32	0.49
	Galho	0.10	0.95	-0.07	1.39	-().29	0.51	-0.46	-0.67
	Reprodutivas	-0.09	0.65	-0.70	-1.47	0	.61	0.72	0.25	-0.24
	Miscelânia	0.62	0.72	-0.18	-0.36	-().60	0.19	0.70	-0.34
	VV	0.21	-0.49	-0.06	-0.44	0	.87	-0.03	0.01	-0.01
Explicativo	Rn	-0.84	0.09	-0.21	0.15	-().05	0.53	-0.26	-0.13
	Td	-0.77	-0.10	-0.03	-0.01	0	.37	-0.03	-0.45	-0.40
	Chuva	-0.29	-0.12	-0.11	0.80	-().27	-0.02	-0.44	-0.02

	Tsolo	-0.77	-0.32	0.18	-0.22	0.	59	0.16	-0.35	-0.10	
	Rg	-0.85	-0.14	-0.20	-0.20	0.	38	0.33	-0.54	-0.27	
	θsolo	-0.23	0.49	-0.04	0.63	-0.	63	0.23	-0.31	0.15	
	ICV	0.21	0.02	-0.28	-0.02	-0.	.03	0.84	0.25	-0.03	
Correlação canônica		0.67	0.57	0.28	0.25	0.	55	0.42	0.41	0.23	
Qui-quadrado		60	28	8	3	4	2	23	12	3	
Graus de liberdade		32	21	12	5	3	2	21	12	5	
		Ceno	stigma	pyram	idale	С	nidoso	colus qi	uercifo	lius	
		E	lixos ca	nônico	S		Eixos canônicos				
		1	2	3	4		1	2	3	4	
Resposta	Folha	0.92	0.27	0.27	-0.10	0.	47	0.88	-0.06	0.03	
	Galho	-0.37	0.74	0.35	-0.45	0.	49	-0.13	0.68	0.52	
	Reprodutivas	0.02	0.73	-0.69	-0.02	0.	68	-0.32	-0.52	0.41	
	Miscelânia	-0.07	0.51	0.28	0.81	0.	66	-0.30	0.38	-0.57	
	VV	0.22	-0.83	0.08	-0.20	-0.	81	0.34	0.29	-0.13	
	Rn	-0.81	0.26	-0.45	-0.16	0.	09	-0.84	0.06	0.02	
	Td	-0.68	-0.53	-0.20	0.09	-0.	52	-0.62	-0.27	-0.32	
	Chuva	-0.38	0.54	-0.05	-0.58	0.	48	-0.51	0.15	-0.52	
Explicativo	Tsolo	-0.69	-0.66	-0.12	-0.04	-0.	70	-0.55	-0.31	-0.23	
	Rg	-0.84	-0.38	-0.27	-0.05	-0.	52	-0.82	0.06	-0.01	
	θsolo	-0.23	0.77	-0.31	-0.15	0.	68	-0.43	-0.03	-0.08	
	ICV	0.34	0.06	-0.70	-0.31	0.	02	0.35	0.11	0.10	
Correlação canônica		0.83*	0.75*	0.28	0.25	0.7	/4*	0.58	0.25	0.16	
Oui-quadrado		114	52	8	3	6	7	26	5	1	
Graus de liberdade		32	21	12	5	3	2	21	12	5	
		Cro	ton bla	nchetic	inus	As	pidos	perma	pvrifol	ium	
		F	lixos ca	nônico	s		Eixos canônicos				
		1	2	3	4		1	2	3	4	
Resposta	Folha	0.94	0.30	0.15	-0.08	0.	92	0.16	-0.24	-0.27	
L	Galho	-0.04	0.28	0.91	0.30	0.	12	0.61	0.27	0.74	
	Reprodutivas	-0.48	0.84	0.07	-0.25	-0.	05	0.51	0.78	-0.37	
	Miscelânia	-0.03	0.68	-0.20	0.71	-0.	15	0.81	-0.51	-0.24	
	VV	0.39	-0.80	-0.40	0.12		0.61	-0.70	-0.27	-0.12	
	Rn	-0.74	0.27	-0.20	0.23	-0.	31	-0.15	0.79	0.23	
	Td	-0.71	-0.55	-0.09	-0.22		-0.56	-0.70	0.16	-0.02	
	Chuva	-0.40	0.25	0.68	0.03		-0.42	0.41	0.15	0.06	
Explicativo	Tsolo	-0.60	-0.58	-0.21	-0.01		-0.25	-0.67	0.32	0.16	
-	Rg	-0.78	-0.35	-0.35	0.02		-0.26	-0.59	0.49	0.11	
	θsolo	-0.72	-0.53	-0.31	0.05		-0.35	0.46	0.45	-0.22	
	ICV	0.39	0.36	-0.33	-0.23		0.47	0.25	0.57	-0.21	
Correlação canônica		0.79*	0.47	0.35	0.20	0.8	82*	0.50	0.41	0.13	
Qui-quadrado		73	22	9	2	8	4	26	10	1	
Graus de liberdade		32	21	12	5	3	2	21	12	5	
		Sp	ondias	tubero	sa	Co	mmip	hora le	ptophl	oeos	

		E	ixos ca	nônico	S	Ei	xos canó	ònicos	
		1	2	3	4	1	2	3	4
Resposta	Folha	0.69	0.62	0.38	0.02	-0.20	1.02	-0.41	-0.02
	Galho	-0.30	0.42	0.75	-0.41	0.14	0.36	1.03	-0.56
	Reprodutivas	-0.68	0.69	-0.24	0.00	0.52	-0.35	0.15	1.04
	Miscelânia	-0.26	0.02	0.49	0.83	0.67	-0.11	-0.85	-0.39
	VV	0.33	-0.52	-0.56	-0.25	-0.53	0.42	0.52	-0.48
	Rn	-0.86	0.09	0.32	-0.09	-0.02	0.43	0.81	1.01
	Td	-0.64	-0.43	-0.45	0.22	-0.19	0.35	0.01	1.30
Explicativo	Chuva	-0.25	0.07	0.64	-0.06	-0.50	0.12	0.75	-0.36
	Tsolo	-0.59	-0.51	-0.40	0.11	0.78	-0.23	0.08	-0.02
	Rg	-0.84	-0.34	-0.22	-0.16	-0.33	-1.46	-0.63	-1.61
	θsolo	-0.38	0.24	0.75	-0.25	1.08	0.15	-0.35	-0.75
	ICV	0.10	0.70	-0.08	-0.42	-0.14	-0.03	0.63	0.43
Correlação canônica		0.70	0.65	0.46	0.26	0.64*	0.60*	0.30	0.16
Qui-quadrado		80	44	16	4	58	30	6	1
Graus de liberdade		32	21	12	5	32	21	12	5

⁴⁷⁵ Valores com * foram significativos a 5% pelo teste de Qui-quadrado.

A análise canônica para a Caatinga apenas um eixo canônico foi significativo entre
as variáveis respostas (i.e., fração da serapilheira) e as variáveis explicativas (i.e.,
condições ambientais) (Tabela 6). Na Caatinga, observa-se que a maior contribuição da
serapilheira é dada pela fração foliar quando há diminuição para Rn, Td e Rg. Portanto,
as demais frações de galho, estruturas reprodutivas e miscelânea não podem ser
associadas ao grupo explicativo, de modo que, apresentam efeitos isolados.

Tabela 6. Cargas canônicas entre os grupos de variáveis resposta (folha, galho,
reprodutivas e miscelânia) e as variáveis explicativas (velocidade do vento – VV, radiação
líquida – Rn, temperatura da superfície – Td, Chuva, temperatura do solo – Tsolo,
radiação solar global – Rg, umidade volumétrica do solo – θsolo e índice de cobertura
vegetal – ICV) para um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco,
Brasil.

