



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**PRODUÇÃO, DECOMPOSIÇÃO E ESTOQUE DE CARBONO EM SERAPILHEIRA
NA FLORESTA NACIONAL MÁRIO XAVIER, SEROPÉDICA, RIO DE JANEIRO**

Julia Martins Dias de Oliveira

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

**PRODUÇÃO, DECOMPOSIÇÃO E ESTOQUE DE CARBONO EM SERAPILHEIRA
NA FLORESTA NACIONAL MÁRIO XAVIER, SEROPÉDICA, RIO DE JANEIRO**

JULIA MARTINS DIAS DE OLIVEIRA

Sob a orientação do professor
Emanuel José Gomes de Araújo

E coorientação do professor
Marco Antonio Monte

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

Seropédica, RJ
Agosto 2022

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48p Oliveira, Julia Martins Dias de, 1996-
 Produção, decomposição e estoque de carbono em
 serapilheira na Floresta Nacional Mário Xavier,
 Seropédica, Rio de Janeiro / Julia Martins Dias de
 Oliveira. - Seropédica, 2022.
 55 f.: il.

 Orientador: Emanuel José Gomes de Araújo.
 Coorientador: Marco Antonio Monte.
 Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
 Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
 Ciências Ambientais e Florestais, 2022.

 1. Mata Atlântica. 2. Unidade de Conservação. 3.
 Biomassa. 4. Krigagem. I. Araújo, Emanuel José Gomes
 de, 1984-, orient. II. Monte, Marco Antonio, 1976-,
 coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
 Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências
 Ambientais e Florestais. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

JULIA MARTINS DIAS DE OLIVEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18/08/2022

Emanuel José Gomes de Araújo. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Vinícius Augusto Moraes. Dr. UNEMAT

Rafaella De Angeli Curto. Dr^a. UFRRJ



Emitido em 2022

TERMO Nº 977/2022 - PPGCAF (12.28.01.00.00.00.27)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 05/09/2022 20:36)

EMANUEL JOSE GOMES DE ARAUJO

DeptSil (12.28.01.00.00.00.00.31)

Matrícula: ###782#5

(Assinado digitalmente em 05/09/2022 19:17)

RAFAELLA DE ANGELI CURTO

DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.00.29)

Matrícula: ###512#3

(Assinado digitalmente em 05/09/2022 17:49)

VINICIUS AUGUSTO MORAIS

CPF: ###.###.806-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: **977**, ano: **2022**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **05/09/2022** e o código de verificação: **a337b3044e**

A minha família, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem Ele nada disso seria possível;

Aos meus pais Nadia e João Carlos, minha avó Josenilda e tias Katia e Tânia, que sempre incentivaram meus estudos, dando todo apoio necessário para a realização dos meus objetivos;

Ao meu orientador, Professor Emanuel José Gomes de Araújo, pelos ensinamentos, dedicação, confiança e experiências proporcionadas desde a graduação;

Ao meu coorientador, Professor Marco Antonio Monte pelos ensinamentos e contribuições ao longo da realização deste trabalho;

Aos professores Rafaella de Angeli Curto e Vinícius Augusto Moraes por aceitarem participar da banca, contribuindo com a qualidade do trabalho;

Aos professores Alexandre Miguel, Bruno Araújo, Paulo Leles, Azarias Andrade, Natália Dias, Marcos Gervásio, Vanessa Basso, Francisco Laudares e Ricardo Neves por toda ajuda para a realização deste trabalho;

Ao meu irmão, pela paciência, parceria em campo e por sempre estar disposto a tirar minhas dúvidas;

Aos meus primos e amigos Gabriel, Thadeu, Maria Vitória, João Pedro, Miguel, Mariana, Alfredo, Nilson, Guilherme e Ismael, pelo apoio em diversas situações durante todo esse período;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF) por fornecer ensino de qualidade e ser minha segunda casa durante esses quase oito anos de jornada;

À equipe do LAMFLOR, composta pelo Danilo, Lucas, Karla, Ana, Natália, Letícia e Bruno por todos esses anos de parceria e aprendizados. Sem vocês as atividades de campo não teriam sido possíveis;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida;

À Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) pelo suporte financeiro para a realização dessa pesquisa;

Aos funcionários da Fazendinha Agroecológica (Embrapa), pelo fornecimento de parte do material necessário para a montagem dos coletores;

Ao Gestor da Floresta Nacional Mário Xavier, Ricardo Souza e demais funcionários, por todo auxílio durante as coletas de campo;

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Divisão dos talhões utilizados para os estudos, espécie plantada, ano de ocorrência do plantio, número de unidades amostrais, área e porcentagem de área amostrada, na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	11
Tabela 2. Número de indivíduos e fitossociologia das três espécies com maior índice de valor de importância em cada talhão e para a área total na Floresta Nacional Mário Xavier, no município Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	18
Tabela 3. Variáveis dendrométricas, número de espécies, indivíduos, diversidade e equabilidade por talhões e para a área total na Floresta Nacional Mário Xavier, no município Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	19
Tabela 4. Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para os valores de produção média de serapilheira total, por compartimentos, e mensal na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	20
Tabela 5. Resultado do teste de t de Student para comparação de amostras independentes, considerando a produção média mensal de serapilheira (Mg ha^{-1}) na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	21
Tabela 6. Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para os valores de produção média (Mg ha^{-1}) de serapilheira por talhão na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	24
Tabela 7. Tempo em dias para a avaliação da constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	29
Tabela 8. Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para o carbono estocado na serapilheira e seus compartimentos na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	30
Tabela 9. Estatísticas de ajuste do modelo de semivariância e índice de dependência espacial para a variável carbono (Mg ha^{-1}) na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	9
Figura 2. Precipitação acumulada, temperatura mensal média mínima e máxima (a) umidade relativa e velocidade média máxima do vento (b) obtidas na estação meteorológica automática Ecologia Agrícola, próxima a Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	10
Figura 3. Distribuição dos talhões e das unidades amostrais na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	11
Figura 4. Produção mensal dos compartimentos de serapilheira, coletada no período de junho/2021 a maio/2022, na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	21
Figura 5. Figura 5: Correlação entre os fatores microclimáticos e a produção total de serapilheira (Mg ha^{-1}) na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. Considerando: precipitação (P), média de temperatura máxima (TMAX), média de temperatura mínima (TMIN), umidade relativa (UR), velocidade máxima do vento (V), compartimento folha (F), compartimento lenhoso (L), compartimento reprodutivo (R), compartimento miscelânea (M) e total (T).	22
Figura 6. Gráficos dos valores de produção em função da precipitação (P), velocidade máxima do vento (V) e temperatura média mínima ($^{\circ}\text{C}$) na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	23
Figura 7. Produção mensal de serapilheira coletada no período de junho/2021 a maio/2022, nos talhões estudados na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	25
Figura 8. Comportamento do material remanescente das amostras de serapilheira (30g) avaliada nos talhões na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.....	27
Figura 9. Correlação entre os fatores microclimáticos e o material remanescente da decomposição (%) na Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica, Brasil. Considerando: precipitação (P), média de temperatura máxima (TMAX), média de temperatura mínima (TMIN), umidade relativa (UR), velocidade máxima do vento (V), Talhão 1 (T1), Talhão 2 (T2), Talhão 3 (T3), Talhão 4 (T4), Talhão 5 (T5) e Talhão 6 (T6)	28
Figura 10. Figura 10: Espacialização do estoque de carbono na serapilheira e seus compartimentos em Mg ha^{-1} por meio da krigagem ordinária em todos os talhões estudados na Floresta nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. Em que: T1 = sapucaia; T2 = sabiá; T3 = andá-açú; T4 = sumaúma; T5 = misto; T6 = eucalipto a. e T7 = eucalipto j.....	31

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Floresta Nacional Mário Xavier	4
3.2. Produção e decomposição de serapilheira	5
3.3. Estoque de carbono na serapilheira	6
3.4. Geoestatística	7
4. MATERIAIS E MÉTODOS	9
4.1. Localização e caracterização da área de estudo	9
4.2. Amostragem	10
4.3. Obtenção dos dados	12
4.3.1. Inventário florestal, análise florística e fitossociológica	12
4.3.2. Produção de serapilheira.....	12
4.3.3. Decomposição de serapilheira	13
4.3.4. Biomassa e estoque de carbono na serapilheira.....	14
4.4. Análise dos dados.....	14
4.4.1. Produção e decomposição	14
4.4.2. Espacialização do carbono.....	14
5. RESULTADOS.....	17
5.1. Caracterização dos talhões, análise florística e fitossociológica.....	17
5.2. Produção de serapilheira	19
5.2.1. Produção de serapilheira por compartimentos e mensal	19
5.2.2. Produção de serapilheira por talhões	23
5.3. Decomposição de serapilheira.....	25
5.4. Estoque e espacialização do carbono na serapilheira	29
6. DISCUSSÃO.....	32
6.1. Estrutura, fitossociologia e florística.....	32
6.2. Produção de serapilheira	33
6.3. Decomposição de serapilheira.....	34
6.4. Estoque de carbono e espacialização.....	35
7. CONCLUSÃO	37
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMO

