



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Departamento de Ciências Exatas e da Terra - *Campus II*
Programa de Pós-Graduação em
Modelagem e Simulação de Biosistema



A serrapilheira como sumidouro de carbono
no bioma Mata Atlântica (Bahia, Brasil)

Daniela Karine Carvalho Batista do Nascimento

Alagoinhas, Bahia (Brasil)
Julho/2024

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas

Daniela Karine Carvalho Batista do Nascimento

A serrapilheira como sumidouro de carbono no bioma Mata
Atlântica (Bahia, Brasil)

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Curso de Modelagem e Simulação de Biosistemas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Modelagem e Simulação de Biosistemas.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Linha de Pesquisa: Análise de Biosistemas

Orientadora: Dra. Maria Dolores Ribeiro Orge, UNEB.

Coorientador: Dr. Luís Carlos Soares Queires, UNEB.

Alagoinhas, Bahia (Brasil)

Julho/2024

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - DCET II *Campus II*

Profa. Dra. Adriana Marmorini Lima

Reitora

Profa. Dra. Tânia Hetkowsky

Pró-Reitora de Pesquisa e Ensino de Pós-Graduação

Sistema de Bibliotecas da UNEB
Biblioteca Carlos Drummond de Andrade – *Campus II*
Manoela Ribeiro Vieira
Bibliotecária – CRB 5/1768

N224s Nascimento, Daniela Karine Carvalho Batista do
A serrapilheira como sumidouro de carbono no bioma Mata Atlântica (Bahia, Brasil) / Daniela Karine Carvalho Batista do Nascimento – Alagoinhas, 2024
47f.: il

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Maria Dolores Ribeiro Orge
Coorientador: Dr. Luís Carlos Soares Queires

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas. Mestrado em Modelagem e Simulação de Biosistemas – Alagoinhas, 2024.


1. Decomposição 2. Invertebrados 3. Restauração 4. Conservação I. Orge, Maria Dolores Ribeiro. II. Queires, Luís Carlos Soares. III. Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Ciências Exatas e da Terra – Campus II. IV. TÍTULO

CDD – 595.796


FOLHA DE APROVAÇÃO
"A SERRAPILHEIRA COMO SUMIDOURO DE CARBONO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA
(BAHIA, BRASIL)"

DANIELA KARINE CARVALHO BATISTA DO NASCIMENTO


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas – PPGMSB, em 1 de julho de 2024, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Modelagem e Simulação de Biosistemas pela Universidade do Estado da Bahia, conforme avaliação da Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DOLORES RIBEIRO ORGE**
Data: 01/07/2024 16:07:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. MARIA DOLORES RIBEIRO ORGE
UNEB
Doutorado em Ecología y Medio Ambiente
Universidad Complutense de Madrid

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS BATISTA FIGUEREDO**
Data: 01/07/2024 16:33:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. MARCOS BATISTA FIGUEREDO
UNEB
Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Documento assinado digitalmente
 **ROMULO MENDONÇA MACHADO CARLEIAL**
Data: 01/07/2024 15:37:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. RÔMULO MENDONÇA MACHADO CARLEIAL
RBG-KEW
Doutorado em Zoology
University of Oxford

AGRADECIMENTOS

Depois de três anos de muito estudo, obstáculos, provações, alegrias, descobertas, parcerias, decepções e encantamentos, agradeço por todo esse processo de pesquisa, a Deus, meu Senhor pois sem Ele nada valeria a pena, e por ter a Sua permissão para realização de mais um sonho. É muito gratificante! A Ele toda Honra e toda Glória. Te agradeço, Senhor, por tudo, cada minuto da minha existência com a sua Presença constante. Sem Ti nada sou. Obrigada, meu Deus.

Preciso expressar todo agradecimento e amor aos meus pais, que desde criança me ensinaram a buscar o melhor caminho a trilhar, nunca esquecendo da honestidade e do meu valor como pessoa. A minha família, de pequeno tamanho, somos três, mais de um amor imensurável. Tom, um companheiro de todas as horas, assim como Laura que, como filha, me ensina muito. Juntos somos o transbordo da presença de Deus em nossas vidas.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Maria Dolores Ribeiro Orge, meu muito obrigada por ter-me aceitado como sua orientanda, dedicando horas de estudo para meu desenvolvimento profissional e pessoal, dando-me apoio nos momentos difíceis, levando-me a crescer como pesquisadora e pessoa; e Prof. Dr. Luís Carlos Soares Queires, que Deus o abençoe todos os dias da sua vida, um obrigada mais que especial. Obrigada por ter-se dedicado ao nosso trabalho, deixando muitas vezes seu momento pessoal para estar me ajudando e, nos momentos de dificuldades, sempre acertando uma saída para realização de dessa pesquisa.

Aos colegas Ueverton Santos Neves, Jordana Gabriela Barreto de Sá, Everton Vitor Almeida Monville e Joelma Araujo dos Santos pelos nossos momentos de coletas e triagem de amostras. Aos alunos do LabGerme, Herbário, Laboratório de Solos, Lab. de Química, disponíveis para ajuda com os equipamentos; ao jardineiro, Sr. Rennan, que cuida do jardim, local especial como espaço preferido para buscar equilíbrio e paz. E a todos da UNEB que sempre estão prontos para ajudar, funcionários de diversos setores, desde a portaria, vigilância, o pessoal da cozinha, limpeza, equipe do Colegiado, equipe da elétrica, enfim todos os amigos funcionários. À Universidade do Estado da Bahia por todo suporte e oportunidade para realização do meu trabalho de pesquisa. Ao PPGMSB e a todos os docentes que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico. Em especial ao Prof. Dr Marcos Batista Figueredo, pela dedicação em nos apoiar. A todos o meu super obrigado!

Ivanise, minha incentivadora, amiga e apoiadora, pessoa única e de muita importância neste momento de minha vida. Agradeço principalmente por ter acreditado em mim. A todos os meus amigos "Cetepianos" o meu muito obrigada por vivenciar comigo esse momento de pesquisa. Seja torcendo, apoiando ou até mesmo me ajudando na realização deste trabalho. Às minhas amigas Gilmara, uma irmã que a vida me trouxe, a Soraia e Cristina Vasconcelos, que sempre estiveram ao meu lado quando mais precisei. A Max pelas aulas extras de modelagem, a Binho pelo tempo disponível para as engenhocas usadas na pesquisa. A Josemar (Mar) por contribuir com sua experiência em laboratório para realização da pesquisa.

Alagoinhas, Bahia, Brasil. Julho/2024

Dedicada a Waldson Souza do Nascimento, passando por momentos difíceis pelo bem-estar da nossa família. E também ao meu Coorientador, Prof. Dr. Luís Carlos Soares Queires, por tanto conhecimento transformado em humildade.

RESUMO

A Mata Atlântica exibe uma alta diversidade de espécies, com potencial biológico e serviços ecossistêmicos essenciais, mas degradada pela fragmentação florestal que interfere na ciclagem de nutrientes e na rede trófica. Entre os elementos da matéria orgânica, o carbono é um dos elementos essenciais para absorção de calor e o efeito estufa, que ajudam na manutenção da vida. A serrapilheira acumula matéria orgânica depositada sobre o solo florestal e é importante sumidouro de carbono. O objetivo principal do trabalho foi avaliar a serrapilheira como garantia da ciclagem de nutrientes e sumidouro de carbono, através da dinâmica de decomposição e da quantificação de carbono na fração foliar remanente, na borda e no interior do fragmento nativo de Mata Atlântica no município de Alagoinhas, Bahia (Brasil). Foram marcadas parcelas amostrais na borda e no interior do fragmento nativo. No período de outubro/2021 a setembro/2022 foram instaladas bolsas de decomposição e quantificado o teor de carbono para investigar a serrapilheira no sequestro e armazenamento como sumidouro de carbono. De dezembro/2021 (primavera) para março/2022 (verão), o decaimento da massa seca remanente em bolsas refletiu a decomposição da serrapilheira em um padrão similar entre as parcelas da borda (P0) e intermediária (P1), entretanto este efeito sazonal não foi observado na parcela do interior (P2) neste curto período entre as estações climáticas consecutivas de primavera e verão. Com a decomposição da serrapilheira, parte do carbono solúvel é liberado pela respiração na forma de CO₂ e outra parte do carbono estrutural imobilizado na biomassa da rizosfera ou da fauna edáfica, fazendo do solo também um sumidouro de carbono. O efeito sazonal de precipitação e temperatura teve influência sobre o teor de carbono nas três parcelas no verão (março/2022). No hábito alimentar, os invertebrados puderam ser classificados nos seis grupos funcionais de predadores, detritívoros, fitófagos, saprófagos, coprófagos e bioturbadores. Entre os invertebrados terrestres, há uma recuperação rápida (5 dias) das populações de presas, ao cessar o fator de estresse, quando a quantidade de predadores é pequena ou proporcional. Desta forma, os predadores podem manter o controle biológico das populações das presas sem comprometer sua atividade de decomposição da serrapilheira, preservando-a como uma camada em renovação dinâmica entre aporte-mineralização. Isto protege o solo e funciona como estoque no sequestro do carbono da atmosfera pela biomassa vegetal e uma posterior transferência para o solo. A dinâmica de decomposição mantém os processos ecossistêmicos de ciclagem de nutrientes e nutrição da rede trófica, necessárias à restauração e/ou conservação da biodiversidade. A serrapilheira toma parte no sequestro de carbono e funciona como reservatório, configurando um sumidouro de carbono. Esta pesquisa é relevante pela demonstração do serviço ecossistêmico que a serrapilheira desempenha como sumidouro de carbono requerido para manutenção da ciclagem de nutrientes e estabilização do microclima, minimização impactos da degradação ambiental e preservando florestas nativas.

Palavras-chaves: decomposição, invertebrados, restauração, conservação.

ABSTRACT

The Atlantic Forest exhibits a great diversity of species, with biological potential and essential ecosystem services, but degraded by forest fragmentation that interferes with nutrient cycling and the trophic network. Among the elements of organic matter, carbon is one of the essential elements for heat absorption and the greenhouse effect, which produce life. Litter accumulates organic matter deposited on the forest soil and is an important carbon sink. The main objective of this work was to evaluate litter as a guarantee of nutrient cycling and carbon sink, through the dynamics of decomposition and carbon quantification in the remaining leaf fraction, at the edge and inside the native fragment of Atlantic Forest in the municipality of Alagoinhas, Bahia (Brazil). Sample plots were marked on the edge and inside the native fragment. In the period from October 2021 to September 2022, decomposition pockets were installed and the carbon content was quantified to investigate litter in sequestration and storage as a carbon sink. Sample plots were marked on the edge and inside the native fragment. From December 2021 (spring) to March 2022 (summer), the decay of the dry mass remaining in pockets reflected the decomposition of litter in a similar pattern between the edge (P0) and intermediate (P1) plots, however, this seasonal effect was not observed in the interior plot (P2) in this short period between the consecutive climatic seasons of spring and summer. With the decomposition of litter, part of the soluble carbon is released by respiration in the form of CO₂, and another part of the structural carbon immobilized in the biomass of the rhizosphere or edaphic fauna, making the soil also a carbon sink. The decomposition dynamics maintain the ecosystem processes of nutrient cycling and nutrition of the trophic network, necessary for the restoration and/or conservation of biodiversity. The seasonal effect of precipitation and temperature had an influence on the carbon content in the three plots in the summer (March/2022). Regarding feeding habits, invertebrates could be classified into the six functional groups of predators, detritivores, phytophagous, saprophagous, coprophagous, and bioturbators. Among terrestrial invertebrates, there is a rapid recovery (5 days) of prey populations, when the stress factor ceases when the number of predators is small or proportional. In this way, predators can maintain biological control of prey populations without compromising their litter decomposition activity, preserving it as a layer in dynamic renewal between input-mineralization. This protects the soil and acts as a stock in the sequestration of carbon from the atmosphere by plant biomass and a subsequent transfer to the soil. The litter takes part in carbon sequestration and acts as a reservoir, setting up a carbon sink. This research is relevant for demonstrating the ecosystem service that litter performs as a carbon sink required to maintain nutrient cycling and microclimate stabilization, minimizing impacts of environmental degradation and preserving native forests. An incentive for further investigations!