Grupo	Variáveis	Eixos canônicos							
		1	2	3	4				
	Folhas	0.89	0.41	0.17	-0.07				
Resposta	Galhos	-0.33	0.71	0.50	-0.37				
	Reprodutiva	-0.31	0.67	0.26	0.62				
	Miscelânia	-0.29	0.85	-0.43	-0.08				
	VV	0.49	-0.73	-0.02	0.02				
	Rn	-0.75	0.18	0.42	0.30				
	Td	-0.61	-0.64	-0.06	0.15				

Explicativo	Chuva	-0.48	0.28	0.63	-0.35
	Tsolo	-0.53	-0.66	0.14	0.22
	Rg	-0.70	-0.47	0.11	0.28
	θsolo	-0.46	0.72	0.23	-0.18
	ICV	0.41	0.33	0.45	0.68
Correlação canônica		0.81*	0.65	0.39	0.37
Qui-quadrado		101	46	16	8
Graus de liberdade		32	21	12	5

489 Valores com * foram significativos a 5% pelo teste de Qui-quadrado.

490 3.6. Decomposição, taxa de retorno e eficiência do uso de nutrientes na Caatinga

491 O retorno médio de nutrientes apresentou diferentes concentrações em função dos anos (Tabela 7). Percebe-se que o maior retorno de nutrientes via serapilheira ocorreu em 492 2022 para todos os nutrientes, com concentrações de 29,69 kg N ha⁻¹, 2,16 kg P ha⁻¹, 493 18,83 kg K ha⁻¹, 56,55 kg Ca ha⁻¹, 4,01 kg Mg ha⁻¹ e 1,36 kg Na ha⁻¹. Em contrapartida, 494 495 o menor retorno de nutrientes ocorreu em 2018, de modo que, as concentrações foram de 14,67, 1,07, 9,30, 27,94, 1,98 e 0,67 kg ha⁻¹ para o N, P, K, Ca, Mg e Na, respectivamente. 496 497 Para a eficiência do uso dos nutrientes, maiores valores foram observados para o N (87,94 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e K (179,97 kg ha⁻¹ ano⁻¹) em 2022. Por outro lado, o P foi mais eficiente 498 499 em 2018 e 2019 com 1175 e 1148 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto o Ca e o Mg foram mais eficientes em 2021 e 2019, respectivamente com 88,64 e 727,22 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 7). 500

501	Tabela 7. Retorno de nutrientes (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) e eficiência do uso dos nutrientes (kg ha ⁻¹
502	¹ ano ⁻¹) associados à queda da serapilheira em um fragmento de Caatinga, em Floresta,
503	Pernambuco, Brasil.

	Retorno de nutrientes								
Ano	N	Р	Κ	Ca	Mg	Na			
2018	14.67	1.07	9.30	27.94	1.98	0.67			
2019	16.38	1.19	10.39	31.21	2.21	0.75			
2020	23.55	1.71	14.93	44.85	3.18	1.08			
2021	19.23	1.40	12.19	36.62	2.60	0.88			
2022	29.69	2.16	18.83	56.55	4.01	1.36			
		Efici	iência do uso	de nutriente	es				
2018	85.37	1175.56	134.62	44.82	631.53	1.86			
2019	72.89	1148.21	175.66	38.77	727.22	1.89			
2020	75.19	750.07	157.35	46.44	373.26	3.11			
2021	84.23	662.41	72.92	88.64	295.42	3.36			
2022	87.94	622.34	179.97	46.36	379.79	2.60			

504

505 A taxa de decomposição variou ao longo dos anos avaliados como mostra a Tabela 506 8. Assim, os valores de *k* foram de 0,14, 1,23, 3,99, 2,46 e 0,19 ano⁻¹ para 2018, 2019,

- 507 2020, 2021 e 2022, respectivamente, com média de 1,60 ano⁻¹. Além disso, observa-se
- 508que o tempo médio de renovação da serapilheira foi de 0,62 com tempos de decomposição5001.505001.67
- 509 de 50 e 95% de 0,43 e 1,87, respectivamente.

510 **Tabela 8.** Taxa de decomposição $(k, \text{ ano}^{-1})$, tempo médio de retorno (1/k) e tempos de

511 decomposição de 50% $(\ln 2/k)$ e 95% (3/k) em um fragmento de Caatinga, em Floresta,

512 Pernambuco, Brasil.

		k			
2018	2019	2020	2021	2022	MÉDIA
0.14	1.23	3.99	2.46	0.19	1.60
1/k		$\ln 2/k$		3/k	
0.62		0.43		1.87	

513

514 As concentrações de nutrientes presentes na serapilheira via coletor suspenso 515 mudaram ao longo dos anos para a Caatinga (Figura 7). De modo geral, os nutrientes com 516 maiores concentrações na serapilheira foram N e Ca, com média de 1,73 e 3,29 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para os cinco anos estudados, respectivamente. Além disso, N, P, K, Ca, Mg e Na 517 518 registraram variações com concentrações máximas em junho de 2018 e 2019; março de 519 2020, julho de 2021 e maio de 2022; e mínimas em novembro 2018 e 2019; outubro de 520 2020 e 2021 e setembro de 2022. As médias para estes nutrientes ao longo dos cinco anos foram de 1,22, 1,64, 1,96, 1,60 e 2,47 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o nitrogênio; 0,09, 0,10, 0,14, 521 0,14 e 0,18 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o fósforo; 0,78, 0,87, 1,24, 1,22 e 1,57 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o 522 potássio; 2,33, 2,60, 3,74, 3,66 e 4,71 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o cálcio; 0,17, 0,18, 0,27, 0,26 e 523 524 0,33 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o magnésio; e 0,06, 0,06, 0,09, 0,09 e 0,11 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o sódio 525 em 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente.



Figura 7. Concentração média anual de nutrientes associados à queda de serapilheira suspensa em um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

527 A Figura 8 mostra a concentração anual de nutrientes presentes na serapilheira 528 depositada no solo. Desta forma, observa-se que as concentrações dos nutrientes variaram 529 ao longo dos anos, sendo o N e Ca os nutrientes que apresentaram maiores concentrações com 11,61 e 26,71 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Enquanto o Na, P, Mg e K apresentaram 530 531 as menores concentrações com 0,30, 1,12 e 1,95 e 4,16 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente 532 (Figura 7A, B e D). Além disso, a concentração de nutrientes seguiu a ordem crescente com Na > P > Mg > K > N > Ca. Observa-se que os meses com maiores concentrações 533 534 foram maio em 2018, junho em 2019 e 2021, fevereiro em 2020 e julho em 2022. Em 535 contrapartida, as menores concentrações foram observadas em setembro, abril, outubro, 536 março e fevereiro em 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, respectivamente.



Figura 8. Concentração média anual de nutrientes associados à queda de serapilheira no solo em um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

538 3.7. Análise de componentes principais (PCA)

539 Neste estudo, realizamos uma análise de componentes principais para a 540 produção de serapilheira e as variáveis ambientais (Figura 9). Assim, duas componentes 541 principais foram suficientes para explicar 71.8% variabilidade total dos dados, de modo 542 que, a componente principal 1 (PC1) explicou 62.2% mostrando uma correlação positiva 543 entre a produção total de serapilheira, fração foliar, estruturas reprodutivas as quais 544 foram negativamente correlacionadas com Tair, Rg, ET₀, DPV e Td. Por sua vez, a PC2 545 explicou 9,6% com correlação positiva entre a fração de miscelânea, galhos, chuva e 546 umidade volumétrica do solo. Além disso, S. brasiliensis e C. blanchetianus estão 547 inseridas na PC2, enquanto M. urundeuva, C. pyramidale, C. leptophloeos e S. tuberosa 548 pertencem a PC1.

549



Figura 9. Análise de componentes principais (PCA) para a produção de serapilheira e as variáveis ambientais (temperatura do ar – Tair, radiação solar global – Rg, temperatura da superfície – Td, temperatura do solo – Tsolo, radiação líquida – RN, umidade relativa do ar – Rhair, déficit de pressão de vapor - VPD, evapotranspiração de referência – ET0, velocidade do vento – WS e umidade volumétrica do solo – θ para as espécies Aroeira (*M. urundeuva*), Baraúna (*S. brasiliensis*), Catingueira (*C. pyramidale*), Faveleira (*C. quercifolius*), Marmeleiro (*C. blanchetianus*), Pereiro (*A. pyrifolium*), Umburana de cambão (*C. leptophloeos*) e Umbuzeiro (*S. tuberosa*) em um fragmento de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

4. DISCUSSÃO

552 4.1. Dinâmica de deposição e sazonalidade da serapilheira na Caatinga

553 As florestas tropicais são responsáveis pela maior produção de serapilheira 554 quando comparada a outros ecossistemas terrestres (Marod et al., 2023), de modo que, a 555 produção de serapilheira pode variar em função do tipo de espécie, fenologia, estágio 556 sucessional e conforme as diferenças microclimáticas associadas (Silva et al., 2018; Liao 557 et al., 2006; Zhu et al., 2022). Neste estudo, a produção média anual de serapilheira foi de 864,69 kg MS ha⁻¹, o equivalente a 0,86 t ha⁻¹ ano⁻¹ para os cincos anos avaliados. No 558 559 entanto, esses valores foram inferiores aos relatados para florestas tropicais secas como a 560 Caatinga (Araújo et al., 2019; Menezes et al., 2012; Morffi-Mestre et al., 2020). A 561 produção de serapilheira em ambientes secos, a exemplo da Caatinga, pode variar entre