Conhecer a dinâmica de produção, decomposição e estoque de carbono na serapilheira considerando as diferentes composições florestais presentes na Floresta Nacional Mário Xavier, auxilia na compreensão da atual condição e comportamento da floresta. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivos quantificar a produção, decomposição e o estoque de carbono da serapilheira na Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. A coleta de dados ocorreu em duas abordagens diferentes. Para realização do inventário florestal e avaliação da produção e decomposição de serapilheira, foram considerados seis talhões compostos por diferentes tipos de vegetação arbórea, em que foram distribuídas 13 unidades amostrais (UA) 800 m² (20 x 40 m) pelo processo de amostragem casual simples. Em cada uma dessas unidades foram instalados três coletores e 12 *litterbags* (quatro por coletor) por UA. A serapilheira depositada nos coletores foi avaliada mensalmente, e a cada três meses, um *litterbag* por coletor foi retirado da área (três por UA) durante o período de junho de 2021 a maio de 2022. Para o estudo de estoque de carbono foram considerados além dos seis talhões, mais um talhão composto somente por plantios de eucalipto, e nesse caso 20 UA de 1 m² (1 x 1 m) foram alocadas para coleta de toda serapilheira presente na superfície do solo em maio de 2022. Os dados obtidos no inventário florestal foram utilizados para realizar análise florística e fitossociológica dos talhões em conjunto e individualmente. Foi realizada análise da estatística descritiva para os dados de produção por compartimento, produção mensal e produção de serapilheira por talhão. Os valores de produção mensal e o por talhões foram comparados por meio do teste t de Student ($\alpha = 0,05$) para amostras independentes, e os dados de produção mensal foram correlacionados com variáveis climáticas por meio da correlação de Pearson. Os que apresentaram correlação significativa foram relacionados por meio da regressão linear simples. Para os dados de decomposição, foram calculados a porcentagem de material remanescente, a constante de decomposição (K) e o tempo de meia vida por talhão e a porcentagem de material remanescente de cada talhão foi correlacionada com as variáveis climáticas por meio da correlação de Pearson. O valor de carbono estocado na serapilheira total e seus compartimentos foi obtido para posterior espacialização utilizando a geoestatística e o interpolador da krigagem ordinária. O estoque de carbono na serapilheira apresenta estrutura de dependência espacial, sendo o seu valor médio de estoque na FLONA de 3,38 Mg ha⁻¹, com maiores concentrações no talhão dos eucaliptos. A produção anual de serapilheira é influenciada pela sazonalidade do clima, principalmente pelas variáveis precipitação, temperatura média mínima e velocidade máxima do vento, com estimativa média anual de 10,44 Mg ha⁻¹ e mensal de 0,87 Mg ha⁻¹. A taxa de decomposição na FLONA é reduzida para todos os talhões, sendo necessário mais de um ano para a decomposição completa do material, em que a porcentagem de material remanescente apresenta correlação inversamente proporcional significativa com a temperatura média máxima.

Palavras-chave: Mata Atlântica. Unidade de Conservação. Biomassa. Krigagem.

ABSTRACT

Knowing the dynamics of production, decomposition and carbon stock in the litter, considering the different forest compositions present in Floresta Nacional (FLONA) Mário Xavier, helps in understanding the current condition and behavior of the forest. Therefore, the present work has the objective to quantify the production, decomposition and carbon stock of litter in the Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil. Data collection took place in two different approaches. To carry out the forest inventory and evaluation of litter production and decomposition, six stands composed of different types of arboreal vegetation were considered, in which 13 sampling units (SU) 800 m² (20 x 40 m) were distributed by the Sampling Simple Casual. In each of these units, three collectors and 12 litterbags (four per collector) were installed per SU. The litter deposited in the collectors was evaluated monthly, and every three months, one litterbag per collector was removed from the area (three per SU) during the period from June 2021 to May 2022. For the study of carbon stock, in addition to the six stands, another stand composed only of eucalyptus plantations were considered, and in this case 20 AU of 1 m² (1 x 1 m) were allocated to collect all litter present on the soil surface in May 2022. Data obtained from the forest inventory were used to perform floristic and phytosociological analysis of the stands together and individually. Descriptive statistics analysis was performed for production data per compartment, monthly production and litter production per plot. Monthly production values and per plot values were compared using Student's t test ($\alpha = 0.05$) for independent samples, and monthly production data were correlated with climatic variables through Pearson's correlation. Those that showed a significant correlation were related using simple linear regression. For the decomposition data, the percentage of remaining material, the decomposition constant (K) and the half-life time per stand were calculated and the percentage of remaining material from each stand was correlated with the climatic variables using Pearson's correlation. The amount of carbon stored in the total litter and its compartments was obtained for further spatialization using geostatistics and the interpolator of ordinary kriging. The carbon stock in the litter presents a spatial dependence structure, with an average stock value in the FLONA of 3.38 Mg ha⁻¹, with higher concentrations in the eucalyptus stand. The annual litter production is influenced by the seasonality of the climate, mainly by the variables precipitation, minimum average temperature and maximum wind speed, with an annual average estimate of 10.44 Mg ha⁻¹ and a monthly estimate of 0.87 Mg ha⁻¹. The rate of decomposition in FLONA is reduced for all stands, requiring more than a year for the complete decomposition of the material, in which the percentage of remaining material presents a significant inverse proportional correlation with the maximum average temperature.

Keywords: Atlantic forest. Conservation Unit. Biomass. Kriging.

1. INTRODUÇÃO

As expressivas mudanças climáticas que ocorrem no planeta são, principalmente, devido ao aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Os desmatamentos, mudanças de uso da terra e incêndios florestais, são atividades que contribuem de forma significativa para as emissões anuais de CO₂ atmosférico (JUNGES et al., 2018). No Brasil, o bioma Mata Atlântica é o mais ameaçado devido ao seu estado crítico de devastação. A intensidade de sua degradação, faz com que hoje seja considerada a quinta área mais ameaçada, e um dos mais importantes *hotspots* do planeta (GOMES; REIS; CRUZ, 2009).

Essas situações tornam os ambientes mais suscetíveis a antropização e alterações climáticas, influenciando negativamente na biodiversidade, processos biológicos e serviços ecossistêmicos. Esses danos afetam a produção e a decomposição da biomassa florestal que está diretamente ligada ao estoque de carbono (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013; CORREIA et al., 2016).

O ecossistema florestal é composto por diferentes compartimentos, dentre eles está a serapilheira, que atua influenciando diretamente o processo de sucessão ecológica por meio dos processos naturais da floresta. Esse compartimento é formado pelo material recém-caído na parte superficial do solo florestal, constituído por folhas, caules, cascas, ramos, flores e inflorescências, frutos, sementes e fragmentos vegetais não identificáveis (CIANCIARUSO et al., 2006). Com o passar do tempo, a serapilheira sofre o processo de decomposição, onde ocorre a liberação dos nutrientes e matéria orgânica para solo que, conseqüentemente, são disponibilizados para as plantas (GODINHO et al., 2014).

Existem diversos estudos com o objetivo de avaliar a produção e a decomposição da serapilheira nas mais diferentes formações florestais presentes no Brasil (PEREIRA et al., 2008; CUNHA NETO et al., 2013; GODINHO et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2015; AQUINO et al., 2016). Conhecer as características de produção e decomposição da serapilheira, geram informações que podem ser utilizadas como indicadores de avaliação e monitoramento da área, uma vez que a serapilheira é considerada a principal forma de adição de matéria orgânica e nutrientes ao solo da floresta (POGGIANI et al., 1998).

A serapilheira também atua como sumidouro de carbono nos ecossistemas florestais. Em geral, estudos realizados com enfoque no estoque de carbono, consideram geralmente o indivíduo arbóreo como um todo (GASPAR et al.; 2014), somente o fuste (RIBEIRO et al.; 2009), o solo (DENARDIN et al.; 2014), e não a serapilheira, que conecta esses ambientes.