Keywords: decomposition, invertebrates, restoration, conservation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Áreas de estudo com indicações dos locais de coletas na borda (P0), intermediário (P1) e interior (P2) do fragmento nativo de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoinhas, Bahia (Brasil). Outubro/2021 a março/2022. 20
- Figura 2. Detalhes da vegetação na borda (P0), intermediária (P1) e interior (P2) do fragmento de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoinhas, Bahia (Brasil). Outubro/2021. 21
- Figura 3. Bolsas de decomposição de 0,20 m² confeccionadas em tela de nylon, lançadas no fragmento de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoinhas, Bahia (Brasil). Dezembro/2021 a julho/2022. 22
- Figura 4. Material vegetal remanente da bolsa de decomposição macerado manualmente. 23
- Figura 5. Preparação do reativo bicromato de potássio para extração do carbono nas amostras. 24
- Figura 6. Teste para quantificar o teor de carbono nas soluções diluídas com para curva padrão de glicose. Coloração verde para presença do carbono (esquerda) e laranja ausência do carbono (direita). 25
- Figura 7. Massa foliar seca remanente (g) ($p < 0,05$) nas bolsas de decomposição coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo da Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). 27
- Figura 8. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre precipitação (mm), temperatura (°C) e massa seca remanente (g) nas bolsas de decomposição coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). 29
- Figura 9. Teor de carbono ($p < 0,05$) na massa foliar seca remanente nas bolsas coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). 30
- Figura 10. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre precipitação (mm), temperatura (°C) e carbono (g C) na massa foliar seca remanente das bolsas de decomposição, coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão), nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas – BA (Brasil). 31
- Figura 11. Análise de *cluster* (grupos taxonômicos) dos invertebrados capturados nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022. 34

Figura 12. Invertebrados capturados nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). Legenda: 1. Isopoda (jovem), 2. Coleoptera, 3. Diptera, 4. Araneae, 5. Diplopoda (jovem), 6 e 7. Oligochaeta, 8 a 10. Gastropoda, 11. Scolopendridae, 12. Lepidoptera (larva). 35

Figura 13. Modelo simples de simulação Lotka-Volterra para a relação predador-presa (4:25) em fluxo contínuo, independente e presa-dependente na borda (parcela P0) da borda do fragmento nativo. 38

Figura 14. Modelo simples de simulação Lotka-Volterra para a relação predador-presa (13:17) em fluxo contínuo, independente e presa-dependente no interior (parcela P2) do fragmento nativo. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Precipitação média mensal (mm) e temperatura (°C) em Alagoinhas, Bahia (Brasil).	21
Tabela 2. Concentrações da solução-padrão de glicose para elaboração da curva-padrão referência na quantificação do teor de carbono.	25
Tabela 3. Amostras de serrapilheiras de bolsas coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) no fragmento florestal nativo da Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil).	28
Tabela 4. <i>Checklist</i> de invertebrados nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.	32
Tabela 5. Índices de diversidade dos invertebrados terrestres nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.	33
Tabela 6. Teste ($p < 0,05$) dos índices de diversidade dos invertebrados terrestres nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.	34
Tabela 7. Grupos funcionais dos invertebrados coletados com a serrapilheira nas parcelas do fragmento de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoinhas, Bahia (Brasil).	36

SUMÁRIO

1. Introdução	12
1.1 Problema	13
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo geral	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 Hipótese	15
2. Fundamentação teórica	15
2.1 Dinâmica da decomposição	15
2.2 Dinâmica do carbono	17
3. Material e métodos	19
3.1 Área de estudo	19
3.2 Triagem das bolsas de decomposição da serrapilheira	21
3.3 Análise do carbono orgânico total (TOC)	23
3.4 Identificação de invertebrados nas bolsas e seus grupos funcionais	25
3.5 Modelo de Lotka-Volterra	26
3.6 Análise estatística	26
4. Resultados e discussão	27
4.1 Decomposição da serrapilheira e efeito da sazonalidade	27
4.2 Teor de carbono na serrapilheira como sumidouro	29
4.3 Invertebrados terrestres e seus grupos funcionais	32
5. Conclusões.....	39
Referências	40

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um bioma de alta biodiversidade, por sua localização na costa litorânea brasileira e associação com ecossistemas variados como restinga e manguezal (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2021). É considerada um dos maiores *hotspots* mundiais, pela ocorrência de espécies endêmicas ameaçadas de extinção em suas áreas (Pinto; Hirota, 2022).

Atualmente, o desmatamento é um dos principais fatores da floresta para o equilíbrio ambiental. No decorrer dos anos, ações antrópicas predatórias devastaram este ecossistema, ocasionando a fragmentação florestal, alterando a sua complexidade estrutural e ameaçando a manutenção da biodiversidade (Santos *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2024).

A decomposição da serrapilheira garante o aporte de nutrientes para manutenção da rede trófica através da ciclagem no ecossistema (Ferreira; Magalhães; Barbirato, 2020). A ação de microrganismos é fundamental para esse processo devido à liberação de enzimas hidrolíticas. Os teores de nutrientes, a exemplo de lignina e da relação carbono:nitrogênio, são fundamentais para determinação da dinâmica de decomposição (Rebêlo *et al.*, 2022).

O ciclo do carbono contempla o solo, através da produção de serrapilheira e a decomposição desta biomassa pela fauna edáfica, que favorecem o aporte da matéria orgânica e são as principais vias para transferência de nutrientes, como o carbono, das plantas para o solo (Costa *et al.*, 2010; Bazi, 2019).

O estudo da serrapilheira como sumidouro de carbono contribui para análise e sugestões de soluções de problemas ambientais relacionados à perda de florestas naturais e possíveis reflorestamentos como ferramentas úteis de fixação de carbono, essencial à produção de matéria orgânica no ecossistema (Batista *et al.*, 2020).

A velocidade de decomposição da serrapilheira é fator determinante do mecanismo de retroalimentação da matéria orgânica depositada no solo e a ciclagem de nutrientes (Zhou *et al.*, 2018). A serrapilheira constitui o hábitat natural de invertebrados terrestres, fatores bióticos que regulam a qualidade e a quantidade do piso florestal (Rosa *et al.*, 2017).

Para relacionar a dinâmica de decomposição da serrapilheira na inferência como sumidouro de carbono no bioma Mata Atlântica, o presente estudo quali-quantitativo apresentou dados de biomassa foliar seca remanente e seu teor de carbono, visando gerar

informação que contribua à interpretação da dinâmica ambiental, principalmente em relação ao processo de decomposição que garante a ciclagem de nutrientes, entre os quais está o carbono, e seu consequente aporte para a rede trófica na floresta nativa do bioma Mata Atlântica.

Portanto, esta relação é de valor econômico e ambiental, visto que essas análises podem colaborar no planejamento de ações de gestão pública para minimizar impactos, possibilitar a restauração de áreas degradadas, promover a manutenção da biodiversidade e assegurar melhor qualidade de vida para as gerações presente e futura.

1.1 Problema

Um dos elementos que contribuem para a capacidade da Mata Atlântica em atuar como um sumidouro de carbono é a serrapilheira, composta principalmente por material vegetal em decomposição que cai das árvores e cobre o solo da floresta. Essa camada de serrapilheira desempenha um papel essencial no armazenamento do carbono atmosférico fixado pela floresta através da fotossíntese. Nesse contexto, através de quais processos e serviços ecossistêmicos a serrapilheira contribui como sumidouro de carbono no bioma Mata Atlântica no município de Alagoinhas, Litoral Norte da Bahia (Brasil)?

1.2 Justificativa

A Mata Atlântica é um dos biomas mais explorados e degradados pelo homem, apesar de sua grande importância econômica e ecológica, impactando na perda da biodiversidade além da alteração nos ciclos biogeoquímicos. Florestas tropicais contribuem em grande parte no ciclo global do carbono, estocando aproximadamente 76% no solo e 22% na vegetação, funcionando como sumidouro contínuo do carbono atmosférico e integrando este elemento ao solo através da serrapilheira (Zhou *et al.*, 2018).

O piso desses ecossistemas florestais contribui para a ciclagem da matéria orgânica, além de atuar no sequestro e armazenamento do carbono (Cunha *et al.*, 2009). Esta camada superficial sobre o solo é formada pelo acúmulo de material orgânico depositado, composto geralmente de folhas, galhos, frutos e sementes, onde habitam a microbiota (fungos e bactérias) e os invertebrados que atuam no processo de decomposição (Costa *et al.*, 2010).

A decomposição é fator determinante para o papel da serrapilheira como sumidouro,

principalmente quando consideradas a composição pela diversidade de espécies vegetais e a ação de microrganismos como principais determinantes; além de fatores abióticos como precipitação e temperatura. Assim, em razão das condições ambientais, parte do carbono é incorporado ao solo e outra voltará à atmosfera (Carvalho *et al.*, 2010).

Com as mudanças ocorridas no manejo do solo, a observação na dinâmica de decomposição da serrapilheira deve ser vista como um indicativo de qualidade ambiental. O papel de sumidouro de carbono garante, à floresta tropical, um importante serviço ecossistêmico de abrangência socioeconômica, necessitando de pesquisas na área já que a serrapilheira representa um elo fundamental no ciclo do carbono.

Portanto, este trabalho se justifica pela decomposição da serrapilheira ser um dos principais meios de entrada e saída de nutrientes na floresta, propiciando um reservatório de carbono no bioma Mata Atlântica e contribuindo para sua resiliência.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a serrapilheira como garantia da ciclagem de nutrientes e sumidouro de carbono, através da decomposição e da quantificação de carbono na fração foliar remanente, na borda e no interior do fragmento nativo de Mata Atlântica no município de Alagoinhas, Bahia (Brasil).

1.3.1 Objetivos específicos

Analisar a decomposição da serrapilheira no fragmento florestal nativo de Mata Atlântica.

Avaliar o teor de carbono na serrapilheira foliar remanente como indicativo da serrapilheira ser um efetivo sumidouro de carbono.

Identificar os principais grupos funcionais de invertebrados associados à serrapilheira e sua relação na dinâmica da decomposição.

Avaliar a influência da sazonalidade, precipitação e temperatura, nas dinâmicas de decomposição, das populações de invertebrados e do teor de carbono na massa foliar da serrapilheira.

Estabelecer a relação entre a decomposição e a ciclagem de nutrientes para manutenção e equilíbrio ecossistêmico no fragmento de Mata Atlântica do município de Alagoinhas, área de referência para o Litoral Norte e Agreste da Bahia (Brasil), apesar de estar exposta à intensa umidade do litoral.

1.4 Hipótese

Em ambientes florestais, as alterações climáticas afetam a temperatura e a umidade disponível, essencial ao processo de decomposição da serrapilheira. Desta maneira, a sazonalidade pode regular a taxa de decomposição da serrapilheira, o que contribui na dinâmica de sequestro e estoque de carbono.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Dinâmica da decomposição

A Mata Atlântica é umas das florestas mais ricas em biodiversidade do mundo, com aproximadamente 35% das espécies existentes no Brasil encontradas neste bioma, e representa a segunda maior floresta tropical úmida em território brasileiro. Atualmente, ocupa o terceiro lugar em extensão no Brasil, atrás da Amazônia e do Cerrado, representando aproximadamente 12,4% de sua extensão original (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2021).

Uma das principais funções da Floresta Atlântica é o fornecimento de um conjunto de serviços ambientais, com contribuições diretas e indiretas dos ecossistemas para servir ao homem (Campos, 2022). A prestação de serviços ecossistêmicos, tais como proteção do solo, ciclagem de nutrientes, produção de alimentos e medicamentos, controle de pragas, polinização, lazer e regulação do clima, garante a manutenção da vida no planeta (Cabral; Bustamante, 2016). Além disso, contribui na minimização das mudanças climáticas a partir do sequestro do carbono (Azevedo *et al.*, 2018).

Alguns estudos nos trazem a importância da serrapilheira atuando como componente fundamental dos elementos ecossistêmicos, cuja diversidade de espécies vegetais influencia a dinâmica de decomposição (Andrade *et al.*, 2020). O aporte de material garante a renovação

da serrapilheira e mantém o processo de ciclagem de nutrientes (Scoriza; Pinã-Rodrigues, 2014).

A decomposição representa um processo-chave na manutenção da fertilidade do solo, sendo um dos fatores limitantes no estabelecimento e desenvolvimento de ecossistemas florestais (Peixoto Neto, 2017; Brumatti; Silva; Oliveira, 2023). A dinâmica destes fluxos nos ecossistemas em formação constitui a principal via de fornecimento de nutrientes, sendo fundamental seu conhecimento (Parron *et al.*, 2015). Na composição da serrapilheira, as folhas se destacam entre os demais componentes, como galhos, flores, frutos e sementes, todos contêm carbono, principal nutriente do efeito estufa no ciclo biogeoquímico (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues; Barros, 2008; Silva *et al.*, 2022).

As folhas são a maior fração representante na composição da serrapilheira em Mata Atlântica (Gomes *et al.*, 2010; Menezes *et al.*, 2010). A diversidade das espécies, pela composição físico-química variada, influencia no funcionamento dos processos ecossistêmicos (Parsons *et al.*, 2014; Nascimento *et al.*, 2018). Folhas lignificadas, que tardam mais tempo para serem decompostas, acumulam maior concentração de nutrientes (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2000).

A fragmentação das florestas interfere na decomposição da serrapilheira. Segundo Xulux-Tolosa *et al.* (2003), Menezes *et al.* (2010) e Machado (2011), a velocidade de decomposição da serrapilheira terá variações de acordo com a sucessão em florestas secundárias. Nos estádios iniciais de sucessão, o material vegetal produzido é mais rígido do que florestas em estágio avançado (Pereira *et al.*, 2013). Nestas condições, a ação dos invertebrados fica comprometida e pode constituir um processo mais lento de decomposição da serrapilheira (Toledo; Pereira; Menezes, 2002; Câmara *et al.*, 2018; Bazi, 2019).