1.500 e 3.000 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹, e podem ultrapassar 6.000 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ sob condições 562 563 de maior disponibilidade hídrica no ambiente (Menezes et al., 2012). Em uma floresta tropical seca no México a produção média foi de 5,65 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Morffi-Mestre et al., 564 565 2020), no entanto, em uma área de Caatinga, Araújo et al. (2019) relataram valores de 566 produção de serapilheira superiores aos achados neste trabalho, com média de produção 567 de 4,508 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 3,320 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Essa variação na produção de serapilheira 568 dentro da Caatinga pode ser associada tanto as condições microclimáticas, como também 569 as condições edáficas, topográficas e diversidade de espécies vegetais e traços funcionais 570 presentes que são responsáveis pela produtividade de ecossistemas áridos e semiáridos 571 (Araújo et al., 2019). Além disso, a área avaliada neste estudo é considerada uma Caatinga 572 com vegetação mais esparsa. Embora a média anual tenha sido abaixo do esperado, a 573 camada de serapilheira depositada no solo é uma das principais via de transferência de 574 nutrientes para o solo a partir da matéria orgânica, promovendo o aumento da fertilidade 575 do solo, além de atuar como isolante térmico, retenção de água e atenuar nos efeitos 576 erosivos do solo (Silva et al., 2018). Ainda, a serapilheira atua como sumidouro de 577 carbono, além de impactar respostas e feedbacks dos ecossistemas terrestres aos sistemas 578 climáticos (Zhang et al., 2014).

579 Dentre as frações que compõem a serapilheira a fração foliar é responsável por 580 cerca de 64% a 73% entre os ecossistemas florestais (Zhang et al., 2014; Queiroz et al., 581 2019; Marod et al., 2023). Neste sentido, a fração foliar neste estudo representou 61% da 582 serapilheira total, com variações ao longo dos anos. A maior contribuição do tecido foliar 583 na deposição total de serapilheira em florestas secas, pode ser atribuído aos mecanismos 584 fisiológicos e ecológicos adotado pelas espécies vegetais como adaptação as condições 585 de seca (Chave et al., 2010; Zhu et al., 2019, 2021) considerando que os maiores picos de 586 deposição foram registrados durante a estação seca. Além disso, as maiores concentrações 587 de nutrientes são encontradas no tecido foliar, já que as folhas são fisiologicamente mais 588 ativas quando comparadas aos outros órgãos e apresentam maior taxa de decomposição 589 em função da alta superfície específica (Souza et al., 2023).

Assim, observa-se que em florestas secas a deposição de serapilheira é marcada pela sazonalidade, de modo que, maior parte da deposição total ocorre durante a estação seca, visto que a Caatinga é composta principalmente por espécies decíduas que perdem suas folhas durante a transição da estação chuvosa para seca. Os maiores picos de queda foram registrados durante a transição do inverno para o outono. Assim, a partir deste 595 estudo percebe-se que na Caatinga a maior produção de serapilheira ocorre nos meses 596 com menor incidência de radiação solar que corresponde as estações de inverno e outono 597 (Queiroz et al., 2019). De modo semelhante, Araújo et al. (2019) também observaram 598 maiores taxas de produção durante os meses de julho a agosto, que equivalem ao período 599 de inverno e outono. Assim, fica evidente que a Caatinga apresenta padrões sazonais de 600 deposição, com os maiores picos sendo registrados durante as estações secas (Marod et 601 al., 2023). Resultados semelhantes foram observados em uma floresta seca no oeste da 602 Tailândia (Marod et al., 2023). Vários estudos apontam que o padrão de deposição da 603 serapilheira podem ser unimodais, bimodais ou irregulares com a ocorrência de vários 604 picos ao longo do ano (Zhang et al., 2014). Com exceção de 2022 em que foi registrado 605 um padrão bimodal, os demais anos avaliados neste estudo apresentaram padrão unimodal 606 com picos ocorrendo geralmente entre os meses de maio a julho.

607 4.2. Deposição de serapilheira em oito espécies da Caatinga

608 Percebe-se que além dos padrões sazonais, a deposição da serapilheira também 609 flutua em função do tipo de espécies e a partir de suas características intrínsecas (Figura 610 5 e 6). De modo geral, a maior produção de serapilheira ocorreu nos anos em que havia 611 maior disponibilidade de água no ambiente, principalmente em 2022 (Figura 6). Sabe-612 se que em condições de déficit hídrico as plantas da Caatinga perdem suas folhas como 613 mecanismo adaptativo para evitar a perda de água via transpiração. No entanto, a 614 vegetação da Caatinga é extremamente responsiva aos primeiros eventos de chuva, com 615 o surgimento de novas folhas logo após o início da estação chuvosa (Lopes et al., 2015). 616 A produção de serapilheira é totalmente dependente da disponibilidade de água no 617 ambiente e da distribuição de chuvas, como foi observado por Araújo et al. (2019), que 618 constataram que a chuva e a evapotranspiração foram correlacionadas com a produção 619 de serapilheira na Caatinga.

620 Na Caatinga, a caducifólia não ocorre de forma homogênea em todas as espécies, 621 de modo que, as plantas podem perder todas as folhas em um ano e em outro não e, em 622 diferentes períodos (Amorim et al., 2009). Dentre as espécies estudadas, A. pyrifolium 623 foi responsável pela maior contribuição foliar e total em todos os anos, exceto em 2019, 624 onde a maior produção foi observada para C. quercifolius. Espécies como A. pyrifolium 625 perdem suas folhas logo após a estação chuvosa e podem permanecer sem folhas entre 626 quatro a seis meses (Amorim et al., 2009; Lopes et al., 2020), no entanto, como 627 observado neste estudo A. pyrifolium apresentou queda foliar em todo o período experimental, com maiores picos ocorrendo a partir de abril até outubro em alguns anos.
Além disso, a emissão de folhas dessa espécie não acontece de imediato após os eventos
de chuva, a qual consegue permanecer com folhas em maior parte do ano, evidenciando
sua tolerância as condições de baixa disponibilidade hídrica no solo (Queiroz et al.,
2019; Parente et al., 2012).

633 Espécies como C. quercifolius, C. leptophloeos e C. blanchetianus também 634 apresentaram grandes deposições de folhas. O pico de queda foliar destas espécies 635 ocorre principalmente ao final da estação chuvosa, se propagando durante toda a estação 636 seca (Lima & Rodal, 2010). O pico de queda foliar da C. quercifolius tem duração de 637 cinco a sete meses, com produção de folhas pequenas durante a estação seca com 638 incremento em seu tamanho na estação chuvosa (Lima & Rodal, 2010; Lopes et al., 639 2021). Além disso, esta espécie apresenta em sua morfologia foliar a presença de 640 acúleos no limbo e espinhos em suas nervuras, que contribuem para o incremento de 641 matéria seca da fração foliar, além de ser uma das primeiras a perder suas folhas logo 642 após a estação chuvosa (Drumond et al., 2007; Queiroz et al., 2019). Para C. 643 leptophloeos a queda de folhas pode ocorrer completamente durante a estação seca 644 (Brito et al., 2022), no entanto, a produção de novas folhas ocorre ao final da estação 645 seca com produção contínua até a estação chuvosa (Silva et al., 2020).

646 Em C. blanchetianus a deposição foliar ocorre de forma ininterrupta, 647 apresentando sazonalidade em função dos eventos de chuva, com maior deposição no 648 início da estação seca, como estratégia para reduzir a perda d'água via transpiração 649 (Barros & Soares, 2013; Alves et al., 2014). Estes mesmos autores relataram que a 650 produção de serapilheira para C. blanchetianus em 12 meses foi equivalente a 1.207,91 651 kg ha⁻¹, sendo 79,78% composto pela fração foliar. Desta forma, evidencia-se que a 652 deposição da fração de folhas por espécies da Caatinga são relacionadas a fatores como 653 a deciduidade das espécies avaliadas e aos níveis de chuva, de modo que, a maior 654 ocorrência de chuvas implica na maior produção de serapilheira foliar (Alves et al., 655 2014).

Para a produção de galhos, observa-se que a contribuição das espécies variou em
função dos anos, com destaque para *S. brasiliensis*, *A. pyrifolium*, *C. blanchetianus*, *C.
<i>leptophloeos*, *C. pyramidale* e *C. quercifolius* (Figura 6). A deposição de galhos pelas
espécies pode ser impulsionada a partir de processos fisiológicos, a exemplo da queda
natural, como também ataques de insetos ou até mesmo pela ação mecânica do vento e

da chuva (Alves et al., 2014). Além disso, a queda de galhos pode ser associada as
características das espécies, a exemplo de *C. leptophloeos* que apresenta maior diâmetro
e a morfologia do seu caule bem característico, com cascas que se desprendem do caule
em lâminas revolutas e irregulares (Queiroz et al., 2019). Os picos de produção de
galhos coincidiram com os meses que obtiveram maiores acúmulos de chuva (Figura
3A, C), sendo indicativo da relação entre os picos de queda e a estação chuvosa a partir
da ação mecânica da chuva sobre os galhos mortos.