A capacidade de estoque de carbono nesse compartimento já foi avaliada por muitos estudos, como por exemplo Torres et al., (2013) e Rocha et al., (2014). Em sua maioria essas pesquisas utilizam a estatística clássica para representar a variável e conhecer a média de estoque local, desconsiderando sua possível relação de dependência espacial, como no estudo realizado por Moraes et al., (2017). A aplicação do método geoestatístico possibilita a estimativa e o mapeamento de variáveis regionalizadas em locais não amostrados através da contribuição de amostras com valores conhecidos (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A componente espacial já foi utilizada para realizar estimativas de variáveis dendrométricas (PELISSARI et al., 2014) e componentes do solo (AQUINO et al., 2014), apresentando resultados satisfatórios nas ciências agrárias. Moraes et al. (2017) estudando o bioma Cerrado, indicou que a biomassa e o estoque de carbono presente na serapilheira possuem estrutura de dependência espacial. Scolforo et al. (2015) estimaram a distribuição espacial do estoque de carbono pelo método da krigagem com regressão de maneira eficiente nos biomas Floresta Atlântica, Caatinga e Cerrado.

Considerando a hipótese de que a produção e a decomposição da serapilheira estão relacionadas com as características sazonais do clima, composição e estágio sucessional da cobertura florestal, e que o estoque de carbono na serapilheira apresenta estrutura de

continuidade espacial, esse trabalho busca contribuir com informações para futuras ações de conservação e manejo na Floresta Nacional Mário Xavier.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Quantificar a produção, decomposição e o estoque de carbono da serapilheira na Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a produção e a decomposição de serapilheira em diferentes talhões de vegetação presentes na FLONA durante um ano;
- Avaliar a correlação da sazonalidade do clima na produção e decomposição de serapilheira na FLONA durante um ano;
- Avaliar e espacializar o estoque de carbono na serapilheira e seus compartimentos em diferentes talhões de vegetação na FLONA.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Floresta Nacional Mário Xavier

A criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) no ano de 2000, foi fundamental na organização e na gestão das Unidades de Conservação no Brasil. Segundo o SNUC as Unidades de Conservação são: “um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (BRASIL, 2000). Uma das diretrizes atribuídas pelo SNUC foi a subdivisão das Unidades de Conservação em dois grupos: unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável.

A Floresta Nacional (FLONA) é uma das sete unidades de conservação enquadradas no grupo de uso sustentável. Segundo o SNUC, “Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas” (BRASIL, 2000). A FLONA Mário Xavier está inserida no grupo onde as unidades estão direcionadas para a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Criada em 8 de outubro de 1986, a partir da publicação do Decreto Federal nº 93.369, a área passou por diferentes usos, e lhe foram atribuídos diferentes nomes previamente à delimitação legal como unidade de conservação.

O desenvolvimento da área esteve, desde seu princípio, relacionado com a atual Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. A primeira vocação foi como Horto Florestal de Santa Cruz, criado na década de 1940, e tinha como objetivo a experimentação e divulgação de práticas silviculturais, somada a produção de mudas nativas e exóticas, de forma a substituir o Horto da Gávea, para contribuir no reflorestamento de áreas no Rio de Janeiro e Minas Gerais (SOUZA 2017; SOUZA; VARGAS, 2020). O engenheiro agrônomo Mário de Figueiredo Xavier teve papel importante para o desenvolvimento do Horto. O mesmo ocupou o cargo de administrador de 1945 até 1951, e de chefe a partir de 1954, ano em que a área passou a ser denominada como Estação de Experimentação Florestal de Santa Cruz (SOUZA, 2017).

Em razão de funcionar como Horto Florestal, e posteriormente como Estação de Experimentação Florestal, a atual FLONA Mário Xavier apresenta uma flora bastante influenciada por ações antrópicas. Uma das primeiras atividades realizadas quando Horto Florestal foi a formação de povoamentos de diversas espécies de eucalipto entre os anos de 1944 e 1946, dentre as quais se destacam *E. trautviti*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. botryoides*, *E. paniculata* e *C. citriodora* (SOUZA, 2017). No período de 1946 a 1977 foram implantados talhões homogêneos com área de 1 ha, e espaçamento 2 x 2 m, de espécies dos gêneros: *Joannesia*, *Apuleia*, *Lafoensia*, *Adenanthera*, *Pterogyne*, *Caesalpinia*, *Cariniana*, *Felicionia*, *Schizolobium*, *Lonchocarpus*, *Platypodium*, *Pinus*, *Erythroxylum*, *Dillenia*, dentre outros. Além disso, entre 1952 e 1971 foram implantados talhões dos gêneros *Tecoma*, *Tabebuia*, *Hymenaea*, *Myroxylum*, *Myrocarpus*, *Paratecoma*, *Cedrela*, *Reputia* que funcionariam como porta-sementes, com espaçamento de 9,8 x 10 m (SOUZA, 2017).

Dos 496 ha que constituem a FLONA Mário Xavier, 87 ha são ocupados por espécies oriundas de plantios para restauração florestal em forma de talhões de espécies exóticas e talhões mistos. Na FLONA também estão presentes 9 talhões que se distinguem na paisagem, sendo estes: *Joannesia princeps* Vell. (andá-açu), *Lophanthura lactescens* Ducke. (lanterneira), *Lecythis pisonis* Cambess. (sapucaia), *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. (sabiá), *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (sumaúma), *pinus*, eucaliptos jovens, eucaliptos antigos e talhões mistos. Além disso, ressaltam que os talhões do gênero *Eucalyptus* ocupam a maior parte da área, estando os

talhões de eucaliptos plantados na década de 1940 sobre processo progressivo de revegetação natural. Adicionalmente, na atualidade existem projetos de revegetação em fase de manutenção na área, tendo destaque um projeto implantado em 2013 com 1,7 ha utilizando espécies nativas da Mata Atlântica pela companhia de energia elétrica Furnas Centrais Elétricas S.A em razão da ampliação de uma subestação na zona oeste do Rio de Janeiro (ALVES; VARGAS, 2019).

3.2. Produção e decomposição de serapilheira

A serapilheira é um importante compartimento presente nos ecossistemas florestais, influenciando diretamente o processo de sucessão ecológica, por meio dos processos naturais da floresta. Esse compartimento é formado pelo material recém-caído na parte superficial do solo da floresta, constituído por folhas, caules, cascas, ramos, flores e inflorescências, frutos, sementes e fragmentos vegetais não identificáveis (CIANCIARUSO et al., 2006). A serapilheira é composta de maneira geral, de 60 a 80% de folhas, 1 a 15% de ramos e 1 a 25% de casca, destacando que as folhas são uma peça importante para analisar a capacidade de produção de serapilheira numa floresta (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003).

A produção de serapilheira pode variar anualmente ou sazonalmente. Essa característica pode estar relacionada com a composição de espécies e suas respectivas fenologias, tipo de clima e estágio sucessional que a vegetação apresenta (PAUDEL et al., 2015). As florestas estacionais sempre-verdes e com menor produção de serapilheira em relação às florestas sazonais, apresentam correlação entre a temperatura média anual e precipitação bem como diferenças na produção entre florestas maduras e secundárias (MARTINELLI et al., 2017). As variações na deposição dos componentes da serapilheira também ocorrem como reflexos dos padrões fenológicos das espécies de plantas ao longo dos estágios sucessionais (ZHOU et al., 2007). Florestas em estágios mais avançados, com ampla cobertura do dossel, apresentam produção da serapilheira mais elevada em comparação às florestas secundárias (CHAVE et al., 2010).

A maior complexidade estrutural das florestas mais maduras se reflete em uma maior produção de serapilheira (BARBOSA; FARIA, 2006; PINTO et al., 2008) e no maior acúmulo de serapilheira sobre a superfície do solo (LUGO; HELMER, 2004). Esta serapilheira comumente apresenta maiores concentrações de nutrientes, em comparação com aquela produzida em estágios iniciais (TOLEDO; PEREIRA; MENEZES, 2002; VASCONCELOS; LAURANCE, 2005; BARBOSA; FARIA, 2006; PINTO et al., 2009). Esse padrão é consequência da produção de uma serapilheira mais heterogênea pelas comunidades vegetais com maior diversidade, nas florestas maduras. Com isto, pode-se observar um maior estoque de nutrientes no solo nestes ecossistemas (PINTO et al., 2009).

Em áreas de floresta semidecídua com diferentes níveis de perturbação, a produção de serapilheira ocorre em áreas mais preservadas, seguindo uma tendência de queda com o aumento do nível de perturbação, mesmo que a composição da floresta apresente um maior número de espécies pioneiras. Nesse caso, a produção de serapilheira também poderia estar relacionada à proporção ocupada pelas copas (WERNECK; PEDRALLI; GIESEKE, 2001).

A deposição de serapilheira também funciona como indicador na avaliação e monitoramento dos pós plantio de florestas para a restauração de áreas, pois permite avaliar o controle da erosão superficial, assim como o processo de dinâmica florestal (RODRIGUES, 1998). A maior queda de folhas geralmente ocorre em períodos de deficiência hídrica do solo, tendo a correlação entre a maior produção de serapilheira e a menor disponibilidade de água no solo constatada em diversos estudos, para diferentes formações vegetais (CÉSAR, 1993).