Uma quantidade maior de nutrientes, como lignina e tanino, também permite uma duração maior de vida útil das folhas (Giebelmann *et al.*, 2013; Peixoto Neto, 2017). Portanto, a serrapilheira que apresenta uma variedade de folhas ricas em lignina vai decompor mais lentamente em relação àquela com maior quantidade de amido (Laskowskil; Berg, 2006). É também de grande importância relacionar a microbiota presente na serrapilheira, uma vez que esses microrganismos garantem a ciclagem de nutrientes (Chapman; Koch, 2007; Sayer *et al.*, 2020).

Conhecer a dinâmica de decomposição da serrapilheira se faz necessário uma vez que o uso do solo nas florestas passa por mudanças em seu manejo, favorecendo as alterações nos processos biogeoquímicos e sua relação na regulação do microclima no interior florestal

(Toledo; Pereira; Menezes, 2002; Pausas; Bond, 2020). A vegetação, que sofre efeitos de borda, regride a estágios iniciais de sucessão; já a vegetação no interior se mantém em estágios mais avançados (Silva, 2010; Cherulli, 2018). Sendo assim, as florestas de estágio inicial, por produzirem folhas mais rígidas e com alto grau de esclerificação, têm retardada a dinâmica de decomposição (Gafta; Roman; Ursu, 2018).

A serrapilheira regula a ciclagem de nutrientes através de sua decomposição, tendo a fauna como um dos seus principais atuantes, enquanto variáveis como temperatura, precipitação pluviométrica e qualidade do solo são os fatores abióticos mais marcantes (Yu *et al.*, 2019). A floresta preservada é estruturalmente melhor e abriga alta diversidade de organismos decompositores. Invertebrados terrestres saprófagos participam na decomposição da serrapilheira, redistribuindo os resíduos orgânicos e promovendo a ciclagem de nutrientes no ecossistema (Neves, 2023; Sá, 2023).

A decomposição representa um processo-chave na manutenção da fertilidade do solo, sendo um dos fatores limitantes no estabelecimento e desenvolvimento de ecossistemas florestais (Peixoto Neto, 2017; Brumatti; Silva; Oliveira, 2023). Quando a decomposição da serrapilheira acontece de forma mais lenta, provocada provavelmente pelo efeito de borda no fragmento florestal, a diversidade e a funcionalidade da microfauna são alteradas, contrário à área preservada (Laurance *et al.*, 2011; Cherulli, 2018; Gafta; Roman; Ursu, 2018). Considerando a alta concentração de carbono presente no solo da floresta, a dinâmica de decomposição de serrapilheira requer uma maior atenção como sumidouro de carbono nesse bioma. A matéria orgânica contém cerca de 58% de carbono e é um dos indicadores da qualidade do solo, pois interage com seus aspectos físicos, químicos e biológicos (Vezzani *et al.*, 2009; Silva, 2018).

Portanto, a avaliação da dinâmica de decomposição da serrapilheira na Mata Atlântica no município de Alagoinhas, uma referência para o Litoral Norte e Agreste da Bahia (Brasil), é necessária para contribuir com dados sobre esse processo de ciclagem de nutriente, ressaltando a importância desse processo para o papel da floresta como sumidouro de carbono, sua relevância para manutenção do ecossistema e do microclima.

2.2 Dinâmica do carbono

Em geral, as florestas são os maiores sumidouros de carbono, uma vez que as plantas e o solo, este em maior percentual, são os grandes sequestradores e armazenadores de carbono

(Silveira *et al.*, 2008; Cunha *et al.*, 2009). As áreas florestais absorvem carbono da atmosfera por meio da fotossíntese e em grandes proporções atuam como sumidouros de carbono devido ao seu tamanho e à maior vida útil (Treehugger, 2022). As florestas sequestraram aproximadamente duas vezes mais dióxido de carbono do que emitiram entre 2001 e 2019, constituindo-se como um sumidouro de carbono com absorção líquida de 7,6 bilhões de toneladas de CO₂ anualmente (Wri Brasil, 2021). No entanto, vale ressaltar que influências de ondas extremas de calor, desmatamento, seca, incêndios florestais e mortandade de árvores aumentaram, particularmente em regiões semiáridas, representando aproximadamente 41% da superfície terrestre (Dass *et al.*, 2018).

Os ciclos biogeoquímicos são importantes reguladores para o funcionamento das florestas tropicais. Por recobrir áreas extensas, os ecossistemas florestais tropicais naturalmente passam a ser grandes reservatórios de carbono também por sua alta produtividade, com grande potencial em suas funções ecossistêmicas como sumidouro de carbono (Malhi; Grace, 2000; Dass *et al.*, 2018). Pela fotossíntese, organismos fotossintetizantes fixam o carbono da atmosfera, cujo equilíbrio dinâmico depende também do balanço entre produção primária e decomposição. Portanto, desmatamento e queimadas contribuem para a liberação do carbono que estava imobilizado principalmente na biomassa arbórea para a atmosfera (Bettioli *et al.*, 2023). Diante disso, é de extrema importância a quantificação de carbono nas florestas tropicais visando compreender o estoque do elemento nas florestas, diante do agravamento da crise ambiental causada por atividades de corporações internacionais (Mohanraj *et al.*, 2011; Dass *et al.*, 2018).

Cabe destacar que o processo de desmatamentos e incêndios em florestas tropicais contribui para sua destruição e fragmentação. Dessa forma, passa de sumidouro a emissor de carbono armazenado novamente para a atmosfera (Paiva, 2018; Souza; Mesquita Junior, 2022). O processo de fragmentação florestal pelo avanço de latifúndios e de espécies invasoras em eucaliptais e pastagens nos trópicos também podem diminuir e interferir no ciclo do carbono a cada ano, levando ao desequilíbrio do clima local inicialmente de uma forma mais direta (Piva *et al.*, 2021).

No Acordo de Paris em 2015, o Brasil se comprometeu em reduzir o desmatamento da Amazônia e do Cerrado, bem como a emissão líquida de CO₂ em 37% até 2025 e em 43% até 2030 (United Nations, 2015). Como a economia brasileira tem a agropecuária como um de seus pilares, as áreas florestais vêm sofrendo com a interferência humana direta por meio de desmatamentos, incêndios e mudanças no uso do solo para substituição por pastagens,

monoculturas e eucaliptais (Paiva, 2018). O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), desenvolvido pelo Observatório do Clima em 2023, registrou o desmatamento em florestas tropicais impulsionado por atividades agropecuárias e representando 75% de toda a poluição climática brasileira (SEEG, 2023).

O Global Carbon Project indicou o aumento de 1,1% nas emissões de gases de efeito estufa em 2023, equivalente a 37,5 bilhões de toneladas de CO₂, sendo a queima de combustíveis fósseis a principal emissão. O Climate Action Tracker também publicou nova estimativa de temperatura global em 2023 e concluiu que não houve mudança no cenário desde a Conferência do Clima de Glasgow em 2021. Estes estudos revelaram que os países, em geral, não estão cumprindo totalmente com os acordos firmados (Observatório do Clima, 2023a).

Como consequências desse fenômeno advêm os eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, tempestades e enchentes, que impactam na segurança alimentar e no processo migratório em países mais vulneráveis economicamente. O relatório da Organização Meteorológica Mundial (OMM) apontou que a década 2011-2020 registrou temperaturas mais elevadas na superfície terrestre (Observatório do Clima, 2023b).

A fragmentação das florestas tropicais afeta também a biodiversidade e não apenas o balanço global de carbono, pois as espécies animais necessitam de áreas florestais conectadas para sobreviverem (Fischer *et al.*, 2021). Portanto, é necessário e urgente buscar o balanço entre a conservação, a restauração e o desenvolvimento socioeconômico responsável (Martins; Miranda; Batista, 2021). Nesse contexto, estão surgindo alguns estudos na atualidade que têm como objetivo criar alternativas para reduzir as atuais concentrações atmosféricas de carbono, mas estas soluções não se aproximam ou conseguem substituir o poder dos sumidouros naturais de carbono nas florestas (Vanali; Tavares; Miranda, 2023; Vasconcelos; Ribeiro, 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

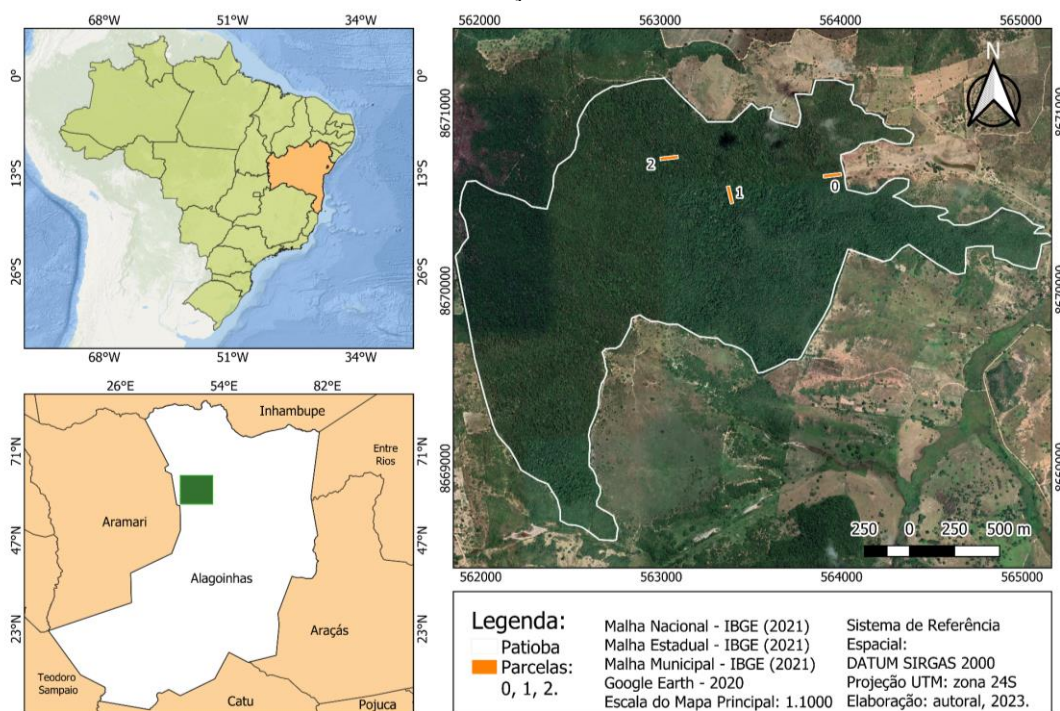
3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Alagoinhas, localizado no Litoral Norte e Agreste da Bahia, em um fragmento florestal nativo de Mata Atlântica na Fazenda Patioba.

(Figura 1). A extensão do fragmento nativo é de aproximadamente 343 hectares, o maior do município de Alagoínhas.

A vegetação da Patioba é descrita como Floresta Ombrófila Densa, composta por árvores perenifólias (médias e grandes) de copa densa, portes arbustivos e subarbustivos, além de lianas, caracterizadas por cipós e trepadeiras que crescem em direção a luz (Evangelista; Almeida, 2020; Dantas, 2021).

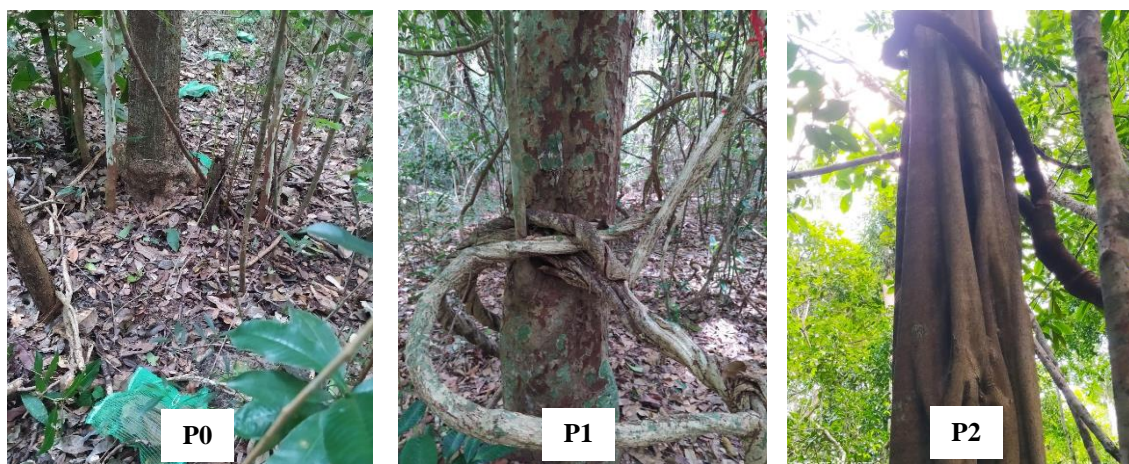
Figura 1. Áreas de estudo com indicações dos locais de coletas na borda (P0), intermediário (P1) e interior (P2) do fragmento nativo de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoínhas, Bahia (Brasil). Outubro/2021 a março/2022.



Fonte: José Gabriel Ferreira dos Santos, 2023.