668 As espécies que apresentaram maior deposição de estruturas reprodutivas foram 669 C. quercifolius, C. pyramidale, S. brasiliensis e C. blanchetianus (Figura 6). De modo semelhante a fração de galhos, a deposição de estruturas reprodutivas esteve associada 670 671 aos eventos de chuva, uma vez que a maioria das espécies apresentaram pico de 672 produção destas estruturas durante a estação chuvosa (Lima & Rodal, 2010). A maioria 673 das espécies da Caatinga, apresentam florescimento anual, com picos ocorrendo de 674 janeiro a maio a depender da espécie (Leite & Machado, 2010). A produção de estruturas 675 reprodutivas em C. leptophloeos ocorre ainda durante a estação seca com o surgimento 676 de pequenas flores que podem ser agrupadas ou isoladas com posterior frutificação entre 677 a transição da estação chuvosa para seca, com a presença de frutos globulosos (Lima et 678 al., 2012). O florescimento e a frutificação de C. quercifolius ocorre durante o verão, 679 com flores compostas por pequenos cachos axilares e terminais, sendo seus frutos 680 capsulas arredondadas que contribuem para o incremento de matéria seca na fração de 681 estruturas reprodutivas (Drumond et al., 2007). A intensidade reprodutiva de S. 682 brasiliensis ocorre durante a estação seca, quando a ocorrência de eventos de chuva é 683 menor. C. pyramidale por sua vez, é amplamente distribuída na Caatinga, pertencendo 684 a uma das principais famílias de leguminosas, de modo que, seu período de floração e 685 frutificação ocorre logo em seguida ao início da estação chuvosa (Matos et al., 2019). 686 De modo geral, percebe-se que o período em que há maior deposição de estruturas 687 reprodutivas para as espécies estudadas ocorreu entre janeiro a abril quando há maior 688 concentração de picos de chuva. Além disso, a literatura destaca que o período de 689 floração e frutificação em espécies da Caatinga pode ocorrer ainda na estação seca a 690 partir de eventos isolados de chuva e durante a estação chuvosa, visto a maior 691 disponibilidade de água no ambiente (Matos et al., 2019).

692 693 Para a fração de miscelânea, as maiores contribuições foram observadas em *A*. *pyrifolium*, *C. leptophloeos* e *M. urundeuva*. No entanto, a fração de miscelânea é composta essencialmente por dejetos animais, como restos de insetos e fezes (GonzálezRodríguez et al., 2011; Queiroz et al., 2019). Este componente deve-se a ação herbívora
destes animais na vegetação. Além disso, percebe-se que a maior contribuição desta
fração está associada ao surgimento de novas folhas e, consequentemente, menor
deposição foliar.

699 4.3. Deposição de serapilheira e condições ambientais

700 A deposição de serapilheira responde a sazonalidade das condições 701 microclimáticas do ambiente, a partir das respostas fenológicas como senescência foliar, 702 surgimento de novas folhas, floração e frutificação (Lawrence, 2005; Zhou et al., 2015; 703 Jia et al., 2020; Liu et al., 2024). Além disso, a influência das condições climáticas é 704 dependente do componente da serapilheira (Sun et al., 2021). Assim, durante os períodos 705 em que há diminuição da disponibilidade de água no solo em função da ausência de 706 eventos de chuva, ocorre o aumento dos níveis de ácido abscísico nas folhas provocando 707 o fechamento estomático, que irá resultar na queda deste material em maior pela ação do 708 etileno (Liu et al., 2024), em espécies como C. pyramidale, C. blanchetianus, A. 709 pyrifolium e C. leptophloeos. A deposição das folhas foi negativamente correlacionada 710 com a radiação líquida (Rn), temperatura do dossel (Td), temperatura do solo (Tsolo), 711 umidade volumétrica do solo (000) e a radiação solar global (Rg) e positivamente 712 correlacionada com a velocidade do vento (WS) (Tabela 5).

713 Como esperado, a maior deposição do tecido foliar ocorre durante a estação seca, 714 quando as condições são limitantes para os processos metabólicos das plantas, 715 principalmente, a fotossíntese; com maiores picos observados entre os meses de maio a 716 julho. Nestes meses, a Caatinga encontra-se em transição entre as estações de inverno e 717 outono, quando os níveis de incidência de radiação são menores e, consequentemente, há 718 redução para Rn, Td e Tsolo (Queiroz et al., 2019). Em outros estudos na Caatinga, a 719 deposição foliar foi melhor explicada pela chuva e evapotranspiração (Araújo et al., 720 2020). Em seu trabalho de revisão, Zhang et al. (2014) afirmaram que a chuva e a radiação 721 solar são fatores limitantes na regulação da produção de serapilheira em florestas 722 tropicais. De modo que, a deposição de folhas senescentes e o não surgimento de folhas 723 novas ocorrem quando há abundância na incidência de radiação solar (Queiroz et al., 724 2019). Por outro lado, a velocidade do vento (VV) promove aumento na queda das folhas, 725 além de diminuir a umidade relativa do ar e aumentar a dessecação do solo (Morffi-726 Mestre et al., 2020; Marod et al., 2023; Liu et al., 2024). Além disso, a velocidade do vento pode promover a queda de folhas não maduras fisiologicamente (Wang et al., 2013;
Zhou et al., 2015; Liu et al., 2024). Em outras florestas secas, a deposição de folhas
também foi positivamente correlacionada com a velocidade do vento (Morffi-Mestre et
al., 2020).

731 A fração de galhos e estruturas reprodutivas foram negativamente correlacionadas 732 com a VV, Tsolo e positivamente com a θ solo (Tabela 6). A fração da serapilheira de 733 galhos e estruturas reprodutivas não apresentaram um padrão claro, com picos de queda 734 durante a primavera, verão e inverno. Percebe-se que os meses com maiores quedas destas 735 frações coincide com os meses de menor queda foliar e com maiores eventos de chuva 736 que culminam em maior disponibilidade de água no ambiente o que explica o aumento 737 para a umidade volumétrica do solo e redução na temperatura do solo e velocidade do 738 vento. Tais resultados demostram que durante os meses em que há presença de folhas, 739 com o dossel da vegetação formado, há maior queda de estruturas reprodutivas e galhos 740 (Figura 4 e 5). Além disso, o período de floração e frutificação das espécies da Caatinga 741 ocorre após os primeiros eventos de chuva (Andrade et al., 2008; Parente et al., 2012; 742 Queiroz et al., 2019), como estratégia de proliferação da espécie. Qiu et al. (2023) também 743 observaram que a deposição das frações de galhos e folhas foram positivamente 744 correlacionadas com a velocidade do vento.

745 4.4. Taxa de decomposição e retorno de nutrientes da serapilheira

746 Dentro dos ecossistemas florestais, a decomposição da serapilheira atua na 747 liberação de nutrientes, a qual pode ser influenciada por fatores bióticos e abióticos, além 748 de fornecer energia para os organismos heterotróficos e ser extremamente importante para 749 a recuperação de ambientes degradados (Silva et al., 2018; Queiroz et al., 2019; Zhu et 750 al., 2022). Os valores de decomposição k variaram de 0,14 a 3,99 neste estudo (Tabela 751 8), permanecendo dentro do esperado para florestas tropicais (0,3 a 4,0). Além disso, o 752 tempo médio de residência desse material foi de 0,62 anos. Este valor foi inferior a outros 753 estudos realizados na Caatinga (3,0) (Queiroz et al., 2019), sugerindo que neste estudo a 754 decomposição ocorreu de forma mais rápida (Zhu et al., 2021) e tempo de 755 desaparecimento de 50% e 95% para a serapilheira de 0,43 e 1,87 anos, respectivamente. 756 O k médio foi de 1,60 para a Caatinga, sendo maior ao observado por Queiroz et al. 757 (2019), que foi de 0,33, indicando que a decomposição ocorreu de forma relativamente 758 alta. Sabe-se que o aumento da atividade microbiana está associado as condições 759 microambientais adequadas, como por exemplo, maior disponibilidade de água no solo e

nutrientes, que são fatores que tendem a aumentar o processo de decomposição da matéria
orgânica presente no solo (Zhu et al., 2022).