Com o passar do tempo, a serapilheira sofre o processo de decomposição, onde ocorre a liberação dos nutrientes e matéria orgânica para solo que, conseqüentemente, são disponibilizados para as plantas (GODINHO et al., 2014). O processo de decomposição da

serapilheira é de fundamental importância para a manutenção da ciclagem de nutrientes, sendo este o aspecto mais estudado, e geralmente associado com a quantificação dos nutrientes que retornam ao solo pela decomposição. Como a composição da serapilheira varia em relação a estrutura e composições químicas, a velocidade de decomposição dessas frações é proporcional a cada componente (CIANCIARUSO et al., 2006).

É um processo que ocorre de forma dinâmica, onde acontecem ao mesmo tempo os processos químicos, físicos e biológicos para que o produto final retorne ao solo. A variação da velocidade das taxas de decomposição das regiões vai depender das condições do ambiente em relação aos tipos de processo e da qualidade orgânica e nutricional do material que foi depositado (CORREIA; ANDRADE, 2008). O processo de decomposição de serapilheira está diretamente relacionado com o estágio que a vegetação se encontra, funcionando como indicador de qualidade ecológica dos ecossistemas florestais (MARTINS; RODRIGUES, 1999). Florestas que estão classificadas como estágio sucessional inicial, apresentam processos de decomposição mais lentos, pois o material que compõe a serapilheira é mais rígido, dificultando a atuação dos organismos decompositores (SELLE et al., 2007).

3.3. Estoque de carbono na serapilheira

O carbono é considerado um elemento determinante para a presença de vida no planeta. Devido a sua capacidade de formar até quatro ligações covalentes, é o constituinte estrutural de uma grande variedade de compostos essenciais como: proteínas, carboidratos, lipídeos, pigmentos, entre outros (SOUZA et al., 2012).

O ciclo do carbono pode ser dividido em duas partes, ciclo geoquímico e ciclo biológico. O primeiro está ligado a terra, os oceanos e os combustíveis fósseis, ou seja, os elementos abióticos. O segundo envolve os seres vivos, com os processos de fotossíntese e de respiração e o fluxo de matéria e de energia nas cadeias alimentares (PACHECO; HELENE, 1990). O processo do sequestro de carbono é um dos mais importantes serviços ecossistêmicos que ocorrem em áreas com vegetação florestal, contribuindo para a redução do aquecimento global e alterações climáticas (PARRON et al., 2015).

As florestas são ecossistemas terrestres de fundamental importância, pois estocam carbono em sua biomassa, e evitam emissões decorrentes de outros materiais potencialmente mais emissores. Com isso, o cultivo de florestas é uma alternativa para diminuir os efeitos das mudanças do clima e da degradação do ambiente em geral (SANQUETTA et al., 2018).

Os valores do estoque de biomassa seguem um padrão de aumento em função do estágio sucessional da floresta, mesmo em processos de restauração passiva. Elas são de grande relevância no contexto da qualidade ambiental, pois uma vez restaurada sua funcionalidade, será capaz de gerar serviços ecossistêmicos na região, principalmente sequestro de carbono atmosférico (DINIZ et al., 2015). O estoque de carbono presente numa floresta, seja nativa ou plantada, fornece informações sobre como os serviços ambientais funcionam na área, embasando tomadas de decisão sobre futuros procedimentos e práticas para recuperação de áreas degradadas com o objetivo de reduzir o efeito estufa (SANTOS et al., 2016).

Nas áreas que apresentam uma maior quantidade de espécies pioneiras, pode-se verificar maior produção de serapilheira devido seu crescimento acelerado, contribuindo assim para um maior estoque de carbono nesse compartimento (LAURANCE; VASCONCELOS, 2009). A serapilheira é a principal via de transferência de carbono orgânico para o solo (PARTON et al., 2007), é comum utilizar o fator de conversão de biomassa para carbono de 0,5, pois considera-se que cerca de 50% da biomassa seca é composta de carbono (FANG et al., 2001).

A produção da serapilheira está diretamente ligada com a composição da estrutura florestal, distribuição e diversidade das espécies, intensidade da cobertura florestal, estágio sucessional, idade da floresta, época de coleta e a região em que a mesma está inserida

(CALDEIRA et al., 2008), consequentemente afetando estoque de carbono. No estado de Minas Gerais foram encontrados valores de biomassa de serapilheira maiores para o Cerradão do que no Cerrado Senso Stricto e Campo Cerrado (ALTOÉ, 2017). Também foi observado que o estoque de carbono apresentou o mesmo comportamento, indicando tendência crescente dos valores para as fitofisionomias dentro do bioma cerrado devido ao componente arbóreo refletindo na quantidade de biomassa e carbono da serapilheira

O estoque de carbono em diferentes ecossistemas e características climáticas, apresenta variação em função das diferentes composições e quantidades de serapilheira. Em florestas nativas, os estoques de carbono e nitrogênio da serapilheira total apresentaram pouca variabilidade entre as estações do ano, enquanto que para o eucalipto, os estoques foram superiores na estação seca em relação a e chuvosa (BARBOSA et al., 2017).

3.4. Geoestatística

A Geoestatística alia o conceito de variáveis aleatórias com o conceito de variáveis regionalizadas, podendo ser definida como “estudo de fenômenos que variam no espaço” (OLEA, 1991). O professor francês Georges Matheron, de 1962 a 1971, desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, que descreve os fundamentos da Geoestatística (LANDIM, 2006). Uma variável regionalizada é uma função numérica espacial, $z(x)$, em que os valores de um ponto amostral em relação aos demais pontos, variam entre si com continuidade espacial aparente (VIEIRA et al., 1983; YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Em outras palavras, assumindo que exista correlação espacial entre os pontos, unidades amostrais vizinhas possuem maior similaridade entre si em relação àquelas mais distantes, no espaço e no tempo.

Na década de 1980 a abordagem apresentada por Matheron passou a ter aplicações em várias áreas do conhecimento. Dentre estas, destacam-se a Agricultura de Precisão, Cartografia, Climatologia, Ecologia de Paisagem e Ciência Florestal, assumindo um papel mais abrangente do que o proposto inicialmente por Matheron (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Na ciência florestal, em nível mundial, os primeiros estudos de variáveis dendrométricas com continuidade espacial começaram a ser desenvolvidos no final da década de 1980 (MELLO et al., 2005).

Atualmente a aplicação da geoestatística está presente em diferentes áreas de estudos, desde geológicas (OLIVEIRA; ANTÔNIO, 2017), agronômicas e ciências do solo (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002; SOUZA et al., 2010), meteorológicas (MELLO; OLIVEIRA, 2016), ciências ambientais e florestais (MORAIS et al., 2017; ATAÍDE et al., 2022).

Estudos indicam que o estoque de carbono pode ser melhor estimado e a variação visualizada com a aplicação de técnicas espaciais, como a geoestatística (MORAIS et al., 2017; SCOLFORO et al., 2015). A utilização de métodos geoestatísticos são fundamentais para estudos da ecologia da vegetação, como a produção de serapilheira, que depende das características da vegetação de uma determinada área, podendo esta apresentar dependência espacial em sua distribuição (MILLER; FRANKLIN; ASPINAL, 2007).

Existem estudos que demonstram o potencial do uso da geoestatística e da krigagem ordinária para a espacialização e estimativa de biomassa e carbono, mostrando que a estatística clássica não é suficiente para explicar o comportamento de tais variáveis florestais (AMARAL et al., 2010), quando tais variáveis apresentam condição de dependência espacial. A técnica se mostrou eficiente para realizar a estimativa da distribuição espacial do estoque de carbono arbóreo pelo método da krigagem com regressão nos biomas de Floresta Atlântica, Caatinga e Cerrado (SCOLFORO et al., 2015). A krigagem com regressão mostrou resultados melhores para mapear e estimar distribuição do estoque de carbono para todo o estado de Minas Gerais (SCOLFORO et al., 2016).

Por meio da Krigagem com regressão, Altoé (2017) espacializou o estoque de carbono na parte aérea, serapilheira, raízes e solo, identificando que as florestas úmidas, Ombrófilas, presentes nos morros do sul de Minas Gerais concentram mais carbono total em comparação com as Florestas Estacionais Deciduais e, principalmente, Cerrados do centro-norte do estado.

Para a serapilheira, foi verificada a presença de dependência espacial na produção em uma mata de galeria, onde foram desenvolvidos mapas de produtividade por meio do método de interpolação da krigagem (AQUINO et al., 2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional Mário Xavier (FLONA), localizada no município de Seropédica ($22^{\circ}44'0,62''$ S $43^{\circ}42'33,25''$ O), estado do Rio de Janeiro, com área de 496 hectares. A FLONA foi criada pelo Decreto nº 93.369 de 08 de outubro de 1986 (BRASIL, 1986), e pertence à categoria de uso sustentável das Unidades de Conservação (SNUC, 2000) (Figura 1).