Detalhes dos pontos de coletas nas parcelas 0, 1 e 2 do fragmento florestal (Figura 2). As bolsas de decomposição foram colocadas sobre a serrapilheira em set/2021, ao longo de um transecto em cada parcela, com coleta mensal aleatória de 5 bolsas para registro dos dados de massas foliares inicial e remanente, após o período na bolsa em campo, e cálculo da dinâmica de decomposição.

Figura 2. Detalhes da vegetação na borda (P0), intermediária (P1) e interior (P2) do fragmento de Mata Atlântica na Fazenda Patioba, Alagoinhas, Bahia (Brasil). Outubro/2021.



Fonte: autoral, 2022.

Foram usados os dados de precipitação e temperatura do website Weather Spark (2022) para investigar uma possível correlação e efeito sazonal sobre a dinâmica no processo de decomposição (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação média mensal (mm) e temperatura (°C) em Alagoinhas, Bahia (Brasil).

Fator abiótico	Out/ 2021	Nov	Dez	Jan/ 2022	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Precipitação (mm)	47,3	54,5	53,3	40,8	50,1	53,2	91,7	131,1	122,5	97,4	67,6	47,2
Temperatura (°C)	22,7	27,1	26,9	28,5	28,2	27,8	25,3	25,0	21,4	21,7	24,0	24,4

Fonte: adaptado do website Weather Spark (2022).

3.2 Triagem das bolsas de decomposição da serrapilheira

Inicialmente, no mês de setembro, foram confeccionadas as bolsas de decomposição de 20 cm x 20 cm com tela de nylon verde de 1 mm² de poro e cola quente (Figura 3). Em campo foram marcadas as parcelas P0, P1 e P2 com corda de nylon, coletadas amostras de folhas inteiras de bom aspecto da serrapilheira nas parcelas. Destas folhas foram pesados 10 g e colocados em bolsas de decomposição. Este método foi adaptado de Anderson e Ingram (1993).

Um total de 100 bolsas de decomposição foi posicionado sobre a serrapilheira, permitindo acesso à fauna de invertebrados terrestres para o processo de decomposição, ao longo de um transecto nas três parcelas com um excedente para prevenção de perdas. Cada bolsa contendo cerca de 10 g de folhas inteiras e/ou em bom estado de conservação, isto é, ainda não degradadas pela atividade de microrganismos nem invertebrados terrestres do fragmento florestal (Figura 3).

Figura 3. Bolsas de decomposição de 0,20 m² confeccionadas em tela de nylon, lançadas no fragmento de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoinhas, Bahia (Brasil). Dezembro/2021 a julho/2022.



Fonte: autoral, 2022.

Mensalmente foram coletadas 5 bolsas em cada parcela (P0, P1 e P02) e transportadas ao laboratório para triagem manual do material vegetal, com captura de invertebrados terrestres conservados em álcool a 70%, com 5 gotas de glicerina concentrada para melhor preservação, e limpeza do excesso de sedimento. As amostras foram pesadas para registro de massa úmida, depois colocadas em envelopes de papel e levadas à estufa a 60°C por 72 horas para posterior registro da massa seca. As massas secas das bolsas de dezembro/2021 e março/2022 foram usadas para quantificação do carbono. Quanto maior a concentração da massa orgânica, menor a quantidade de água e mais acurada a análise do carbono (Mohanraj *et al.*, 2011).

Com o passar dos meses, as bolsas iam sendo recobertas por novas deposições de material vegetal, requerendo atenção para serem encontradas. Conforme esperado, algumas bolsas foram perdidas provavelmente enterradas pela fauna edáfica, tais como bioturbadores formigas e besouros.

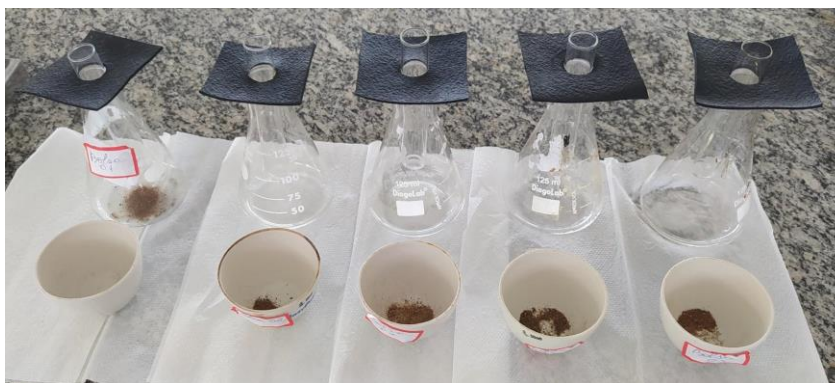
3.3 Análise do carbono orgânico total (TOC)

Amostras da serrapilheira remanente nas bolsas de decomposição foram coletadas nos meses de dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) para análise e quantificação do carbono orgânico na massa foliar seca.

Dos três métodos analíticos propostos para quantificar o carbono orgânico total (TOC), a saber: combustão seca, úmida e química, foi selecionada e adaptada a combustão úmida. A combustão seca apresenta os resultados mais precisos (Bisutti; Hilke; Raessler, 2004), porém de altos custos, sendo conveniente a aplicação do método úmido adaptado que, mesmo com necessidade de determinados equipamentos e substâncias químicas, tornou o experimento possível. No método de combustão úmida, o CO_2 é oxidado pelo $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (bicromato de potássio) em condições ácidas (Anderson; Ingram, 1993) e o teor de C pode ser determinado por espectrometria.

As amostras coletadas das bolsas de decomposição foram desidratadas em estufa de secagem a 60°C por 72 horas para coleta de uma subamostra para maceração manual (cadinho e morteiro) e obtenção de 0,05 g do pulverizado para a análise. O emborrachado preto foi colocado externamente na parte superior do recipiente de vidro para a condensação (Figura 4).

Figura 4. Material vegetal remanente da bolsa de decomposição macerado manualmente.



Fonte: autoral, 2023.

Foram realizados alguns testes prévios a fim de analisar a eficácia do experimento e a necessidade de adaptação de materiais. A preparação de reagente à base de bicromato de potássio deu início a estas reações. Após a preparação, o reagente foi isolado e o balão recoberto com papel alumínio para mantê-lo protegido da luz. Não foi feito teste de repetibilidade, mas o experimento foi repetido três vezes para garantir a confiança do método.

Para a dosagem com o bicromato de potássio (27,2 mM), o carbono reativo foi determinado quantitativamente em subamostras da serrapilheira remanente das bolsas de decomposição, utilizando-se como base os princípios reacionais originalmente realizados por Walkley e Black em 1934. Basicamente é uma reação onde o material vegetal é digerido em meio ácido, aquecido em placa digestora. Este método consiste em reagir o carbono orgânico da amostra com bicromato de potássio em excesso, causando a oxidação do carbono e redução do bicromato de potássio a Cr^{+3} . Nesta reação, o calor desprendido na adição dos reagentes envolvidos na reação (solução de bicromato e ácido sulfúrico) e como também da placa aquecedora, serve de energia para a catalisação da reação. Inicialmente neste processo quantitativo do carbono, o cromo (valência +6) antes da reação, confere à solução a cor laranja. Ao final da reação com o carbono, o cromo reduz-se a Cr^{+3} que confere a cor verde à solução, então medida no espectrofotômetro ao comprimento de onda de 585 nm (Figura 5).

Figura 5. Preparação do reativo bicromato de potássio para extração do carbono nas amostras.



Fonte: autoral, 2023.

Após a reação oxidorrredutiva carbono-bicromato, converteu-se o valor da leitura espectrofotométrica para a quantidade de carbono na amostra. Este procedimento foi realizado com auxílio de uma curva-padrão de glicose em diferentes concentrações. Confeccionou-se assim as seguintes soluções de glicose: 3,8 mM, 19,2 mM, 48 mM e 80 mM, procedendo a mesma reação executada com a subamostra de serrapilheira, e a reta da equação do gráfico apresentou um R^2 de 0,989.

Para uma quantificação do carbono mais precisa, realizou-se um teste prévio com curva padrão de carbono utilizando a glicose anidra para comprovar a presença do carbono na reação, garantindo a segurança dos resultados com o método analítico de quantificação do carbono orgânico total (TOC). Fracionadas em cinco partes com volumes diferentes em soluções 1, 2, 3, 4 e 5 e a solução branco como controle à base de água para servir de leitura no espectrofotômetro.

Através da reação de bicromato de potássio com ácido sulfúrico foi constatada a presença do elemento carbono nas amostras analisadas. A coloração verde confirma a presença do carbono e laranja indicam zero ou quase nenhum carbono (Figura 6, Tabela 2).

Figura 6. Teste para quantificar o teor de carbono nas soluções diluídas com para curva padrão de glicose. Coloração verde para presença do carbono (esquerda) e laranja ausência do carbono (direita).



Fonte: autoral, 2023.

Tabela 2. Concentrações da solução-padrão de glicose para elaboração da curva-padrão referência na quantificação do teor de carbono.

Solução-padrão de carbono (10 g)	
Solução de glicose anidra:	600 ml de água destilada e 30 ml ácido sulfúrico.
Solução 1	10 g de glicose em 100 ml da solução de glicose anidra
Solução 2	80 ml da solução 1 diluídos em 100 ml de água destilada
Solução 3	60 ml da solução 2 diluídos em 100 ml de água destilada
Solução 4	40 ml da solução 3 diluídos em 100 ml de água destilada
Solução 5	20 ml da solução 4 diluídos em 100 ml de água destilada
Solução 6	bicromato de potássio

Fonte: autoral, 2023.

3.4 Identificação dos invertebrados nas bolsas e seus grupos funcionais

As amostras de serrapilheira remanente das bolsas de decomposição, do período de maio a julho/2022, foram triadas manualmente para coleta dos invertebrados terrestres e sua classificação em grupos funcionais segundo Parron *et al.* (2015). Os espécimes foram conservados em álcool a 70% com 5 gotas de glicerina pura. A identificação foi feita por

Neves (2023) com base na literatura específica de Paoletti e Hassall (1999), Baccaro (2006), Cardoso (2017) e em comparação com coleções de herbários virtuais.

Quanto ao hábito alimentar foram considerados seis grupos funcionais de predadores, detritívoros, fitófagos, saprófagos, coprófagos e bioturbadores, conforme Parron *et al.* (2015) para classificação dos invertebrados terrestres capturados nas bolsas de decomposição.

3.5 Modelo de Lotka-Volterra

O modelo matemático simples de duas equações diferenciais não lineares e de primeira ordem, para descrever a dinâmica populacional de duas espécies predador-presa, foram desenvolvidas pelo matemático Vito Volterra e o biofísico Alfred James Lotka em 1920. A modelagem matemática clássica de sistemas ecológicos foi feita com a aplicação expandida do modelo simples de Lotka-Volterra para o caso onde há competição trófica entre carnívoros (predadores) e detritívoros (presas) (Souza, 2017). A dinâmica da interação predador-presa foi modelada em fluxo contínuo e na dependência da presa (presa-dependente) para borda (P0) e interior (P2) ao longo de 100 dias, período usado como padrão comparativo para as coletas mensais ao longo de 12 meses. Os dados trimestrais não foram modelados pela abundância incipiente ou inexistente.

3.6 Análise estatística

Os dados foram usados em análises de variância ANOVA ($p < 0,05$) e de correlação linear de Pearson ($p < 0,05$) com uso do *software* de código livre *PAST Analyst* (versão 4.17).

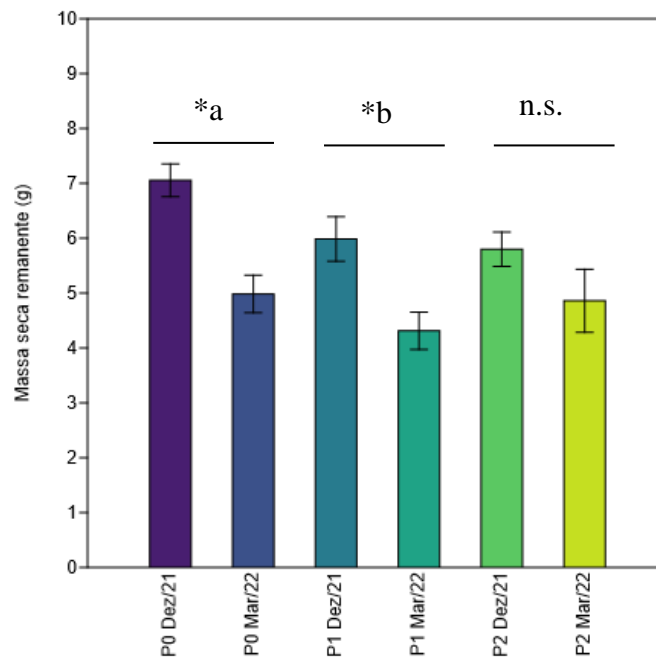
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Decomposição da serrapilheira e efeito da sazonalidade

A diminuição de massa seca indica a decomposição da serrapilheira, que foi mais rápida nas parcelas da borda (P0) e intermediária (P1) na parte baixa do fragmento, porém lenta na parcela do interior (P2) a 262 metros de altitude. As parcelas P1 e P2 são mais preservadas e mais úmidas, com uma maior diversidade de invertebrados, que atuam fragmento a serrapilheira e contribuindo, assim, para a decomposição.