762 Além disso, durante os cinco anos avaliados choveu em média 601 mm ano⁻¹, 763 cerca de 112 mm acima da normal climatológica para a região (489 mm ano⁻¹). Em outros 764 tipos florestais a taxa de decomposição é superior a Caatinga, a exemplo de Zhu et al. 765 (2019) avaliando florestas tropicais primárias, secundárias, antropogênicas e de 766 monocultura de seringueira na China. Eles observaram uma taxa de decomposição que 767 variou de 3,1 a 7,3, com média de 4,8. Desta forma, sugere-se que o clima é um fator 768 determinante, o qual regula o processo de decomposição, de modo que, a chuva, 769 particularmente, pode promover o aumento da decomposição em florestas tropicais 770 (Latter et al., 1997; Zhu et al., 2019). Além disso, dentre os anos avaliados, 2020 foi o 771 que apresentou maior taxa de decomposição (3,99) com uma chuva de 658,2 mm ano⁻¹, 772 temperatura média do ar e do solo de 26 °C e 30 °C, respectivamente.

773 As maiores taxas de decomposição durante a estação chuvosa podem ser 774 associadas aos efeitos combinados no aumento das condições ambientais (i.e., chuva, 775 temperatura do ar e umidade relativa) (Pandey et al., 2007), em contrapartida a menor 776 taxa de decomposição foi observada em 2018 (0,14), o que culminou com a menor chuva 777 (427,9 mm ano⁻¹), seguida por 2022 com 0,19. Embora 2022 tenha apresentado maior 778 chuva (755,4 mm), a temperatura média do ar (25,5 °C) e do solo (29,2 °C) foram menores 779 em relação aos anos anteriores. Nestas condições, a baixa temperatura do ar diminui o 780 processo de decomposição da serapilheira em virtude do retardo na atividade dos 781 microrganismos presentes no solo (Pandey et al., 2007).

782 4.5. Eficiência do uso e retorno de nutrientes

783 A entrada de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ocorrer a partir da 784 deposição da serapilheira, da queda e do fluxo do tronco; no entanto, a maior quantidade 785 de nutrientes entra via serapilheira com transferência significativa para o carbono e 786 elementos minerais (Hansen et al., 2009; Sayer, 2006; Zhu et al., 2022). Contudo, o 787 retorno destes nutrientes a partir da serapilheira dependem da quantidade e qualidade 788 deste material (Hansen et al., 2009; Zhou et al., 2016). As concentrações de nutriente 789 esteve de acordo com as flutuações na deposição de serapilheira, com maiores 790 concentrações registradas em 2022, principalmente para os macronutrientes de Ca, N e 791 K. No entanto, os valores foram inferiores aos reportados em outros estudos realizados na Caatinga (Queiroz et al., 2019), em diferentes estágios de sucessão (Moura et al.,
2016) e em florestas tropicais de várzea (Dent et al., 2006). Este comportamento pode
ser associado à baixa produção de serapilheira observada na Caatinga e,
consequentemente, a baixa concentração de nutrientes (Queiroz et al., 2019).

796 De modo semelhante, o maior retorno de nutrientes coincidiu com a maior 797 deposição anual de serapilheira (Tang et al., 2010; Zhu et al., 2021, 2022), 798 principalmente para o Ca, K e N. O Ca foi o macronutriente que apresentou maior 799 retorno (56,55 kg ha⁻¹ ano⁻¹) da serapilheira para o solo, o que pode ser associado a sua 800 maior concentração tanto no material presente no solo, como também na serapilheira 801 suspensa, além do Ca ser um macronutriente estrutural presente na lamela média das 802 células vegetais (Zhu et al., 2022). Por outro lado, a eficiência no uso do nutriente é 803 dependente do elemento e do tipo de vegetação (Zhu et al., 2021; Tang et al., 2010) e, 804 espera-se que esta seja maior em vegetações situadas em solos escassos em nutrientes 805 (Kotowska et al., 2015; Zhu et al., 2022). A maior EUN foi observada para P, Mg e K. 806 Em outros tipos de formação florestal (i.e., floresta seca e secundária) resultados 807 semelhantes foram observados, com maior EUN para os mesmos nutrientes (Tang et al., 808 2010). A eficiência de uso de nutrientes para o P neste estudo, foi relativamente alta, 809 sugerindo que o crescimento da vegetação é limitado pela escassez de P (Kotowska et 810 al., 2015; Zhu et al., 2022) (Kotowska et al., 2016; Zhu et a., 2022). Para a Caatinga, 811 Alves et al. (2017) constataram maior EUN para o S (enxofre), seguido por Mg, P, K, 812 Ca e N, diferindo dos resultados encontrados neste estudo.

813

5. CONCLUSÕES

814 Neste estudo, avaliamos a sazonalidade da deposição da serapilheira, sua 815 decomposição e a relação com as variáveis meteorológicas. A produção de serapilheira 816 exibiu um padrão sazonal unimodal, com maior deposição durante a estação seca e para 817 os anos em que houve maior chuva acumulada, com maiores contribuições do tecido 818 foliar que foi negativamente afetado pela radiação solar global, radiação líquida, 819 temperatura do dossel e temperatura do solo, e positivamente pela velocidade do vento. 820 Os picos de produção coincidiram com a transição do inverno para o outono, quando há 821 diminuição dos eventos de chuva e, consequentemente, da umidade do solo. A produção 822 de serapilheira pelas espécies não é de caráter homogêneo, visto que a deciduidade foliar 823 variou em função da espécie, no entanto, A. pyrifolium, C. quercifolius, C. leptophloeos 824 e C. blanchetianus foram as espécies com maior deposição de serapilheira na Caatinga.

825 Além disso, a dinâmica de decomposição está altamente associada as condições 826 climáticas e disponibilidade de água no solo, de modo que, as maiores taxas de 827 decomposição foram observadas em anos com maior chuva e temperatura do ar. Outro 828 fator, é que a dinâmica de retorno de nutrientes é equivalente a produção de serapilheira, 829 com maior retorno de nutrientes para Ca, K e N e maior EUN para os macronutrientes P, 830 Mg e K. Assim, a produção de serapilheira atua no funcionamento dos ecossistemas 831 secos, como fonte de nutrientes que serão mineralizados e posteriormente transferidos 832 para o solo, além de atuar como barreira física protegendo o solo dos impactos 833 ocasionados pelas condições ambientais (i.e., chuva, radiação solar).

834 6

6. REFERÊNCIAS

Alberton, B., Martin, T. C. M., Da Rocha, H. R., Richardson, A. D., Moura, M. S. B.,

836Torres, R. S., & Morellato, L. P. C. (2023). Relationship between tropical leaf

837 phenology and ecosystem productivity using phenocameras. *Frontiers in*

838 Environmental Science, 11, 1223219.

839 https://doi.org/10.3389/FENVS.2023.1223219/BIBTEX

Alberton, B., Torres, R. da S., Silva, T. S. F., da Rocha, H. R., Moura, M. S. B., &
Morellato, L. P. C. (2019). Leafing Patterns and Drivers across Seasonally Dry
Tropical Communities. *Remote Sensing 2019, Vol. 11, Page 2267, 11*(19), 2267.

843 https://doi.org/10.3390/RS11192267

Alves, A. R., Ferreira, R. L. C., Da Silva, J. A. A., Dubeux Júnior, J. C. B., Osajima, J.
A., & De Holanda, A. C. (2017). CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA

- 846 BIOMASSA E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM ESPÉCIES DA CAATINGA.
- 847 *Ciência Florestal*, 27(2), 377–390. https://doi.org/10.5902/1980509827686

Alves, G. S., Mayra, G. F., Luana Régia Martins, A. A., da SSousa, J., & Silva Souto, J.

849 (2014). Contribuição do Croton blanchetianus Baill na produção de serrapilheira e

850 ciclagem de nutrientes em área do Seridó da Paraíba Contribution Croton

851 blanchetianus Baill in litterfall and nutrient cycling in the area Seridó of Paraíba.