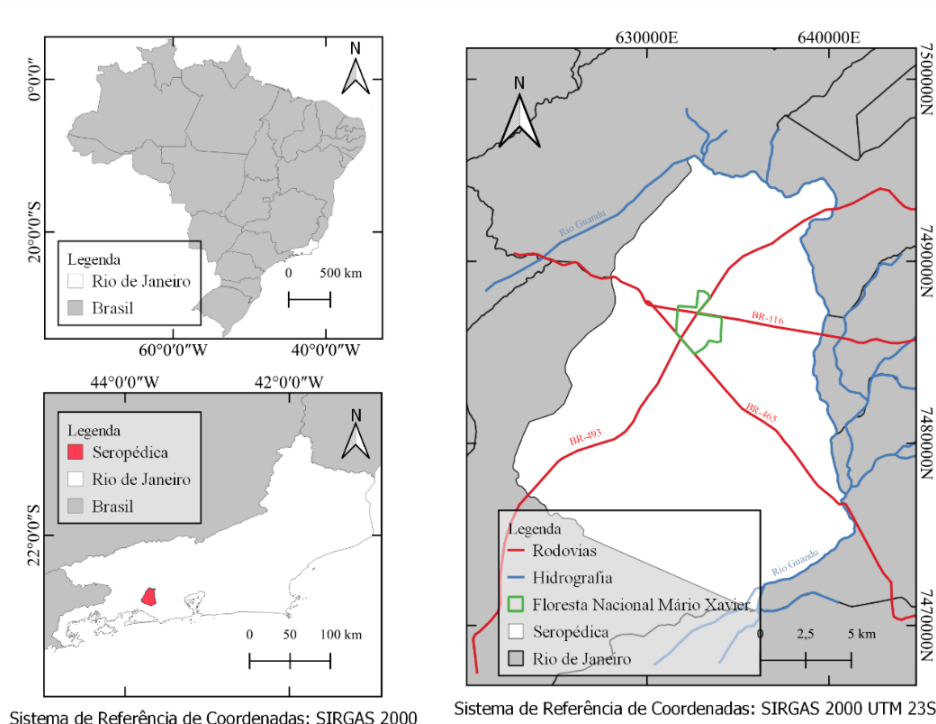


Figura 1: Localização da Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com verões chuvosos e invernos secos (ALVARES et al., 2014). Para a realização do estudo foram obtidos dados referentes a precipitação acumulada (mm), temperatura média máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e velocidade máxima do vento (m/s) correspondente ao período de junho de 2021 a maio de 2022. Os dados climáticos foram obtidos da Estação Meteorológica Automática - EMA, denominada Ecologia Agrícola na PESAGRO e do Pluviômetro Automático no centro de Seropédica, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Figura 2 a e b).

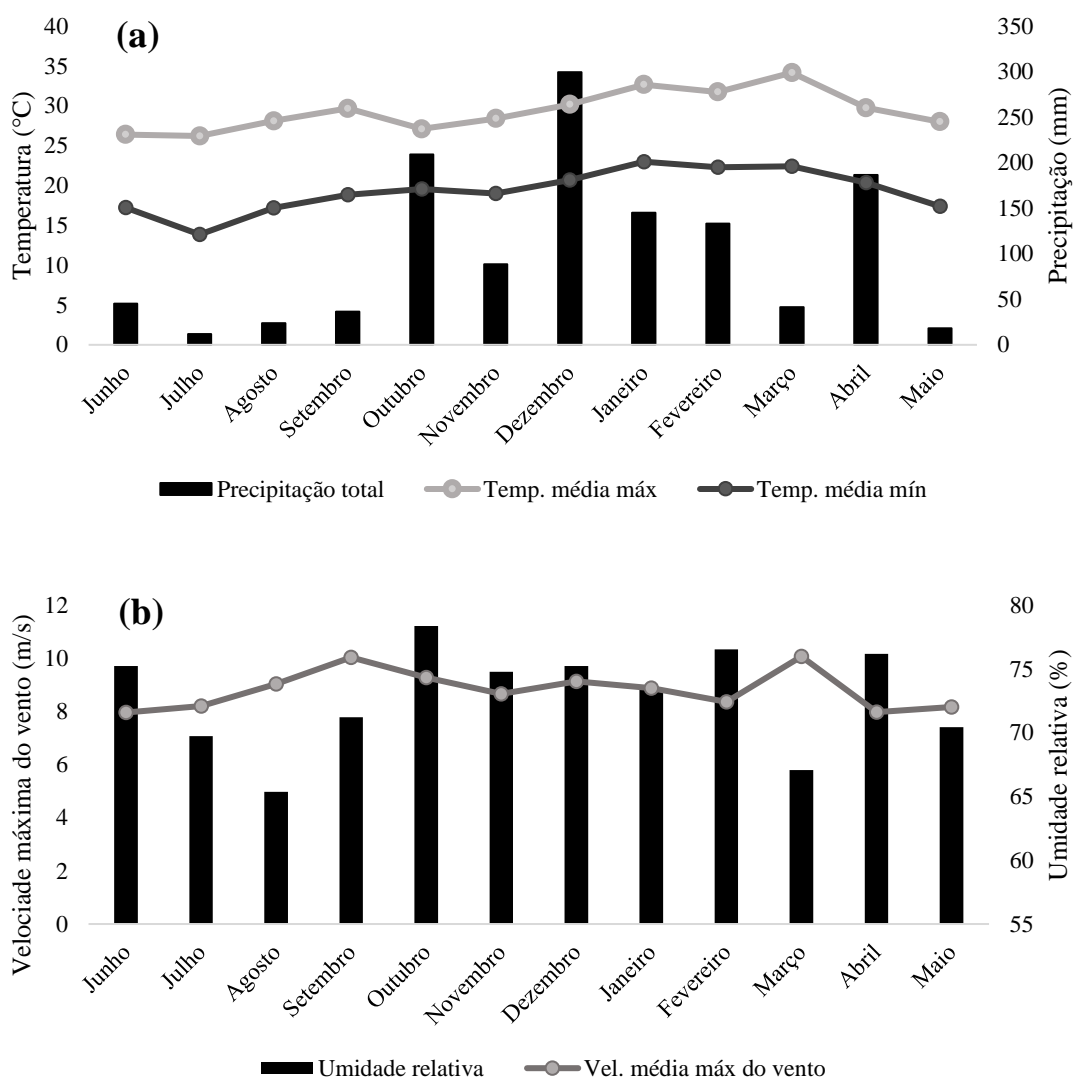


Figura 2: Precipitação acumulada, temperatura mensal média mínima e máxima (a) umidade relativa e velocidade média máxima do vento (b) obtidas na estação meteorológica automática Ecologia Agrícola, próxima a Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

A FLONA Mário Xavier é composta por diferentes áreas, em que foram realizados plantios de espécies nativas e exóticas quando a Unidade de Conservação ainda não havia sido criada. Para fins de representatividade, a FLONA foi dividida em sete diferentes talhões com espécies específicas, são elas: sapucaia (talhão 1), sabiá (talhão 2), Andá-açu (talhão 3), sumaúma (talhão 4), 50 espécies mistas (talhão 5), eucaliptos (antigos) plantados da década de 1940 (talhão 6) e eucaliptos (jovens). plantados na década de 1997 (talhão 7) (SOUZA, 2017), apresentando área total com vegetação arbórea de 202 ha.

4.2. Amostragem

Foram alocadas ao todo 20 unidades amostrais (UA), devidamente georreferenciadas com área de 800 m² (20 x 40 m), distribuídas de forma aleatória (amostragem casual simples) dentro de cada talhão, com o maior comprimento das unidades direcionadas ao norte. Devido à variação da área de cada talhão, alguns deles só receberam uma unidade amostral (Figura 3).

No vértice inferior esquerdo de cada UA foi demarcada uma subparcela de 1 m² (1 x 1 m) para a coleta de serapilheira presente na superfície do solo. Ao longo da UA foram alocados três coletores circulares com área de 0,44 m², distribuídos sistematicamente, distanciados a 10 m de cada um e das bordas da unidade para a coleta de serapilheira mensal e instalados 12 *litterbags* (quatro por coletor) para avaliar a decomposição de serapilheira (Figura 3 e Tabela 1).