A massa seca remanente nas bolsas diminuiu ($p < 0,05$) nas parcelas da borda (P0) ($F_{1,8}=20,81$; $p=0,002$) e intermediária (P1) ($F_{1,8}=9,94$; $p=0,014$) entre dezembro/2021 e março/2022, sendo o efeito mais pronunciado na parcela da borda (P0). O efeito sazonal não foi observado ($p < 0,05$) para a massa seca foliar na parcela do interior (P2) do fragmento ($F_{1,8}=2,06$; $p=0,189$) entre as estações consecutivas de primavera e verão. A massa seca remanente diferiu entre as três parcelas em dezembro/2021 (primavera) ($F_{2,12}=3,91$; $p=0,049$), mas não em março/2022 (verão) ($F_{2,12}=0,68$; $p=0,524$) (Figura 7, Tabela 3).

Figura 7. Massa foliar seca remanente (g) ($p < 0,05$) nas bolsas de decomposição coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo da Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil).



Fonte: autoral, 2024.

Tabela 3. Amostras de serrapilheiras de bolsas coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) no fragmento florestal nativo da Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil).

Mês	Parcela	Bolsa	Massa inicial (g)	Massa fresca remanente (g)	Massa seca remanente (g)	MF -MS (g)	Teor de carbono (g C/Ms)
Dezembro 2021	P0	B01	10	6,82	6,60	0,22	0,333
		B02	10	7,13	6,95	0,18	0,438
		B03	10	6,56	6,38	0,18	0,343
		B04	10	7,39	7,26	0,13	0,461
		B05	10	8,43	8,09	0,34	0,463
	P1	B01	10	7,39	6,81	0,58	0,441
		B02	10	4,76	4,53	0,23	0,426
		B03	10	7,08	6,61	0,47	0,434
		B04	10	5,93	5,74	0,19	0,344
		B05	10	6,63	6,24	0,39	0,422
	P2	B01	10	5,35	5,16	0,19	0,434
		B02	10	6,03	5,86	0,17	0,431
		B03	10	5,88	5,62	0,26	0,439
		B04	10	5,58	5,39	0,19	0,418
		B05	10	7,41	6,96	0,45	0,408
Março 2022	P0	B01	10	9,88	5,17	4,71	0,438
		B02	10	8,98	4,65	4,33	0,453
		B03	10	9,36	5,07	4,29	0,385
		B04	10	8,28	6,06	2,22	0,429
		B05	10	9,58	3,97	5,61	0,419
	P1	B01	10	5,97	3,30	2,67	0,461
		B02	10	9,71	5,36	4,35	0,471
		B03	10	7,45	4,66	2,79	0,401
		B04	10	7,25	4,07	3,18	0,444
		B05	10	7,31	4,17	3,14	0,452
	P2	B01	10	9,37	4,42	4,95	0,412
		B02	10	7,01	3,45	3,56	0,435
		B03	10	9,22	6,00	3,22	0,397
		B04	10	7,36	4,02	3,34	0,410
		B05	10	9,18	6,41	2,77	0,428

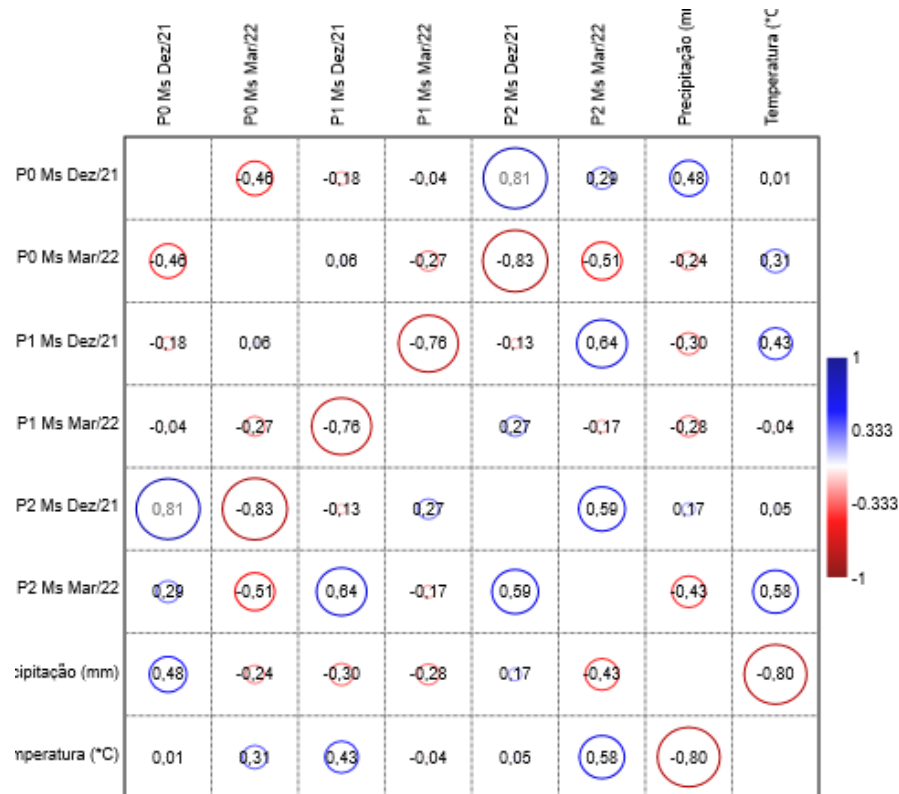
Fonte: autoral, 2024.

A taxa de decomposição é determinada pela qualidade dos substratos, assim como a quantidade dos decompositores encontrados na serrapilheira (Perez-Suarez *et al.*, 2009; Giebelmann *et al.*, 2011). Em áreas com presença de serrapilheira por maior tempo para decomposição, a matéria orgânica protege o solo da erosão e retém umidade que solubiliza o material vegetal e nutre o solo (Caldeira *et al.*, 2019). Um dos fatores que contribuem para o acúmulo de serrapilheira é a precipitação (Facelli; Pickett, 1991; Sanches *et al.*, 2009). A qualidade e quantidade de serrapilheira dependem muito do ambiente pois o entorno pode favorecer o processo de deposição e, assim, alterar sua decomposição (Xiong; Nilsson, 1999).

A precipitação e a temperatura nos meses de novembro/2021 a março/2022 não exerceram efeitos diretos sobre a decomposição ($p < 0,05$), através da massa seca remanente nas bolsas, apesar de ter estado presente para garantir a retenção da umidade necessária ao processo (Figura 8).

Em um período anual, pode-se registrar os efeitos das variáveis precipitação e temperatura influenciando a taxa de decomposição e consequente a massa remanente nas bolsas sob ação de invertebrados e microbiota (Carvalho *et al.*, 2010).

Figura 8. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre precipitação (mm), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e massa seca remanente (g) nas bolsas de decomposição coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil).

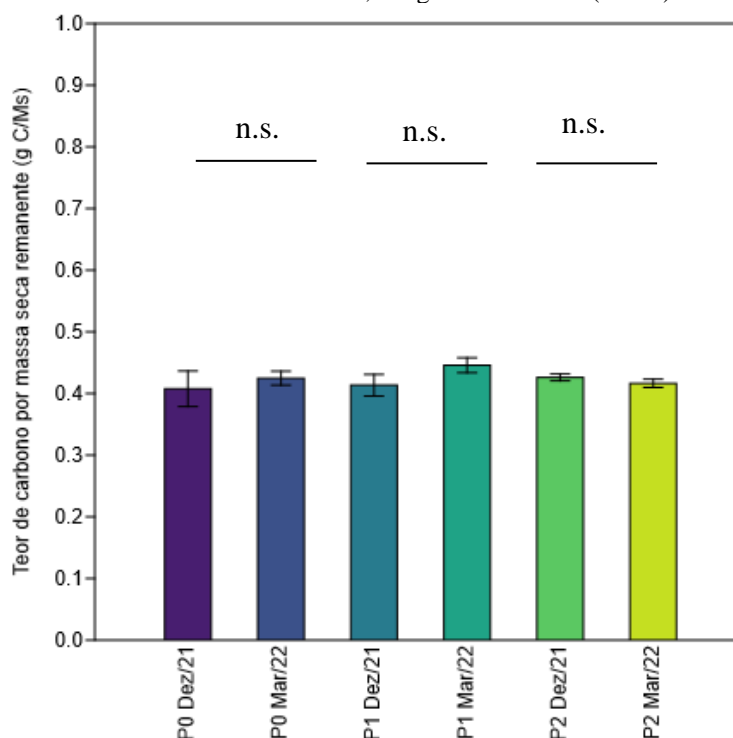


Fonte: autoral, 2024.

4.2 Teor de carbono na serrapilheira como sumidouro

O teor de carbono na massa foliar seca remanente (g C/Ms) das bolsas de decomposição não diferiu ($p < 0,05$) nas parcelas na borda (P0) ($F_{1,8} = 0,31$; $p = 0,594$), intermediária (P1) ($F_{1,8} = 2,30$; $p = 0,168$) e no interior (P2) ($F_{1,8} = 1,18$; $p = 0,309$) entre dezembro/2021 e março/2022. O efeito sazonal não foi observado ($p < 0,05$) para o teor de carbono entre as estações consecutivas de primavera e verão. O teor de carbono na massa seca remanente não diferiu entre as três parcelas em dezembro/2021 (primavera) ($F_{2,12} = 0,23$; $p = 0,801$) nem em março/2022 (verão) ($F_{2,12} = 2,14$; $p = 0,161$) (Figura 9).

Figura 9. Teor de carbono ($p < 0,05$) na massa foliar seca remanente nas bolsas coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão) nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil).



Fonte: autoral, 2024.

O carbono presente na massa foliar seca remanente está justificado pela lignina resistente à decomposição. Áreas com interferências antrópicas, como a borda, recebem mais luz solar, o que também contribui para fotodegradação da matéria orgânica. A análise de carbono deve ser feita em um intervalo maior de tempo que contemple as quatro estações climáticas para investigar possíveis efeitos sazonais. A serrapilheira das parcelas funciona como sumidouro de carbono, o que garante por um determinado tempo a fixação de carbono no ciclo biogeoquímico no fragmento florestal. Na floresta preservada, com maior diversidade e abundância de decompositores, a serrapilheira depositada sobre o solo, também protegido pela copa das árvores, aumenta a retenção de umidade contribuindo para a lixiviação da massa foliar e acelerando o processo de decomposição.

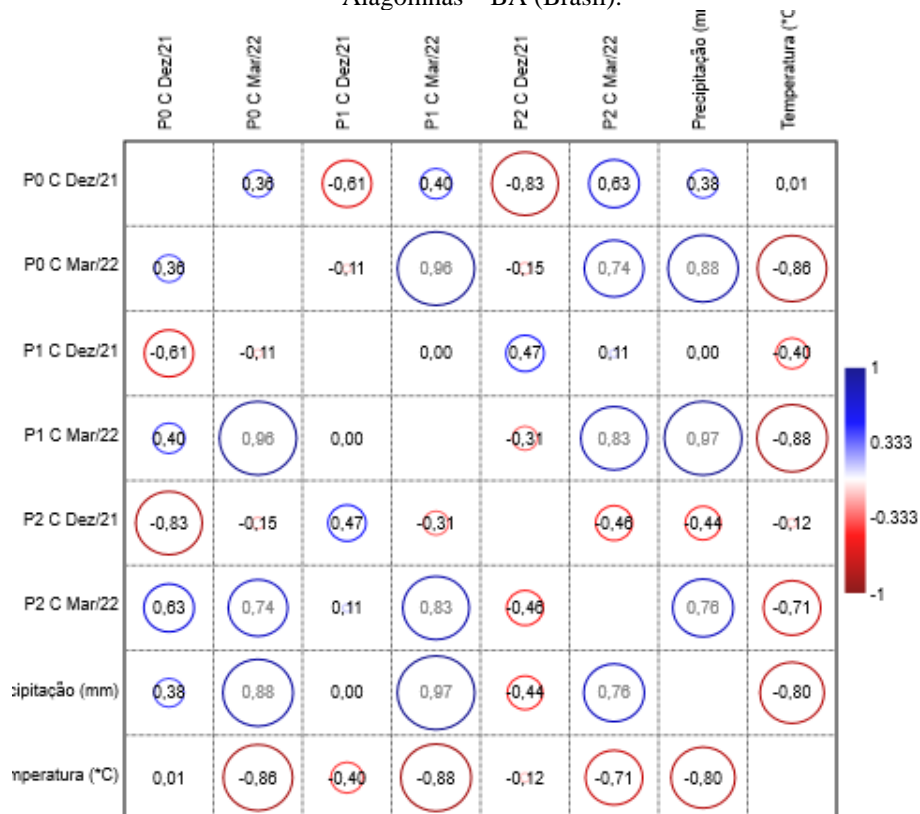
A serrapilheira tem suas peculiaridades e seus constituintes orgânicos refletem a variabilidade das espécies vegetais que compõem a flora nativa local. Yue *et al.* (2016) mostraram que a decomposição da serrapilheira em floresta depende das diferentes taxas de decomposição dos biopolímeros presentes nas espécies que compõem a serrapilheira, evidenciando uma maior resistência à degradação por parte da lignina e maior facilidade degradativa para a celulose em local úmido. Boerjan, Ralph e Baucher (2003) apontam que o

composto lignina perfaz cerca de 30% do carbono encontrado no resíduo da serrapilheira após 2 anos ou mais de decomposição.