- 852 *Revista Verde*, *3*, 50–57.
- Amorim, I. L. de, Sampaio, E. V. de S. B., & Araújo, E. de L. (2009). Fenologia de
 espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. *Revista Árvore*, *33*(3), 491–499.
 https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300011
- Amorim, L. B., Salcedo, I. H., Pareyn, F. G. C., & Alvarez, I. A. (2014). Assessment of

- 857 nutrient returns in a tropical dry forest after clear-cut without burning. *Nutrient*
- 858 *Cycling in Agroecosystems*, *100*(3), 333–343. https://doi.org/10.1007/S10705-014-
- 859 9646-5/TABLES/5
- Andrade, R. L. de, Souto, S., Souto, C., & Bezerra, M. (2008). Deposição de
 serrapilheira em área de caatinga na RPPN" fazenda tamanduá", Santa TerezinhaPB. *Revista Caatinga*, 21(2), 223–230.
- 863 https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117611028.pdf
- Arato, H. D., Martins, S. V., & Ferrari, S. H. de S. (2003). Produção e decomposição de
 serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área
 degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*, 27(5), 715–721.
- 867 https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500014
- Araújo, V. F. P., Barbosa, M. R. V., Araújo, J. P., & Vasconcellos, A. (2019a). Spatialtemporal variation in litterfall in seasonally dry tropical forests in Northeastern
 Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 80(2), 273–284. https://doi.org/10.1590/1519-
- 8716984.192113
- Araújo, V. F. P., Barbosa, M. R. V., Araújo, J. P., & Vasconcellos, A. (2019b). Spatialtemporal variation in litterfall in seasonally dry tropical forests in Northeastern
 Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 80(2), 273–284. https://doi.org/10.1590/15196984.192113
- Asigbaase, M., Dawoe, E., Lomax, B. H., & Sjogersten, S. (2021). Temporal changes in
 litterfall and potential nutrient return in cocoa agroforestry systems under organic
 and conventional management, Ghana. *Heliyon*, 7(10), e08051.
- 879 https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E08051
- Barros, I. O., & Soares, A. A. (2013). Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro
 e velame da caatinga brasileira. *Revista Ciência Agronômica*, 44(1), 192–198.
 https://doi.org/10.1590/s1806-66902013000100024
- 883 Becker, J., Pabst, H., Mnyonga, J., & Kuzyakov, Y. (2015). Annual litterfall dynamics
- and nutrient deposition depending on elevation and land use at Mt. Kilimanjaro. *Biogeosciences*, *12*(19), 5635–5646. https://doi.org/10.5194/BG-12-5635-2015
- 886 Bezerra-Gusmão, M. A., Barbosa, J. R. C., Barbosa, M. R. de V., Bandeira, A. G., &
- 887 Sampaio, E. V. S. B. (2011). Are nests of Constrictotermes cyphergaster (Isoptera,

- 888 Termitidae) important in the C cycle in the driest area of semiarid caatinga in
- 889 northeast Brazil? *Applied Soil Ecology*, 47(1), 1–5.
- 890 https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2010.11.003
- Brito, N. D. da S., Medeiros, M. J. dos S., Souza, E. S. de, & Lima, A. L. A. de. (2022).
 Drought response strategies for deciduous species in the semiarid Caatinga derived
- 893 from the interdependence of anatomical, phenological and bio-hydraulic attributes.
- 894 Flora, 288, 152009. https://doi.org/10.1016/J.FLORA.2022.152009
- 895 Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L. E. O. C., Bonal, D.,
- 896 Châtelet, P., Silva-Espejo, J. E., Goret, J. Y., Von Hildebrand, P., Jiménez, E.,
- 897 Patiño, S., Peñuela, M. C., Phillips, O. L., Stevenson, P., & Malhi, Y. (2010).
- 898 Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America.
- 899 *Biogeosciences*, 7(1), 43–55. https://doi.org/10.5194/BG-7-43-2010
- 900 Correia, G. G. de S., Martins, S. V., Neto, A. M., & Silva, K. de A. (2016). ESTOQUE
- 901 DE SERAPILHEIRA EM FLORESTA EM RESTAURAÇÃO E EM FLORESTA
 902 ATLÂNTICA DE TABULEIRO NO SUDESTE BRASILEIRO¹. *Revista Árvore*,

903 *40*(1), 13–20. https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100002

- Dent, D. H., Bagchi, R., Robinson, D., Majalap-Lee, N., & Burslem, D. F. R. P. (2006).
 Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of
- soil nutrient supply in a lowland tropical rain forest. *Plant and Soil*, 288(1–2),

907 197–215. https://doi.org/10.1007/S11104-006-9108-1/TABLES/7

- 908 Drumond, M. A., Salviano, L. M. C., Cavalcanti, N. B., & Pereira, L. G. R. (2007).
- 909 Produção, distribuição da biomassa e composição bromatológica da parte aérea da
- 910 faveleira. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2(4), 308–310.
- 911 https://doi.org/10.5039/agraria.v2i4a1852
- 912 González-Rodríguez, H., Domínguez-Gómez, T. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.
- 913 V., Ramírez-Lozano, R. G., Pando-Moreno, M., & Fernández, C. J. (2011).
- 914 Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at
- 915 Northeastern Mexico. *Plant Ecology*, 212(10), 1747–1757.
- 916 https://doi.org/10.1007/S11258-011-9952-9/FIGURES/6
- 917 Gutman, G., & Ignatov, A. (1998). The derivation of the green vegetation fraction from
- 918 NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models.
- 919 International Journal of Remote Sensing, 19(8), 1533–1543.
- 921 Hansen, K., Vesterdal, L., Schmidt, I. K., Gundersen, P., Sevel, L., Bastrup-Birk, A.,
- Pedersen, L. B., & Bille-Hansen, J. (2009). Litterfall and nutrient return in five tree
 species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management*,
- 924 257(10), 2133–2144. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.02.021
- Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., da Silva, M. V., Dos Santos, A., da
- 926 Silva, J. L. B., Pandorfi, H., de Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. de C.,
- 927 Teodoro, P. E., de Lima, J. L. M. P., da Silva Junior, C. A., de Souza, L. S. B.,
- 928 Silva, E. A., & da Silva, T. G. F. (2022). Using Remote Sensing to Quantify the
- Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga
- Biome of Northeast Brazilian. *Remote Sensing*, 14(8), 1911.
- 931 https://doi.org/10.3390/RS14081911/S1
- Jardim, A. M. da R. F., Morais, J. E. F. de, Souza, L. S. B. de, Marin, F. R., Moura, M.
- S. B. de, Morellato, L. P. C., Montenegro, A. A. de A., Ometto, J. P. H. B., de
 Lima, J. L. M. P., Dubeux Júnior, J. C. B., & Silva, T. G. F. da. (2023). Sink or
 carbon source? how the Opuntia cactus agroecosystem interacts in the use of
 carbon, nutrients and radiation in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 625, 130121. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2023.130121
- Jia, B., Sun, H., Yu, W., & Zhou, G. (2020). Quantifying the interannual litterfall
 variations in China's forest ecosystems. *Journal of Plant Ecology*, *13*(3), 266–272.
 https://doi.org/10.1093/JPE/RTAA010
- 941 Kotowska, M. M., Leuschner, C., Triadiati, T., & Hertel, D. (2015). Conversion of
- tropical lowland forest reduces nutrient return through litterfall, and alters nutrient
 use efficiency and seasonality of net primary production. *Oecologia 2015 180:2*,

944 180(2), 601–618. https://doi.org/10.1007/S00442-015-3481-5

- Latter, P. M., Howson, G., Howard, D. M., & Scott, W. A. (1997). Long-term study of
 litter decomposition on a Pennine peat bog: Which regression? *Oecologia*, *113*(1),
 947 94–103. https://doi.org/10.1007/S004420050357/METRICS
- 948 Lawrence, D. (2005). Regional-Scale Variation in Litter Production and Seasonality in
- 949 Tropical Dry Forests of Southern Mexico1. *Biotropica*, *37*(4), 561–570.
- 950 https://doi.org/10.1111/J.1744-7429.2005.00073.X