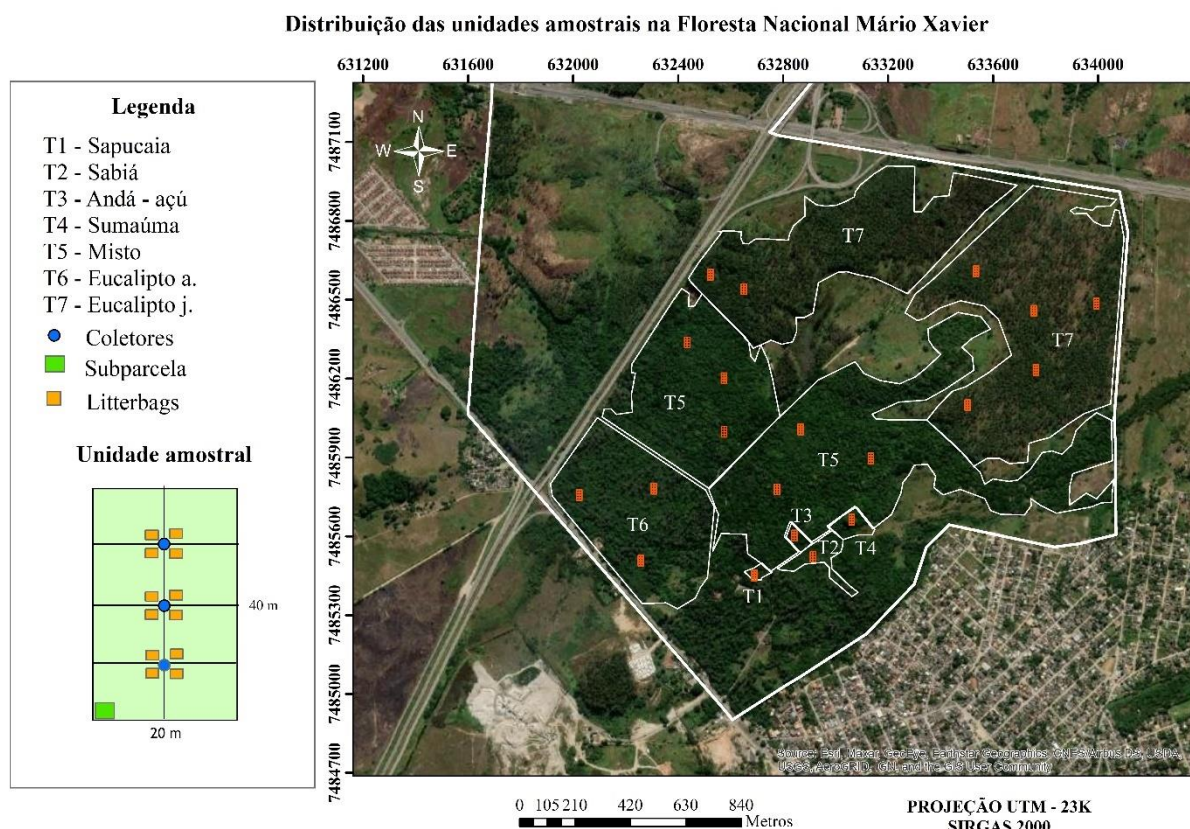


Figura 3: Distribuição dos talhões e das unidades amostrais na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Para a realização das análises florística e fitossociológica da vegetação, e da produção e decomposição de serapilheira, foram utilizadas somente 13 UA (talhão 1 ao talhão 6). Durante a realização do estudo o talhão 7 foi atingido por incêndios e invasão de animais, interferindo na avaliação anual. Os dados considerando as 20 UA (talhão 1 ao talhão 7) só foram utilizados para quantificação do estoque de carbono na serapilheira na superfície do solo (Tabela 1).

Tabela 1: Divisão dos talhões utilizados para os estudos, espécies plantadas, ano de ocorrência do plantio, número de unidades amostrais, área e porcentagem de área amostrada, na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil (Continua).

Talhões	Espécies	Ano	Nº de UA	Área (ha)	Área amostrada (%)
1	Sapucaia	1946-1977	1	0,36	21,86
2	Sabiá	1946-1977	1	1,98	4,03
3	Andá-açú	1946-1977	1	0,55	14,47
4	Sumaúma	1946-1977	1	1,19	6,71

Tabela 1: Continuação.

5	Misto	1949-1950	6	82,19	0,58
6	Eucalipto a.	1945	3	26,99	0,89
7	Eucalipto j.	1997	7	88,96	0,63

Em que: UA = Unidade amostral

4.3. Obtenção dos dados

4.3.1. Inventário florestal, análise florística e fitossociológica

No inventário da vegetação arbórea foram mensuradas as variáveis, circunferência a 1,30 m do solo (CAP) e altura total, utilizando, fita métrica e vara hipsométrica, respectivamente, de todos os indivíduos com CAP $\geq 15,7$ cm. Cada indivíduo teve sua identificação realizada em nível de espécie, gênero e família, seguindo a APGIII (2009) e os valores de CAP foram convertidos para diâmetro a 1,30 m do solo (DAP).

A partir dos dados mensurados, a análise da estrutura horizontal da área total e para cada talhão (exceto o talhão 7) foi realizada aplicando-se os índices fitossociológicos propostos por Mueller-Dombois e Elleberg (1974). Foram calculados em termos absolutos e relativos a densidade (Equação 1), dominância (Equação 2), frequência (Equação 3), índice de valor de cobertura (Equação 4) e índice de valor de importância (Equação 5). A diversidade florística foi calculada pelo índice de Shannon-Weaver (Equação 6) e a equabilidade pelo índice de Pielou (Equação 7) de acordo com Magurran (2013).

$$DA_i = n_i/ha \quad DR_i = (DA_i/\sum_{i=1}^S n_i)100 \quad (1)$$

$$DoA_i = \sum_{i=1}^N D^2 \quad DoR_i = (DoA_i/\sum_{i=1}^S DoA)100 \quad (2)$$

$$FA_i = (NP_i/NP_t)100 \quad FR_i = (FA_i/\sum_{i=1}^S FA)100 \quad (3)$$

$$IVC_i = DR_i + DoR_i \quad (4)$$

$$IVI_i = DR_i + DoR_i \quad (5)$$

$$H' = -\sum n_i \cdot \ln(n_i) \quad (6)$$

$$J = H' \cdot \ln(S) - 1 \quad (7)$$

Em que: DA_i = densidade absoluta da i-ésima espécie; DR_i = densidade relativa da i-ésima espécie; DoA_i = dominância absoluta da i-ésima espécie; DoR_i = dominância relativa da i-ésima espécie; FA_i = frequência absoluta da i-ésima espécie; FR_i = dominância relativa da i-ésima espécie; NP_i = número de parcelas em que ocorre a i-ésima espécie; NP_t = número total de parcelas amostradas; IVC_i = índice de valor de cobertura da i-ésima espécie; IVI_i = índice de valor de importância da i-ésima espécie; D_i = diâmetro a 1,30 m do solo para a i-ésima espécie (cm); n_i = número de indivíduos por espécie e S = número de espécies amostradas.

4.3.2. Produção de serapilheira

Em cada uma das 13 unidades amostrais foram alocados três coletores circulares, com 75 cm de diâmetro, instalados com base fixada no solo para garantir estabilidade, ficando assim

com 1 m de altura do solo. Os coletores foram confeccionados com armação plástica e forração de náilon de malha de 1,0 mm, sustentados por um tripé de 1,20 m de altura feitos de bambu. No total foram utilizados 39 coletores distribuídos, onde as coletas foram realizadas mensalmente (na terceira semana de cada mês), de junho de 2021 a maio de 2022.

Em laboratório, as amostras coletadas de serapilheira foram peneiradas, pesadas em balança de 0,01 g de precisão, secas em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65 – 70 °C, até atingirem peso constante. Após as amostras serem retiradas da estufa, a biomassa seca (g) de cada uma foi quantificada também em balança de precisão. Em seguida, cada amostra foi separada em compartimentos: folhas, material lenhoso, material reprodutivo e miscelânea (fragmentos da biomassa vegetal de difícil identificação) para obtenção da biomassa seca (g) por compartimento.

Os pesos da biomassa seca obtidos nos três coletores, por unidade amostral, em cada mês foram utilizados para estimar a deposição mensal e total anual produzida por talhão e na área total, entre o período de junho de 2021 a maio de 2022. A produção de serapilheira foi estimada segundo Lopes et al. (2002) (Equação 8):

$$PAS = (\sum PS \cdot 10000)AC \quad (8)$$

Em que: PAS = produção média anual de serapilheira (Mg ha⁻¹ ano); PS = produção média mensal de serapilheira (Mg ha⁻¹ mês); e AC = área do coletor (m²)

4.3.3. Decomposição de serapilheira

As coletas para avaliar a decomposição da serapilheira ocorreram em abril de 2021, onde a serapilheira presente na superfície do solo foi coletada e devidamente identificada. Em laboratório, as amostras de serapilheira passaram pelo mesmo processo descrito anteriormente para a coleta mensal. Após a triagem, a porcentagem de cada compartimento em relação ao valor total foi calculada para determinar o quanto da biomassa seca de cada um seria adicionado no *litterbag* confeccionado em tela de náilon (1,0 mm) e com área de 400 cm² (20 x 20 cm), totalizando 30g de amostra.