A serrapilheira é composta por diferentes partes dos vegetais. O que se encontra presente neste material são componentes ricos principalmente em celulose, hemicelulose e lignina. É provável que a ação da lignina tenha grande influência no resultado por sua cadeia carbônica ramificada apresentar maior quantidade de carbono (Yue *et al.*, 2016). A lignina é um polímero constituído de unidades de fenilpropanóides, que possuem um caráter hidrofóbico, portanto mais difícil de reter moléculas de água para hidratação e lixiviação. Portanto, amostras de serrapilheira com mais tempo podem conter proporcionalmente mais lignina do que os polímeros estruturais mais hidrofílicos (Boerjan; Ralph; Baucher, 2003).

A precipitação e a temperatura exerceram efeitos promotor e inibidor ($p < 0,05$), respectivamente, sobre o teor de carbono na massa foliar seca da serrapilheira nas três parcelas (P0, P1 e P2) no mês de março/2022 (verão), graças à umidade retida na primavera anterior (Figura 10).

Figura 10. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre precipitação (mm), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e carbono (g C) na massa foliar seca remanente das bolsas de decomposição, coletadas em dezembro/2021 (primavera) e março/2022 (verão), nas parcelas da borda (P0) e do interior (P1 e P2) do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas – BA (Brasil).



Fonte: autoral, 2024.

4.3 Invertebrados terrestres e seus grupos funcionais

A importância do carbono está na produção de biomassa corpórea dos invertebrados terrestres, que habitam a serrapilheira, e também em algumas estruturas de carbonato de cálcio, como as conchas de Gastropoda.

Foram coletados espécimes, principalmente das ordens Isopoda e Scolopendridae, ocorrentes nas 3 parcelas, porém em fase juvenil mostrando a bolsa de decomposição como um nicho de proteção adicional na serrapilheira (Tabela 4).

Tabela 4. Checklist de invertebrados nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.

Classe	Ordem	Família/Subfamília	Gênero/Espécie	Parcela		
				P0	P1	P2
Malacostraca	Isopoda	Philoscidae	<i>Philoscia muscorum</i>	7	2	10
	Dictyoptera/Isoptera	Blattaria/Blaberidae				1
	Lepidoptera		Larva	1		
	Larva			1		
	Collembola					1
Insecta	Coleoptera		Sp. 1			1
			Sp. 2			1
	Diptera					1
	Hemiptera	Aphididae		2		2
	Dermaptera				1	
	Hymenoptera				6	
Araneae	Araneae		Sp. 3		1	
			Sp. 4			1
	Opiliones					1
Diplopoda	Scolopendridae		Jovem Sp. 5	4	1	5
Oligochaeta				7		3
Gastropoda			Sp. 6	5		
			Sp. 7	2		
			Sp. 8		1	
			Concha Sp. 9		1	
			Sp. 10			1
			Sp. 11			2
Abundância nas bolsas de decomposição				29	13	30

Fonte: autoral, 2024.

As duas parcelas da borda (P0) e do interior (P2) tiveram registros de diversidade de invertebrados acumulados de 3 meses (maio, junho e julho/2022), enquanto a parcela intermediária (P1) apresentou apenas dados de 1 mês (junho/2022) (Tabela 5).

Os índices de diversidade de Simpson e Shannon foram altos, mas não diferiram ($p < 0,05$) entre as parcelas do fragmento florestal (Tabelas 5 e 6). Os índices de riqueza de Chao e iChao foram maiores nas parcelas internas (P1 e P2) do fragmento (Tabela 5).

Os altos índices de diversidade de Simpson e Shannon indicaram que as parcelas do fragmento florestal possuem uma rica variedade de espécies, sendo um sinal positivo para a qualidade do ecossistema. Como estes índices não diferiram ($p < 0,05$) entre as parcelas, infere-se que a diversidade de espécies está relativamente homogênea em todo o fragmento independente da localização das parcelas. Por outro lado, os índices de riqueza de Chao e iChao, que medem a quantidade de espécies presentes em um determinado ambiente, foram maiores nas parcelas internas (P1 e P2) do fragmento. Áreas internas estão mais protegidas de perturbações em comparação com a borda, oferecendo condições favoráveis à sobrevivência e reprodução das espécies, como menor exposição direta à luz solar, retenção de umidade prolongada e proteção contra predadores.

Tabela 5. Índices de diversidade e riqueza dos invertebrados terrestres nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.

Índices	Borda P0	Intermediário P1	Interior P2
Taxa_S	8	7	13
Individuals	29	13	30
Dominance_D	0,1478	0,2051	0,1379
Simpson_1-D	0,8522	0,7949	0,8621
Shannon_H	1,9840	1,8620	2,3630
Evenness_e^H/S	0,9092	0,9196	0,8173
Brillouin	1,5470	1,1750	1,7200
Menhinick	1,4860	1,9410	2,3730
Margalef	2,0790	2,3390	3,5280
Equitability_J	0,9542	0,9569	0,9213
Fisher_alpha	3,6520	6,1820	8,7210
Berger-Parker	0,2414	0,4615	0,3333
Chao-1	8,32	11,62	22,02
iChao-1	8,97	18,54	30,06
ACE	9,17	22,21	33,49
Squares	8,72	15,40	25,06

Fonte: autoral, 2024.

Os índices de diversidade de Simpson e Shannon dos invertebrados não mostraram diferenças entre as parcelas (Tabela 6).

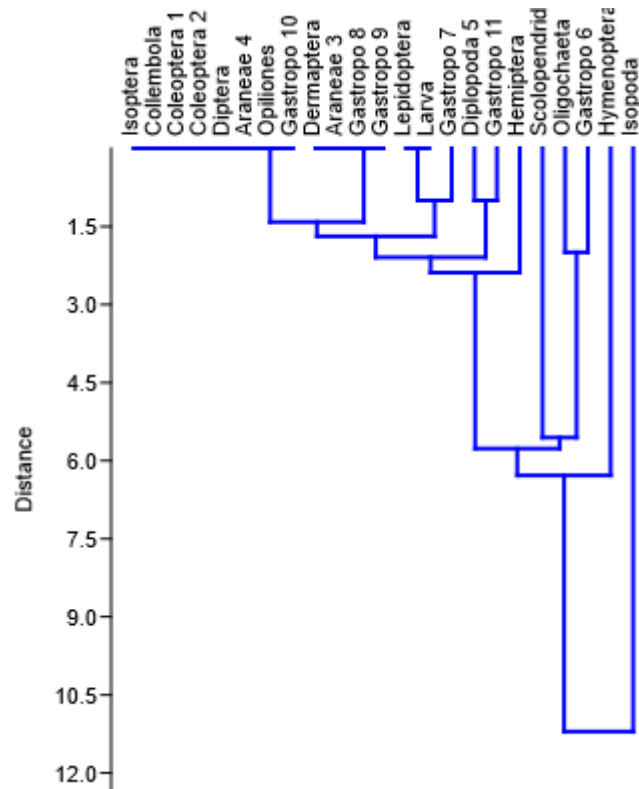
Tabela 6. Teste ($p < 0,05$) dos índices de diversidade de Simpson e Shannon dos invertebrados terrestres nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.

Índices	Borda (P0)	Parcelas	
	X	Borda (P0)	Intermediário (P1)
	Intermediário (P1)	X	X
		Interior (P2)	Interior (P2)
Simpson	$p = 0,4457$	$p = 0,8578$	$p = 0,4149$
Shannon	$p = 0,4392$	$p = 0,1908$	$p = 0,1133$

Fonte: autoral, 2024.

Considerando a área de estudo, a análise de *cluster* por grupos taxonômicos mostrou a predominância de Isopoda, seguido de Hymenoptera e Gastropoda/Oligochaeta, Scolopendridae e demais grupos (Figura 11).

Figura 11. Análise de *cluster* (grupos taxonômicos) dos invertebrados capturados nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). P0 e P2: maio, junho e julho/2022; P1: junho/2022.



Fonte: autoral, 2023.

As bolsas de decomposição mostraram uma fauna de invertebrados semelhante em diversidade à fauna associada à serrapilheira, porém com a ocorrência de indivíduos jovens na parcela do interior P2 nos meses de maio e junho/2022, tanto de presas detritívoras (Isopoda) como de predadores (Diplopoda, Scolopendridae) (Figura 12).

Figura 12. Invertebrados capturados nas bolsas de decomposição do fragmento florestal nativo na Fazenda Patioba, Alagoinhas - Bahia (Brasil). Legenda: 1. Isopoda (jovem), 2. Coleoptera, 3. Diptera, 4. Araneae, 5. Diplopoda (jovem), 6 e 7. Oligochaeta, 8 a 10. Gastropoda, 11. Scolopendridae, 12. Lepidoptera (larva).



Fonte: autoral, 2023.

Os invertebrados da serrapilheira e do solo são influenciados pelos fatores ambientais, tais como umidade e temperatura. Dessa forma os efeitos de borda, que provocam variações ambientais, podem influenciar na dinâmica da fauna edáfica (Correia; Oliveira, 2000; Moço *et al.*, 2005; Menezes *et al.*, 2010; Machado, 2011). A relativa maior quantidade de lignina numa amostra apoia-se também na dificuldade de sua decomposição pelos invertebrados, devido a sua característica recalcitrante.

Sayer *et al.*, 2020) indicaram que a qualidade da serrapilheira depende de sua composição orgânica e inorgânica, influenciando interações sobre a fauna do solo e consequentemente a taxa de decomposição. A ação de microorganismos pode ser reprimida pela presença da lignina.

Os invertebrados terrestres ocorreram entre os seis grupos funcionais de predadores, detritívoros, fitófagos, saprófagos, coprófagos e bioturbadores. Os níveis taxonômicos ao nível foram considerados ao nível de ordem para contemplar a diversidade encontrada nas bolsas de decomposição (Tabela 7). Dados similares foram registrados por Neves (2023), Sá (2023) e Silva (2023) em relação aos invertebrados habitantes da serrapilheira.

Tabela 7. Grupos funcionais dos invertebrados coletados com a serrapilheira nas parcelas do fragmento de Mata Atlântica na Fazenda Patioba. Alagoinhas, Bahia (Brasil).

Ordem	Predador	Fitófago	Detritívoro	Saprófago	Coprófago	Bioturbador
Isopoda			X	X	X	
Isoptera			X	X		
Lepidoptera		X	X			
Larva (Insecta)			X			
Collembola			X			X
Coleoptera	X	X	X	X	X	X
Diptera	X					X
Hemiptera (Aphididae)		X				
Dermaptera	X					
Hymenoptera	X					
Araneae	X					
Opiliones	X					
Scolopendridae	X					
Oligochaeta						X
Gastropoda			X			

Fonte: autoral, 2023.

A exposição à luminosidade contribui para diminuição de determinados organismos que assumem o papel de decompositores. Na área interior, as copas das árvores protegem o solo e favorecem um ambiente mais úmido e protegido para uma maior diversidade de nichos e seus ocupantes, acelerando a decomposição.

Os invertebrados compõem um táxon abundante nos ecossistemas florestais, desempenhando um papel essencial na decomposição e ciclagem de nutrientes (Rosa *et al.*, 2017). Os organismos atuam em grupos funcionais e desempenham funções primordiais para o ecossistema, os detritívoros atuam na fragmentação do material vegetal; os predadores regulam as populações de outros invertebrados; os bioturbadores promovem a fertilização do solo (Parron *et al.*, 2015). Estas interações planta-animal contribuem para a regeneração natural do ambiente florestal (Araújo, 2012).

Os organismos predadores, como besouros, formigas e aranhas, se destacam por controlar as populações de outros invertebrados, ajudando a manter o equilíbrio na cadeia alimentar (Melo *et al.*, 2009).