- Leite, A. V. de L., & Machado, I. C. (2010). Reproductive biology of woody species in
 Caatinga, a dry forest of northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*,
- 953 74(11), 1374–1380. https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2010.05.029
- Liao, J. H., Wang, H. H., Tsai, C. C., & Hseu, Z. Y. (2006). Litter production,
- 955 decomposition and nutrient return of uplifted coral reef tropical forest. *Forest*
- 956 *Ecology and Management*, 235(1–3), 174–185.
- 957 https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2006.08.010
- Lima, André Luiz Alves, de Sá Barretto Sampaio, E. V., de Castro, C. C., Rodal, M. J.
- 959 N., Antonino, A. C. D., & de Melo, A. L. (2012). Do the phenology and functional
- stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in
- 961 the semiarid region of Brazil? *Trees Structure and Function*, 26(5), 1605–1616.
- 962 https://doi.org/10.1007/S00468-012-0735-2
- Lima, A. L. A., & Rodal, M. J. N. (2010). Phenology and wood density of plants
 growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Journal of Arid*
- 965 *Environments*, 74(11), 1363–1373.
- 966 https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2010.05.009
- 967 Liu, X., Feng, Y., Zhao, X., Cui, Z., Liu, P., Chen, X., Zhang, Q., & Liu, J. (2024).
- 968 Climatic drivers of litterfall production and its components in two subtropical
- 969 forests in South China: A 14-year observation. *Agricultural and Forest*
- 970 *Meteorology*, *344*, 109798. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2023.109798
- 971 Lopes, D. C., Steidle Neto, A. J., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Zolnier, S., & Souza,
- 972 C. A. A. (2021). Simulating Rainfall Interception by Caatinga Vegetation Using
- 973 the Gash Model Parametrized on Daily and Seasonal Bases. *Water 2021, Vol. 13,*
- 974 *Page 2494, 13*(18), 2494. https://doi.org/10.3390/W13182494
- 975 Lopes, D. de C., Steidle Neto, A. J., Queiroz, M. G. de, Souza, L. S. B. de, Zolnier, S.,
- 876 & Silva, T. G. F. da. (2020). Sparse Gash model applied to seasonal dry tropical
 977 forest. *Journal of Hydrology*, *590*, 125497.
- 978 https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125497
- 279 Lopes, M. C. A., Araújo, V. F. P., & Vasconcellos, A. (2015). The effects of rainfall
- 980 and vegetation on litterfall production in the semiarid region of northeastern Brazil.
- 981 Brazilian Journal of Biology, 75(3), 703–708. https://doi.org/10.1590/1519-
- 982 6984.21613

983	Loupassaki, M. H., Chartzoulakis, K. S., Digalaki, N. B., & Androulakis, I. I. (2002).
984	Effects of salt stress on concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium,
985	magnesium, and sodium in leaves, shoots, and roots of six olive cultivars. Journal
986	of Plant Nutrition, 25(11), 2457-2482. https://doi.org/10.1081/PLN-120014707
987	Marod, D., Nakashizuka, T., Saitoh, T., Hirai, K., Thinkampheang, S., Asanok, L.,
988	Phumphuang, W., Danrad, N., & Pattanakiat, S. (2023). Long Term Seasonal
989	Variability on Litterfall in Tropical Dry Forests, Western Thailand. Forests,
990	14(10), 2107. https://doi.org/10.3390/F14102107/S1
991	Matos, S. S. de, Melo, A. L. de, & Santos-Silva, J. (2019). Caesalpinioideae e
992	Cercidoideae (Leguminosae) no Parque Estadual Mata da Pimenteira, Semiárido de
993	Pernambuco, Brasil. Rodriguésia, 70, e01842017. https://doi.org/10.1590/2175-
994	7860201970017
995	Menezes, R. S. C., Sampaio, E. V. S. B., Giongo, V., & Pérez-Marin, A. M. (2012).
996	Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. Brazilian
997	Journal of Biology, 72(3 SUPPL.), 643-653. https://doi.org/10.1590/S1519-
998	69842012000400004
999	Morffi-Mestre, H., Ángeles-Pérez, G., Powers, J. S., Andrade, J. L., Ruiz, A. H. H.,
1000	May-Pat, F., Chi-May, F., & Dupuy, J. M. (2020). Multiple Factors Influence
1001	Seasonal and Interannual Litterfall Production in a Tropical Dry Forest in Mexico.
1002	Forests 2020, Vol. 11, Page 1241, 11(12), 1241.
1003	https://doi.org/10.3390/F11121241
1004	Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. Introduction to Linear Regression
1005	Analysis (Wiley, 2021).
1006	Oliveira, U., Megali Amado, A., & Vasconcellos, A. (2019). Aerial plant biomass and
1007	litterfall as local determinants of leaf litter and fine root decomposition in a
1008	semiarid ecosystem of the Neotropical region. Arid Land Research and
1009	Management, 33(4), 375-387. https://doi.org/10.1080/15324982.2019.1573387
1010	Olson, J. S. (1963). Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in
1011	Ecological Systems. Ecology, 44(2), 322-331. https://doi.org/10.2307/1932179
1012	Pandey, R. R., Sharma, G., Tripathi, S. K., & Singh, A. K. (2007). Litterfall, litter
1013	decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and

1014 managed plantation in northeastern India. Forest Ecology and Management, 1015 240(1-3), 96-104. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2006.12.013 1016 Parente, H. N., de Andrade, A. P., da Silva, D. S., Santos, E. M., Araujo, K. D., & 1017 Parente, M. de O. M. (2012). Influência do pastejo e da chuva sobre a fenologia de quatro espécies em área de caatinga. Revista Árvore, 36(3), 411–421. 1018 1019 https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300003 1020 Pérez-Suárez, M., Arredondo-Moreno, J. T., Huber-Sannwald, E., & Vargas-Hernández, 1021 J. J. (2009). Production and quality of senesced and green litterfall in a pine-oak 1022 forest in central-northwest Mexico. Forest Ecology and Management, 258(7), 1023 1307-1315. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.06.031 1024 Qiu, L., Xiao, T., Bai, T., Mo, X., Huang, J., Deng, W., & Liu, Y. (2023). Seasonal 1025 Dynamics and Influencing Factors of Litterfall Production and Carbon Input in 1026 Typical Forest Community Types in Lushan Mountain, China. Forests 2023, Vol. 1027 14, Page 341, 14(2), 341. https://doi.org/10.3390/F14020341 1028 Queiroz, M. G. de, da Silva, T. G. F., de Souza, C. A. A., da Rosa Ferraz Jardim, A. M., 1029 do Nascimento Araújo, G., de Souza, L. S. B., & de Moura, M. S. B. (2020). 1030 Composition of Caatinga Species Under Anthropic Disturbance and Its Correlation 1031 With Rainfall Partitioning. *Floresta e Ambiente*, 28(1), e20190044. 1032 https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0044 1033 Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., Zolnier, S., de Souza, C. A. A., de Souza, L. S. B., 1034 do Nascimento Araújo, G., Jardim, A. M. da R. F., & de Moura, M. S. B. (2020). 1035 Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. Ecohydrology & 1036 Hydrobiology, 20(2), 230–242. https://doi.org/10.1016/J.ECOHYD.2020.02.001 1037 Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., Zolnier, S., de Souza, C. A. A., de Souza, L. S. B., 1038 Neto, S., de Araújo, G. G. L., & Ferreira, W. P. M. (2019). Seasonal patterns of 1039 deposition litterfall in a seasonal dry tropical forest. Agricultural and Forest 1040 Meteorology, 279, 107712. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.107712 1041 Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., Zolnier, S., Jardim, A. M. da R. F., de Souza, C. A. 1042 A., Araújo Júnior, G. do N., de Morais, J. E. F., & de Souza, L. S. B. (2020). 1043 Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land 1044 use in the semi-arid region of Brazil. CATENA, 188, 104457. 1045 https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2020.104457

- Rai, A., Singh, A. K., Ghosal, N., & Singh, N. (2016). Understanding the effectiveness
 of litter from tropical dry forests for the restoration of degraded lands. *Ecological Engineering*, 93, 76–81. https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2016.05.014
- Sayer, E. J. (2006). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in
 the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, *81*(1), 1–31.
 https://doi.org/10.1017/S1464793105006846
- Shen, G., Chen, D., Wu, Y., Liu, L., & Liu, C. (2019). Spatial patterns and estimates of
 global forest litterfall. *Ecosphere*, *10*(2), e02587.
 https://doi.org/10.1002/ECS2.2587
- Silva, W. B., Périco, E., Dalzochio, M. S., Santos, M., & Cajaiba, R. L. (2018). Are
 litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the
 neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 429, 189–197. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2018.07.020
- Silva, J. L. S. E., Cruz-Neto, O., Peres, C. A., Tabarelli, M., & Lopes, A. V. (2019).
 Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants
 with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. *PLoS ONE*, *14*(5), 1–25. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217028
- Silva, J. O., Espírito-Santo, M. M., Santos, J. C., & Rodrigues, P. M. S. (2020). Does
 leaf flushing in the dry season affect leaf traits and herbivory in a tropical dry
 forest? *Science of Nature*, *107*(6), 1–10. https://doi.org/10.1007/S00114-02001711-Z
- 1067 Song, W., Mu, X., Ruan, G., Gao, Z., Li, L., & Yan, G. (2017). Estimating fractional
 1068 vegetation cover and the vegetation index of bare soil and highly dense vegetation
 1069 with a physically based method. *International Journal of Applied Earth*
- 1070 *Observation and Geoinformation*, 58, 168–176.
- 1071 https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.01.015
- 1072 Song, W., Zhao, T., Mu, X., Zhong, B., Zhao, J., Yan, G., Wang, L., & Niu, Z. (2022).
- 1073 Using a Vegetation Index-Based Mixture Model to Estimate Fractional Vegetation
- 1074 Cover Products by Jointly Using Multiple Satellite Data: Method and Feasibility
- 1075 Analysis. In Forests (Vol. 13, Issue 5). https://doi.org/10.3390/f13050691
- 1076 Souza, R. C. de, Pereira, M. G., Machado, D. L., Toledo, L. de O., Menezes, C. E. G.,