Em maio de 2021 foram instalados 156 *litterbags* (quatro por coletor de serapilheira e 12 por unidade amostral), que foram presos na base dos coletores com fitas coloridas para facilitar a identificação e evitar a perda. Nos meses de agosto de 2021 (90 dias), novembro de 2021 (180 dias), fevereiro de 2022 (270 dias) e maio de 2022 (360 dias), 39 *litterbags* foram retirados do campo (um por coletor e 3 por unidade amostral). Em laboratório, as amostras dos *litterbags* foram peneiradas para retirada do excesso de solo, pesadas em balança de 0,01 g de precisão e secas em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65 – 70 °C, até atingirem peso constante, para em seguida a biomassa seca (g) de cada uma ser quantificada também em balança de precisão.

A taxa de decomposição da serapilheira foi estimada por meio de avaliações de perda de massa, utilizando o cálculo do percentual de material remanescente ao longo de um ano (Equação 9). A constante de decomposição (k) foi calculada, segundo Thomas e Asakawa (1993), com o modelo exponencial (Equação 10). O tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) foi calculado segundo Rezende et al. (1999) (Equação 11).

$$\% \text{ Remanescente} = (MF/MI)100 \quad (9)$$

$$x_t = x_0 e^{-kt} \quad (10)$$

$$t^{1/2} = \ln(2)/k \quad (11)$$

Em que: % Remanescente = percentual remanescente; MF = massa final; MI = massa inicial; x_t = peso do material seco remanescente após t dias (g); x_0 = peso do material seco no tempo zero (t = 0) (g); k = constante de decomposição; t = tempo em dia; ln = logaritmo natural.

4.3.4. Biomassa e estoque de carbono na serapilheira

Na subparcela de cada unidade amostral (1 m²) foi coletada toda a serapilheira acima do solo em maio de 2022. Essas amostras foram armazenadas em sacos de papel e devidamente identificadas.

Em laboratório, as amostras coletadas de serapilheira foram peneiradas, secas em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65 – 70 °C, até atingirem peso constante. A biomassa seca (g) de cada amostra foi pesada em balança de precisão e separadas em compartimentos: folhas, material lenhoso, material reprodutivo e miscelânea.

As amostras foram moídas em moinho tipo Willey, retirando-se subamostras de 1 g, totalizando 80 amostras (quatro compartimentos para cada subparcela amostral). Cada amostra de 1 g foi colocada em um cadinho de porcelana sem tampa, levado à mufla, na temperatura de 550 °C, por 3 h, até a completa calcinação. Após ser retirada da mufla, as amostras foram resfriadas em dessecador para posterior pesagem em balança com precisão de 0,0001 g. O teor de matéria (MO%) orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando o material perdido na queima (Equação 12). O teor de MO foi dividido pelo fator 1,8 (JIMÉNEZ; GARCIA, 1989), para em seguida ser multiplicado pela biomassa de cada amostra, obtendo o estoque de carbono.

$$MO(\%) = \frac{(P - (T - C) * 100)}{P} \quad (12)$$

Em que: P = peso da amostra (g) após 105°C; C = tara do cadinho (g) e T = Pesos da cinza mais o valor do cadinho (g).

4.4. Análise dos dados

4.4.1. Produção e decomposição

As estatísticas descritivas e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$) foram aplicados para avaliar os dados de produção de serapilheira total, por compartimentos (folha, material lenhoso, reprodutivo e miscelânea) e por talhões. O teste t de Student ($\alpha = 0,05$) para amostras independentes foi aplicado com o objetivo de comparar a produção entre os meses e entre os talhões.

A Correlação de Pearson foi utilizada para comparar os dados de decomposição por talhões, produção mensal por compartimentos e total de serapilheira produzida com as variáveis climáticas ambientais: precipitação acumulada mensal (mm), temperatura média mínima e máxima mensal (°C), umidade relativa (%) e velocidade média máxima do vento (m/s). Em seguida, foi realizada a análise de regressão das variáveis que apresentaram correlação significativa.

4.4.2. Espacialização do carbono

Após a obtenção do estoque de carbono na serapilheira e em seus compartimentos, foi realizada a análise exploratória dos dados para verificar a presença de valores discrepantes,

cálculo das estatísticas descritivas e teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$), buscando garantir a modelagem geoestatística dos dados.

O estudo variográfico (Equação 13) do estoque de carbono na serapilheira foi realizado nas direções 0°, 45°, 90° e 135°, para comprovar a isotropia e continuidade espacial da variável de interesse. Os modelos esférico (Equação 14), exponencial (Equação 15) e gaussiano (Equação 16), foram ajustados para obtenção dos parâmetros efeito pepita (C_0), contribuição (C) e alcance (a). O ajuste foi realizado pelo método da máxima verossimilhança, utilizando o pacote GeoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001) do *software* R (R CORE TEAM, 2015).

$$\text{Semivariograma: } \gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Modelo Esférico: } \gamma(h) &= C_0 + C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } h < a \\ \gamma(h) &= C_0 + C \text{ para } h \geq a \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{Modelo Exponencial: } \gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(-\frac{h}{a} \right)} \right] \quad (15)$$

$$\text{Modelo Gaussiano: } \gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(-\frac{h}{a} \right)^2} \right] \quad (16)$$

Em que: $\gamma(h)$ = semivariância estimada entre pares de pontos; $N(h)$ = número de pares de valores medidos $z(x_i)$, $z(x_i + h)$, separados pela distância h .

A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada por meio da validação cruzada, critério de informação de Akaike (AIC) (Equação 17), erro médio reduzido (\overline{ER}) (Equação 18) e desvio padrão dos erros Reduzidos (S_{er}) (Equação 19).

$$AIC = -2 \log \log L + 2K \quad (17)$$

$$\overline{ER} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{z(x_{i0}) - \hat{z}(x_{i0})}{\sigma(x_{i0})} \quad (18)$$

$$S_{er} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{z(x_{i0}) - \hat{z}(x_{i0})}{\sigma(x_{i0})} \right\}^2} \quad (19)$$

Em que: L = verossimilhança do modelo candidato; K = número de parâmetros do modelo candidato; n = número de observações; $z(x_{i0})$ = valor observado no ponto i_0 ; $\hat{z}(x_{i0})$ = valor estimado no ponto i_0 ; $\sigma(x_{i0})$ = desvio padrão da krigagem no ponto i_0 .

Com os parâmetros ajustados, obteve-se o índice de dependência espacial (Equação 20), classificando-a como baixa ($IDE \leq 25\%$), moderada ($25\% \leq 75\%$) e forte ($IDE > 75\%$), conforme descrito por Zimback (2003).

$$IDE = \frac{C}{(C_0 + C)} \quad (20)$$

Após a seleção do modelo que melhor se ajustou ao semivariograma experimental foi realizada a krigagem ordinária (Equação 21) para obtenção das estimativas espaciais do estoque de carbono na serapilheira em locais não amostrados.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (21)$$

Em que: $Z(x_0)$ = estimativa no ponto não amostrado; $Z(x_i)$ = valor observado no i-ésimo ponto amostral; n = número de pontos amostrados; λ_i = peso associado aos i-ésimos pontos amostrados ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização dos talhões, análise florística e fitossociológica

A característica inicial dos talhões na FLONA passou por alterações com o avanço dos anos. O talhão 1, inicialmente composto somente com a espécie *Lecythis pisonis* Cambess. (sapucaia) plantado em 1945, atualmente apresenta predominância das espécies *Erythroxylum pulchrum* A. St.-Hil. (arco-de-pipa), *Lophanthera lactescens* Ducke (lanterneira) e *Eucalyptus* sp. (eucalipto). No talhão 2, o sabiá *caesalpiniifolia* Benth. (sabiá) que também foi plantado em 1945 ainda apresenta abundância significativa na área, contudo, a população de arco-de-pipa e *Pterogyne nitens* Tul. (amendoim-bravo) tem se tornado cada vez mais presente. No talhão 3 (1945), inicialmente composto pela espécie *Joannesia princeps* Vell. (andá-açú), hoje, também apresenta principalmente a espécie *Basioxylon brasiliensis* (Allemão) K. Schum (pau-rei), *Copaifera langsdorffii* Desf. (copaíba), arco-de-pipa, *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr (pau-jacaré), entre outras. Atualmente no talhão 4, a sumaúma (1977) ainda é uma espécie dominante na área, contudo, pode-se observar a presença das espécies *Guarea guidonia* (L.) Sleumer (carrapeta) e o arco-de-pipa com o número elevado de indivíduos.