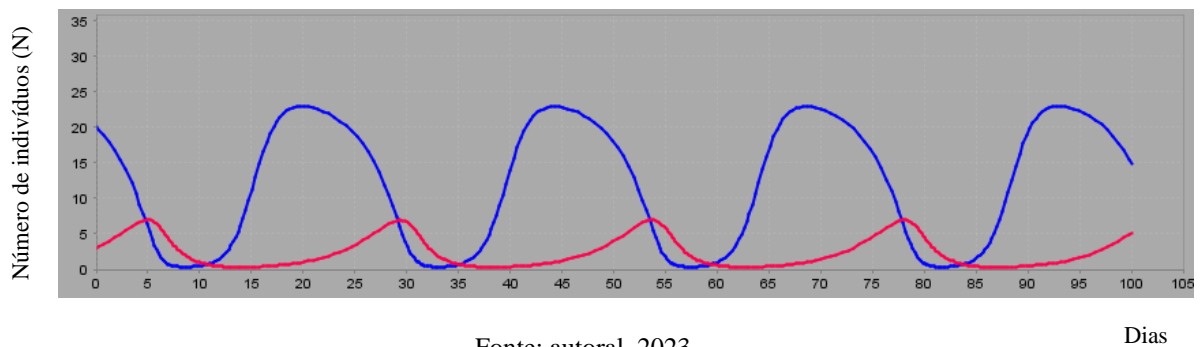
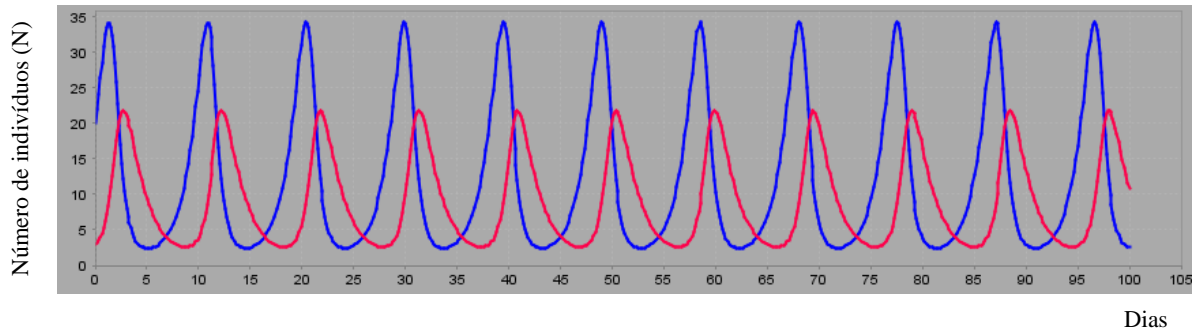
Os detritívoros, como isópodes, baratas, formigas e gastrópodes, têm o papel crucial de fragmentar os restos orgânicos da serrapilheira, se alimentando de matéria vegetal em decomposição, fezes de animais e outros resíduos, facilitando o processo de decomposição da matéria orgânica no piso florestal (Quadros, 2010; Parron *et al.*, 2015).

Baratas e formigas atuam como bioturbadores ao moverem a serrapilheira e o solo, acumulando material orgânico que serve como reserva de nutrientes, promovendo a recirculação da matéria orgânica, tornando o solo mais fértil (Offenberg *et al.*, 2019). Além disso, esses organismos contribuem com o aumento da porosidade do solo, aeração, entrada de água, contribuindo com a manutenção da sobrevivência de diversos organismos vegetais e animais (Brown *et al.*, 2015).

Nos meses de maio a julho/2022, nas bolsas de decomposição, ocorreram menos predadores (N=4) do que presas (N=25) das parcelas da borda (P0); mais predadores (N=9) do que presas (N=4) na parcela intermediária (P1) e menos predadores (N=13) do que presas (N=17) na parcela do interior (P2) do fragmento florestal (Figuras 13 e 14).

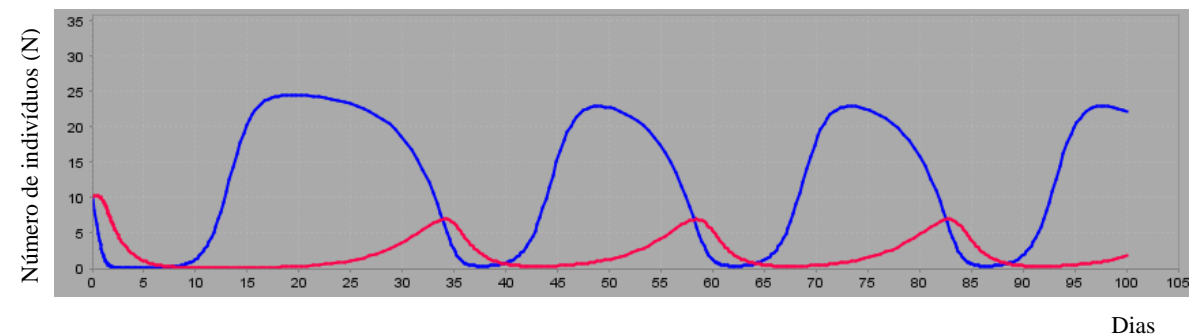
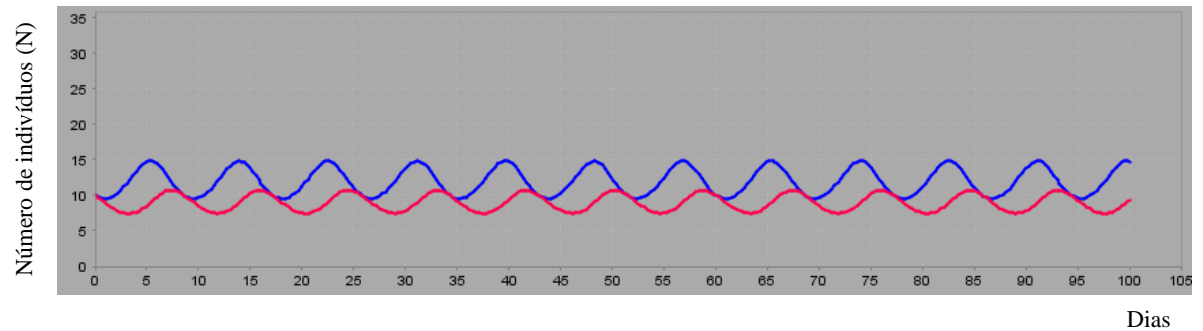
A dinâmica populacional dos invertebrados terrestres foi representada em simulações simples de Lotka-Volterra mostrando uma recuperação rápida (5 dias) das populações de presas, ao cessar o fator de estresse, quando a quantidade de predadores é pequena ou proporcional (Figuras 13 e 14). Desta forma, os predadores podem manter o controle biológico das populações das presas sem comprometer sua atividade de decomposição da serrapilheira, mantendo-a como uma camada em renovação dinâmica entre aporte-mineralização que protege o solo e funciona como estoque no sequestro do carbono da atmosfera pela biomassa vegetal e uma posterior transferência para o solo.

Figura 13. Modelo simples de simulação Lotka-Volterra para a relação predador-presa (4:25) em fluxo contínuo independente (superior) e presa-dependente (inferior) na borda (parcela P0) do fragmento nativo.



Fonte: autoral, 2023.

Figura 14. Modelo simples de simulação Lotka-Volterra para a relação predador-presa (13:17) em fluxo contínuo independente (superior) e presa-dependente (inferior) no interior (parcela P2) do fragmento nativo.



Fonte: autoral, 2023.

No modelo simples de Lotka-Volterra, as duas equações diferenciais não lineares de primeira ordem descrevem a interação entre duas espécies, presa e predador. Este modelo assume que as espécies têm populações homogêneas, desconsiderando fatores como idade e

sexo; o predador se alimenta exclusivamente da presa e a presa obtém seus nutrientes dos recursos disponíveis no ambiente. Além disso, não são considerados fatores externos que possam limitar a dinâmica populacional (Souza, 2017).

A dinâmica de decomposição realizada pela microbiota e os invertebrados mantém os processos ecossistêmicos de ciclagem de nutrientes e nutrição da rede trófica, necessárias à restauração e/ou conservação da biodiversidade. Em um ambiente florestal preservado, o processo contínuo de decomposição da serrapilheira transforma o fragmento florestal em um sumidouro de carbono.

5. CONCLUSÕES

A serrapilheira da floresta nativa de Mata Atlântica na Fazenda Patioba, em Alagoinhas - Bahia (Brasil), funciona como sumidouro de carbono.

De dezembro/2021 para março/2022, houve decaimento da massa seca remanente nas bolsas, o que refletiu a decomposição da serrapilheira em um padrão similar entre as parcelas da borda (P0) e intermediária (P1), entretanto este efeito sazonal não foi observado na parcela do interior (P2) entre estações climáticas consecutivas de primavera e verão

Houve efeito sazonal sobre o teor de carbono nas parcelas entre dezembro/2021 e março/2022.

Com a decomposição da serrapilheira, parte do carbono solúvel é liberado pela respiração na forma de CO₂ e outra parte do carbono estrutural imobilizado na biomassa da rizosfera ou da fauna edáfica, fazendo do solo outro sumidouro de carbono.

Entre os invertebrados terrestres, há uma recuperação rápida (5 dias) das populações de presas, ao cessar o fator de estresse, quando a quantidade de predadores é pequena ou proporcional. Desta forma, os predadores podem manter o controle biológico das populações das presas sem comprometer sua atividade de decomposição da serrapilheira, mantendo-a como uma camada em renovação dinâmica entre aporte-mineralização que protege o solo e funciona como estoque no sequestro do carbono da atmosfera pela biomassa vegetal e uma posterior transferência para o solo.

A dinâmica de decomposição realizada pela microbiota e os invertebrados mantém os processos ecossistêmicos de ciclagem de nutrientes e nutrição da rede trófica, necessárias à restauração e/ou conservação da biodiversidade. Em um ambiente florestal preservado, o

processo contínuo de decomposição da serrapilheira transforma o fragmento florestal em um sumidouro de carbono.

Esta pesquisa é relevante pela demonstração do serviço ecossistêmico que a serrapilheira desempenha como sumidouro de carbono requerido para manutenção da ciclagem de nutrientes e estabilização do microclima, minimização impactos da degradação ambiental e preservando florestas nativas. Um incentivo para novas investigações!

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods**. CAB International, 221 p., 1993.

ARAÚJO, V. F. P. **Produção e decomposição da serrapilheira em um ecossistema do semiárido do nordeste brasileiro: variação temporal e espacial e efeito da fauna de solo sobre a serrapilheira**. 2012, 111 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas-Zoologia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2012.

AZEVEDO, A. D. DE; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. DOS S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018.

BACCARO, F. B. **Chave para as principais subfamílias e gêneros de formigas (Hymenoptera: Formicidae)**. INPA, PPBio, Faculdades Cathedral, 34 p., 2006.

BATISTA, D. B.; DÁCOL, F. V.; DALLA CORTE, A. P.; MARTINE, A.; REIS, A. R. N. Aporte de serrapilheira e teor de carbono orgânico em um fragmento florestal urbano. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 4, p. 22-30, 2020.

BAZI, C. A. **Produção e decomposição de serrapilheira em um fragmento urbano de Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Botânica - USP, São Paulo, SP, 141 p., 2019.

BISUTTI, I.; HILK, I.; RAESSLER, M. TrAC, tendências. **Anal. Química**, v. 23, p. 716, 2004.

BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L.; ANDRADE, C. A. de. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. **CEP**, v. 13918, p. 110, 2023.

BOERJAN, W.; RALPH, J.; BAUCHER, M. Lignin biosynthesis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, p. 519-546, 2003.

BROWN, G. G. *et al.* (+10 autores) **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição**

para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. DE; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Eds.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília: EMBRAPA, cap. 10, p. 121-154, 2015.

CABRAL, D. DE C.; BUSTAMANTE, A. G. (Eds.). **Metamorfoses florestais: culturas, ecologias e as transformações históricas da Mata Atlântica**. Editora Prismas, 2016.

CALDEIRA, M. V. W.; GODINHO, T. D. O.; MOREIRA, F. L.; CAMPANHARO, Í. F.; CASTRO, K. C.; MENDONÇA, A. R. D.; TRAZZI, P. A. Litter as an ecological indicator of forest restoration processes in a dense ombrophylous lowland forest. **Floresta e Ambiente**, v. 26, p. e20180411, 2019.

CAMARA, R.; SILVA, V. D.; DELAQUA, G. C. G.; LISBÔA, C. P.; VILLELA, D. M. Relação entre sucessão secundária, solo e serapilheira em uma Reserva Biológica no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 674-686, 2018.

CAMPOS, J. O. **Serviços ecossistêmicos e fragmentação da paisagem no Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba**. Dissertação (Geografia), UFPB/CCEN, João Pessoa, 221 p., 2022.

CARDOSO, G. M. **Revisão taxonômica e análise filogenética em Bathytropidae Vandel, 1952 (Crustacea: Isopoda: Oniscidea)**. Tese (Biologia Animal). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 174 p., 2017.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. D.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-290, 2010.

CHAPMAN, S. K.; KOCH, G. W. What type of diversity yields synergy during mixed litter decomposition in a natural forest ecosystem?. **Plant and Soil**, v. 299, p. 153-162, 2007.

CHERULLI, G. M. S. B. **Estudo da influência do efeito de borda sobre a serapilheira em uma reserva no sul do Brasil**. Monografia (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 36 p., 2018.

CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. Fauna de solo: aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. **Documentos**, n. 112, 46 p., 2000.

COSTA, C. C. de A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D. de.; SILVA, P. C. M. da. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na flona de Açú-RN. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.

CUNHA, G. D. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; VELLOSO, A. C. X. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1175-1185, 2009.