1077	Santos, G. L. dos, Coutinho, F. S., Guareschi, R. F., & Mendonça, V. M. M.
1078	(2023). Nutrient cycling aspects as possible ecosystem functional indicators of
1079	successional stage in Semideciduous seasonal forest, Rio de Janeiro state, Brazil.
1080	Acta Oecologica, 121, 103951. https://doi.org/10.1016/J.ACTAO.2023.103951
1081	Souza, Saimo R., Veloso, M. D. M., Espírito-Santo, M. M., Silva, J. O., Sánchez-
1082	Azofeifa, A., Souza e Brito, B. G., & Fernandes, G. W. (2019). Litterfall dynamics
1083	along a successional gradient in a Brazilian tropical dry forest. Forest Ecosystems
1084	2019 6:1, 6(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/S40663-019-0194-Y
1085	Sun, X., Liu, F., Zhang, Q., Li, Y., Zhang, L., Wang, J., Zhang, H., Wang, C., & Wang,
1086	X. (2021). Biotic and climatic controls on the interannual variation in canopy
1087	litterfall of a deciduous broad-leaved forest. Agricultural and Forest Meteorology,
1088	307, 108483. https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2021.108483
1089	Tang, J. W., Cao, M., Zhang, J. H., & Li, M. H. (2010). Litterfall production,
1090	decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in
1091	Xishuangbanna, SW China: A 10-year study. Plant and Soil, 335(1), 271–288.
1092	https://doi.org/10.1007/S11104-010-0414-2
1093	Tesfay, F., Kibret, K., Gebrekirstos, A., & Hadgu, K. M. (2020). Litterfall production
1094	and associated carbon and nitrogen flux along exclosure chronosequence at Kewet
1095	district, central lowland of Ethiopia. Environmental Systems Research 2020 9:1,
1096	9(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/S40068-020-00172-7
1097	Vital, A. R. T., Guerrini, I. A., Franken, W. K., & Fonseca, R. C. B. (2004). Produção
1098	de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual
1099	em zona ripária. Revista Árvore, 28(6), 793–800. https://doi.org/10.1590/S0100-
1100	67622004000600004
1101	Vitousek, P. (1982). Nutrient Cycling and Nutrient Use Efficiency.
1102	Https://Doi.Org/10.1086/283931, 119(4), 553-572. https://doi.org/10.1086/283931
1103	Wang, H. C., Wang, S. F., Lin, K. C., Lee Shaner, P. J., & Lin, T. C. (2013). Litterfall
1104	and Element Fluxes in a Natural Hardwood Forest and a Chinese-fir Plantation
1105	Experiencing Frequent Typhoon Disturbance in Central Taiwan. Biotropica, 45(5),
1106	541-548. https://doi.org/10.1111/BTP.12048

1107 Williams-Linera, G., Bonilla-Moheno, M., López-Barrera, F., & Tolome, J. (2021).

- 1108Litterfall, vegetation structure and tree composition as indicators of functional1109recovery in passive and active tropical cloud forest restoration. Forest Ecology and
- 1110 Management, 493, 119260. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2021.119260
- 1111 Wu, J., Su, Y., Chen, X., Liu, L., Yang, X., Gong, F., Zhang, H., Xiong, X., & Zhang,
- 1112 D. (2021). Leaf shedding of Pan-Asian tropical evergreen forests depends on the
- 1113 synchrony of seasonal variations of rainfall and incoming solar radiation.
- 1114 Agricultural and Forest Meteorology, 311, 108691.
- 1115 https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2021.108691
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W., & Liu, S. (2014). Seasonal patterns of litterfall in
 forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, 20, 240–247.
- 1118 https://doi.org/10.1016/J.ECOCOM.2014.01.003
- 1119 Zhang, S., Chen, H., Fu, Y., Niu, H., Yang, Y., & Zhang, B. (2019). Fractional
- 1120 Vegetation Cover Estimation of Different Vegetation Types in the Qaidam Basin.
 1121 In *Sustainability* (Vol. 11, Issue 3). https://doi.org/10.3390/su11030864
- Zhou, J., Lang, X., Du, B., Zhang, H., Liu, H., Zhang, Y., & Shang, L. (2016). Litterfall
 and nutrient return in moist evergreen broad-leaved primary forest and mixed
 subtropical secondary deciduous broad-leaved forest in China. *European Journal of Forest Research*, *135*(1), 77–86. https://doi.org/10.1007/S10342-015-0918-7
- 1126 Zhou, L., Shalom, A. D. D., Wu, P., Li, S., Jia, Y., & Ma, X. (2015). Litterfall
- 1127 production and nutrient return in different-aged Chinese fir (Cunninghamia
- 1128 lanceolata) plantations in South China. Journal of Forestry Research, 26(1), 79–
- 1129 89. https://doi.org/10.1007/S11676-014-0011-Y
- 1130 Zhu, X., Jiang, X., Kumar Singh, A., Zeng, H., Chen, C., Lu, E., & Liu, W. (2022).
- 1131 Reduced litterfall and decomposition alters nutrient cycling following conversion
- 1132 of tropical natural forests to rubber plantations. *Ecological Indicators*, 138,
- 1133 108819. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.108819
- Zhu, X., Liu, W., Chen, H., Deng, Y., Chen, C., & Zeng, H. (2019). Effects of forest
 transition on litterfall, standing litter and related nutrient returns: Implications for
- 1136 forest management in tropical China. *Geoderma*, *333*, 123–134.
- 1137 https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.07.023
- 1138 Zhu, X., Zou, X., Lu, E., Deng, Y., Luo, Y., Chen, H., & Liu, W. (2021). Litterfall

1139

biomass and nutrient cycling in karst and nearby non-karst forests in tropical

- 1140 China: A 10-year comparison. *Science of The Total Environment*, 758, 143619.
- 1141 https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143619
- 1142
- 1143
- 111

11447. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1145 Neste estudo, buscamos compreender quais as implicações da mudança no uso da 1146 terra sob o balanço de energia, seus componentes e a evapotranspiração, além da dinâmica 1147 de C e nutrientes em diferentes paisagens no semiárido brasileiro e as perdas inerentes da 1148 serapilheira e a ciclagem de nutrientes na Caatinga. Assim, observamos que a área 1149 desmatada apresentou menor R_n em função das características da superfície; de modo que 1150 maior parte da radiação líquida foi utilizada para o aquecimento do ar, pelo fluxo de calor 1151 sensível. A evapotranspiração foi menor durante a estação seca, em especial na área 1152 desmatada, sendo maior durante a estação chuvosa na área de Caatinga em regeneração. 1153 Além disso, os maiores acúmulos de C e nutrientes foram registrados durante a estação 1154 chuvosa, principalmente em áreas cobertas com clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana com capacidade de armazenamento de 58,9 Mg C ha⁻¹ e 0,4 Mg P ha⁻¹ 1155 ¹, enquanto ambientes com vegetação nativa de Caatinga preservada armazenaram 25,1 1156 1157 Mg C ha⁻¹. Por outro lado, a produção de serapilheira é maior durante a estação seca, com 1158 maior produção em anos com maior disponibilidade hídrica. A produção média de serapilheira da Caatinga é de 864,69 kg MS ha⁻¹ com padrão de deposição sazonal 1159 1160 unimodal. A fração foliar é o componente que apresenta maior contribuição na 1161 serapilheira total, sendo negativamente correlacionada com a radiação solar global, 1162 radiação líquida, temperatura do dossel e temperatura do solo e positivamente com a 1163 velocidade do vento. Outro fator, é que a dinâmica de retorno de nutrientes é equivalente 1164 a produção de serapilheira, com maior retorno de nutrientes para Ca, K e N e maior EUN 1165 para os macronutrientes P, Mg e K. Assim, o presente estudo evidencia que a mudança 1166 no uso da terra promove alterações no balanço de energia, seus componentes, 1167 evapotranspiração e na dinâmica de C e nutrientes principalmente a partir da 1168 disponibilidade de água no ambiente, de modo que, a palma forrageira pode ser utilizada 1169 para remediação de áreas desmatadas a partir da sua capacidade de armazenar C; enquanto 1170 a remoção da vegetação nativa implica em perdas significativas de serapilheira que atua 1171 na proteção do solo dos impactos ocasionados pelas condições ambientais.