DA SILVA, C. A. R.; DE LIMA, R. W. S.; DOS SANTOS D. D.; DA COSTA S. É. M.; GOMES, D. L., DOS SANTOS L. E.; ARAUJO, K. D. Acúmulo de serapilheira e organismos

edáficos em uma unidade de conservação, em Maceió, Alagoas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 42, p. e190962-e190962, 2022.

DANTAS, J. A. S. **Diversidade em florística em fragmentos florestais no litoral norte da Bahia (Brasil)**. Dissertação (Biodiversidade Vegetal - PPGBVeg), Departamento de Ciências Exatas e da Terra - *Campus II*, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, 80 p., 2021.

DASS, P.; HOULTON, B.; WANG, Y.; WARLIND, D. Grasslands may be more reliable carbon sinks than forests in California. **Environ. Res. Lett.**, v. 13, n. 7, p. 074027, 2018.

EVANGELISTA, M.; ALMEIDA, G. S. S. Briófitas de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa, Fazenda Patioba, Alagoinhas, Bahia, Brasil. **Pesquisas, Botânica**, n. 74, p. 325-336, 2020.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, n.57, p.1-32, 1991.

FERREIRA, N. C.; MAGALHÃES, L. M.; BARBIRATO, J. Qualitativa do solo através de um gradiente ambiental em um fragmento de Floresta Atlântica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 94633-94651, 2020.

FISCHER, R.; TAUBERT, F.; MÜLLER, M. S.; GROENEVELD, J.; LEHMANN, S.; WIEGAND, T.; HUTH, Accelerated Forest fragmentation leads to critical increase in tropical forest edge area. **Science Advances**, v. 7, n. 37, p. eabg7012, 2021.

FUNDAÇÃO SOS Mata Atlântica; INPE, Instituto Nacional de Pesquisas. Espaciais. **Relatório Técnico 2019-2020**. São Paulo, 61 p.; 2021.

GAFTA, D.; ROMAN, A.; URSU, T. M. Trends in single trait dispersion between early-mid successional stages: the importance of species pool extension and habitat scale. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n 1, p. 103-113, 2018.

GAMA-RODRIGUES, A. C. D.; GAMA-RODRIGUES, E. F. D.; BARROS, N. F. D. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1165-1179, 2008.

GIEBELMANN, U. C.; MARTINS, K. G.; BRÄNDLE, M.; SCHÄDLER, M.; MARQUES, R.; BRANDL, R. Lack of home-field advantage in the decomposition of leaf litter in the Atlantic Rainforest of Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 49, p. 5-10, 2011.

GOMES, J. M.; PEREIRA, M. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, G. H. A.; GONDIM, F. R.; SILVA, E. M. R. da. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 383-391, 2010.

LASKOWSKI, R.; BERG, B. **Litter decomposition: guide to carbon and nutrient turnover**. Amsterdam, 2006.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; WILLIAMSON, B. G.; BENÍTEZ-MALVIDO,

J.; VASCONCELOS, H. L.; VAN HOUTAN, K. S.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011.

MACHADO, D. L. **Atributos indicadores da dinâmica sucessional em fragmento de Mata Atlântica na região do médio vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, Rio de Janeiro**. Dissertação (Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 103 p., 2011.

MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 15, n. 8, p. 332-337, 2000.

MARTINS, E. M.; DE MIRANDA, R. L.; BATISTA, A. O bioma da Mata Atlântica versus o Produto Interno Bruto: um olhar para o desenvolvimento sustentável de Joinville (SC). **Revista de Extensão e Iniciação Científica da Unisociesc**, v. 8, n. 3, 2021.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da EMBRAPA**, 2009.

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C. D.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. D. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, p. 439-452, 2010.

MOÇO, M. K. D. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C. D.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 555-564, 2005.

MOHANRAJ, R.; SARAVANAN, J.; DHANAKUMAR, S. Carbon stock in Kolli forests, Eastern Ghats (India) with emphasis on aboveground biomass, litter, woody, debris and soils. **iForest – Biogeosciences and Forestry**, v. 4, n. 2, p. 61-65, 2011.

NASCIMENTO, A. F. D. J.; SILVA, T. D. O. D.; ARAÚJO FILHO, R. N.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; PEDROTTI, A.; GONZAGA, M. I. S.; PISCOYA, V. C. Produção e aporte de carbono, nitrogênio e fósforo na serapilheira foliar do Parque Nacional Serra de Itabaiana. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 35-46, 2018.

NEVES, U. S. **Terrestrial invertebrates associated with litter from the Atlantic Forest in Bahia (Brazil)**. Dissertação (Modeling and Simulation of Biosystems) at Universidade do Estado da Bahia, 65 p., 2023.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Recuperação da China faz emissão global crescer 1,1% em 2023**. 2023a. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/recuperacao-da-china-faz-emissao-global-crescer-11-em-2023/> Acesso em: em 6 dez. 2023.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA b. **Última década viu intensificação alarmante da crise do clima, diz relatório**. 2023b. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/ultima-decada-viu-intensificacao-alarante-da-crise-do-clima-diz-relatorio/> Acesso em: 6 dez. 2023.

OFFENBERG, J.; NIELSEN, J. S.; DAMGAARD, C.; SANTOS, G. M.; OFFENBERG, J. Wood Ant (*Formica polyctena*) Services and Disservices in a Danish Apple Plantation. **Sociobiology**, v. 66, n. 2, p. 247-256, 2019.

PAIVA, W. S. **Sequestro de carbono em um remanescente de floresta densa na Amazônia brasileira**. Monografia (Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural da Amazônia, *Campus* Parauapebas, 31 p., 2018.

PAOLETTI, M. G.; HASSALL, M. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 157-165, 1999.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015.

PARSONS, S. A.; VALDEZ-RAMIREZ, V.; CONGDON, R. A.; WILLIAMS, S. E. Contrasting patterns of litterfall seasonality and seasonal changes in litter decomposability in a tropical rainforest region. **Biogeosciences**, v. 11, n. 18, p. 5047-5056, 2014.

PAUSAS, J. G.; BOND, W. J. On the three major recycling pathways in terrestrial ecosystems, **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdã, v. 35, n. 9, p. 767-775, sep/2020.

PEIXOTO NETO, R. M. DA S. **Processo de decomposição de serrapilheira atuando como mecanismo de facilitação**. Dissertação (Ecologia). Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 49 p., 2017.

PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. DOS; AMORIM, T. DE A., MENEZES, C. E. G. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de Floresta Atlântica. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1317-1327, Sep-Oct/2013.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; CORNELISSEN, J. H.; VENDRAMINI, F.; CABIDO, M.; CASTELLANOS, A. Chemistry and toughness predict leaf litter decomposition rates over a wide spectrum of functional types and taxa in central Argentina. **Plant and soil**, v. 218, p. 21-30, 2000.

PÉREZ-SUÁREZ, M.; ARREDONDO-MORENO, J. T.; HUBER-SANNWALD, E.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J. Production and quality of senesced and green litterfall in a pine-oak forest in central-northwest Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1307-1315, 2009.

PINTO, L.P.; HIROTA, M. M. **30 anos de Conservação do Hotspot de Biodiversidade da Mata Atlântica: desafios, avanços e um olhar para o futuro**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2022.

PIVA, L. R. DE O.; SANQUETTA, C. R.; WOJCIECHOWSKI, J.; CORTE, A. P. D. Estoques de biomassa e carbono na Amazônia brasileira: uma nova abordagem. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. Supl. 2, p. 1-20, 2021.

QUADROS, A. F. Os isópodos terrestres são boas ferramentas para monitorar e restaurar áreas impactadas por metais pesados no Brasil? **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 569-583, 2010.

REBÊLO, A. G. M.; CAPUCHO, H. L. V.; PAULETTO, D.; DANTAS, E. F. Estoque de nutrientes e decomposição da serrapilheira em sistemas agroflorestais no município de Belterra - Pará. **Ciência Florestal**, v.32, 2022.

ROSA, T. F. D.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; FEITOSA, I. P.; ABREU, F. F. M. Produção e decomposição de serrapilheira em povoamentos de teca no estado de Mato Grosso, Brasil. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 1117-1127, 2017.

SÁ, J. G. B. DE. **Litter production and action of functional groups of terrestrial invertebrates in a native fragment of the Atlantic Forest in Bahia (Brazil)**. Dissertation (Modeling and Simulation of Biosystems), Bahia State University, 55 p., 2023.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. DE S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 13, n. 2, abr. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000200012>

SANTOS, J. F. C.; MENDONÇA, B. A. F.; DE ARAÚJO, E. J. G.; DE ANDRADE, C. F. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 15, n. 3, 2017.

SANTOS, P. M.; BOHRER, C. B. de A.; NASCIMENTO, M. T. Impactos das mudanças de uso e cobertura da terra em fitofisionomias da Mata Atlântica. **Ambiente & Sociedade**, v. 27, p. e01701, 2024.

SAYER, E. J.; RODTASSANA, C.; SHELDRAKE, M.; BRECHET, L. M.; ASHFORD, O. S.; LOPEZ-SANGIL, L.; TANNER, E. V. Revisiting nutrient cycling by litterfall—Insights from 15 years of litter manipulation in old-growth lowland tropical forest. *In: Advances in ecological research*. Academic Press, p. 173-223, 2020.

SCORIZA, R. N.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Influence of precipitation and air temperature in production of litterfall in stretch of seasonal forest. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 687-695, 2014.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Observatório do Clima, Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – SEEG. 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 30 dez. 2023.

SILVA, J. P. DA. **Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serrapilheira sob remanescentes de vegetação nativa**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 84 p., 2018.

SILVA, M. A. M. **Efeito de borda na estrutura e na dinâmica espaço-temporal de um fragmento de Mata Atlântica no Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife - PE, 48 p., 2010.

SILVA, S. A. DA. **Contribution of tree species to litter production and in the action of terrestrial invertebrates in the Atlantic Forest of Bahia (Brazil)**. Dissertation (Modeling and Simulation of Biosystems), Bahia State University, 54 p., 2023.

SILVA, N. S. DA; DE OLIVEIRA, L. R.; DA SILVA, M. D.; TIENGO, G. E.; DE PÁDUA, O. A. T.; DOS SANTOS, W. S.; RAMOS, T. V. Comportamento de deposição de serapilheira e estoque de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v. 12, p. e13998-e13998, 2023.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOUZA, F. C. S. DE. **Estudo do padrão de interação predador - presa em dinâmica de populações aplicado ao controle biológico de pragas**. Monografia (Ciências Exatas e Tecnológicas), Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas, Bahia, 46 p., 2017.

SOUZA, R. A. DE; MESQUITA JUNIOR, H. N. (Coords.) **Cap. 5. Florestas**. In: COELHO, H. A.; CORRÊA, A. A. (Coords.) Relatório de qualidade do meio ambiente RQMA Brasil 2020. IBAMA, Brasília, DF, p. 301-365, 2022.

TOLEDO, L. de O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, v. 12, p. 09-16, 2002.

TREEHUGGER. **O que são sumidouros de carbono? Como eles impactam as mudanças climáticas?** 2022. Disponível em: <https://www.treehugger.com/what-are-carbon-sinks-6833534#citation-1> Acesso em: 6 dez. 2023.

UNITED NATIONS. **Adoption of the Paris Agreement**. 32 p., 2015.

VANALI, A. C.; TAVARES, J. R.; MIRANDA, S. G. Breve estudo sobre como reduzir a emissão de gás carbônico ou dióxido de carbono (CO₂) pelas empresas ferroviárias. **Conhecimento Interativo**, v. 17, n. 2, p. 1-39, 2024.

VASCONCELOS, V.; RIBEIRO, M. DE S. Inovação ambiental e iniciativas gerenciais de redução de carbono: o efeito moderador do poder do CEO. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 20, n. 54, 2023.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, jan-jun/1934.

WEATHER SPARK. 2022. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com> Acesso em: 30 nov. 2022.

WRI BRASIL. **Florestas absorvem duas vezes mais CO₂ do que emitem por ano**. 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/> Acesso em: 6 dez. 2023.

XIONG, S.; NILSSON, C. The effects of plant litter on vegetation: a meta- analysis. **Journal of Ecology**, v.87, n.6, p.984-994, 1999.

XULUC-TOLOSA, F. J.; VESTER, H. F.; RAMIREZ-MARCIAL, N.; CASTELLANOS-ALBORES, J.; LAWRENCE, D. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 174, n. 1-3, p. 401-412, 2003.

YU, S.; MO, Q.; LI, Y.; LI, Y.; ZOU, B.; XIA, H.; WANG, F. Changes in seasonal precipitation distribution but not annual amount affects litter decomposition in a secondary tropical forest. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 19, p. 11344-11352, 2019.

YUE, K.; PENG, C.; YANG, W.; PENG, Y.; ZHANG, C.; HUANG, C.; WU, F. Degradation of lignin and cellulose during foliar litter decomposition in an alpine forest river. **Ecosphere**, v. 7, n. 10, p. 201523. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1523>, 2016.

ZHOU, R.; LI, W.; ZHANG, Y.; PENG, M.; WANG, C.; SHA, L.; WANG, S. Responses of the carbon storage and sequestration potential of forest vegetation to temperature increases in Yunnan Province, SW China. **Forests**, v. 9, n. 5, p. 227, 2018.