O talhão 5 caracterizado pelo plantio inicial com espécies mistas plantado em 1950, atualmente apresenta abundância de indivíduos da espécie arco-de-pipa, mas também podem ser encontrados indivíduos de *Genipa americana* L. (jenipapo), *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (paud'alho), *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg (seringueira), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (angico-vermelho), *Tabebuia* sp (ipê), *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul.) L. P. Queiroz (pau-ferro), *Inga marginata* Willd. (ingá), entre outras. O talhão 6 apresenta alguns indivíduos remanescentes de eucalipto plantados em 1945, mas outras espécies também são encontradas devido o processo de regeneração natural, as quais podemos destacar o arco-de-pipa, carrapeta, crista-de-galo, seringueira, entre outras. O talhão 7 é uma área de plantio de eucaliptos (não manejados) plantados em 1997, onde a ocorrência de incêndios é constante, assim como a invasão de animais para pastagem.

No geral foram mensurados 1.379 indivíduos, dos quais 1.304 (94,5%) vivos e 75 (5,5%) mortos. Entre os vivos, 46 (3,5%) não foram identificados e os demais estão distribuídos em 25 famílias e 59 espécies. A família Fabaceae foi a que mais representativa em relação a riqueza com 16 espécies na presentes na FLONA, seguida da Myrtaceae com seis e da Sapindaceae com quatro.

Mesmo apresentando a maior diversidade de espécies na FLONA, a família Fabaceae não é a mais representativa em relação à abundância. No inventário realizado foram encontrados apenas 148 indivíduos distribuídos principalmente nas seguintes espécies: sabiá (36 indivíduos), pau-ferro (21 indivíduos), angico-vermelho (16 indivíduos), amendoim-bravo (16 indivíduos), pau-jacaré (16 indivíduos), entre outros. A família Erythroxylaceae, é a mais representativa em número de indivíduos, mesmo que estes estejam distribuídos somente em duas espécies: arco-de-pipa (659 indivíduos) e *Erythroxylum cuspidifolium* Mart. (arco-de-pipa redondo) (27 indivíduos).

Os resultados para a fitossociologia dos talhões e da área total de estudo considerando as três espécies com maior IVI%, estão apresentados na Tabela 2. Considerando toda a vegetação, as espécies que apresentaram maior índice de valor de importância (IVI%) foram o arco-de-pipa (24,57%), a sumaúma (8,58%) e jenipapo (3,79%). Estas também apresentaram importância quando observamos os talhões separadamente, com destaque para o arco-de-pipa que representa quase 50% de todos os indivíduos inventariados.

Tabela 2: Número de indivíduos e fitossociologia das três espécies com maior índice de valor de importância em cada talhão e para a área total na Floresta Nacional Mário Xavier, no município Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Talhões	Vernáculo	Espécies	Ni	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	IVC%	IVI%
1	arco-de-pipa	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A.St.-Hil.	49	612,5	57,64	11,68	33,38	7,14	100	45,51	32,72
	eucalipto	<i>Corymbia citriodora</i> (Hook.) K.D.Hill & L.A.S.Johnson	8	100	9,41	17,20	49,14	7,14	100	29,28	21,90
	lanterneira	<i>Lophanthera lactescens</i> Ducke	7	87,5	8,23	0,46	1,31	7,14	100	4,77	5,56
2	arco-de-pipa	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A.St.-Hil.	42	525	31,81	5,14	24,82	8,33	100	28,32	21,66
	amendoim-bravo	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	16	200	12,12	6,45	22,54	8,33	100	21,63	17,20
	sabiá	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	24	300	18,18	4,67	22,54	8,33	100	20,36	16,35
3	copaíba	<i>Copaifera langsdorfii</i> Desf.	11	137,5	12,64	23,26	56,79	7,14	100	33,88	25,11
	pau-rei	<i>Basiloxylon brasiliensis</i> (Allemão) K. Schum	19	237,5	21,89	1,92	4,69	7,14	100	12,95	11,04
	andá-açú	<i>Joannesia princeps</i> Vell.	13	162,5	14,94	3,39	8,29	7,14	100	11,34	9,96
4	sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	20	250	18,51	98,88	88,74	9,09	100	53,63	38,78
	arco-de-pipa	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A.St.-Hil.	37	462,5	34,24	2,89	2,59	9,09	100	18,43	15,32
	carrapeta	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	22	275	20,37	3,72	3,34	9,09	100	11,86	10,94
5	arco-de-pipa	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A.St.-Hil.	318	662,5	47,11	5,74	26,74	5,82	100	36,93	26,56
	jenipapo	<i>Genipa americana</i> L.	83	172,9	12,29	2,59	12,08	2,91	50,00	12,19	9,10
	mamica-de-porca	<i>Zanthoxylum acuminatum</i> (Sw.) Sw.	19	3,39	2,82	2,35	10,98	1,94	33,33	6,90	5,25
6	arco-de-pipa	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A.St.-Hil.	208	866,6	71,23	8,14	31,67	9,37	100	51,46	37,43
	eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	6	25,0	2,05	6,19	24,09	6,25	66,66	13,08	10,80
	carrapeta	<i>Guarea guidonia</i>	8	33,3	2,73	1,40	5,45	3,12	33,33	4,10	3,77
Área total	arco-de-pipa	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A.St.-Hil.	659	633,6	47,88	6,07	18,95	6,95	100	33,37	24,57
	sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	20	19,23	1,45	7,60	23,75	7,69	0,53	12,60	8,58
	jenipapo	<i>Genipa americana</i> L.	83	79,80	6,01	1,19	3,74	23,07	1,60	4,88	3,79

Em que: Ni = Número de indivíduos, DA = densidade absoluta, DR = densidade relativa, DoA = dominância absoluta, DoR = dominância relativa, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, IVI% = porcentagem do Índice de valor de importância e IVC% = porcentagem do Índice de valor de cobertura.

Os talhões 3 e 4 são os únicos em que o arco-de-pipa não ocorre com maior IVI, apresentando distribuição de número de indivíduos mais uniforme entre as espécies, característica que corrobora com a equabilidade de Pielou. No talhão 4 a sumaúma apresenta dominância relativa (DoR) de 88,74% devido seu grande porte e idade avançada, da mesma forma que o eucalipto (DoR = 49,14%) e a copaíba (DoR = 56,79%) nos talhões 1 e 3, respectivamente.

A análise da diversidade para a área total de estudo apresentou índice de Shannon Weaver (H') igual a 2,61. Avaliando os talhões separadamente, observa-se que o talhão 5 e talhão 3 foram os mais diversos apresentando $H'=2,43$ e $H'=2,22$, respectivamente. Em oposto a esse resultado temos o talhão 6, que apresentou a menor diversidade $H'=1,33$. A análise de equabilidade de Pielou (J) demonstrou que o talhão 5 é semelhante a área total de estudo, pois ambos possuem os seus indivíduos distribuídos de forma mediana em relação a uniformidade entre as espécies, com $J=0,59$ e $J=0,58$, respectivamente. Já o talhão 3 e talhão 2 se destacam por apresentarem boa uniformidade na distribuição, com valores de equabilidade de $J=0,84$ e $J=0,80$, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3: Variáveis dendrométricas, número de espécies, indivíduos, diversidade e equabilidade por talhões e para a área total na Floresta Nacional Mário Xavier, no município Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Talhões	DAP	Ht	G	Nº de espécies	Nº de indivíduos	Shannon-Weaver (H')	Pielou (J')
1	16,03	8,20	35,00	13	85	1,64	0,62
2	10,73	7,03	20,74	12	132	1,99	0,80
3	13,33	6,64	40,95	14	87	2,22	0,84
4	20,49	7,59	111,42	11	108	1,83	0,76
5	11,78	7,68	21,48	61	675	2,43	0,59
6	12,52	7,20	25,70	22	292	1,33	0,43
Área total	13,05	7,61	32,05	84	1379	2,61	0,58

Em que: DAP = diâmetro a 1,30 metros do solo (cm); Ht = altura total (m) e G = Área basal (m^2/ha).

5.2. Produção de serapilheira

5.2.1. Produção de serapilheira por compartimentos e mensal

As estatísticas descritivas e o teste de normalidade para os dados de produção total, produção por compartimentos (folha, material lenhoso, reprodutivo e miscelânea) e produção mensal de serapilheira em $Mg\ ha^{-1}$ estão apresentadas na Tabela 4. Para os valores de produção por compartimento, o teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$) atestou a hipótese de normalidade somente para o material lenhoso. Na produção mensal o resultado foi semelhante, exceto para os meses de junho, agosto, outubro e janeiro. O coeficiente de variação apresentou valores acima de 40% para a maioria dos meses estudados, exceto para julho e setembro sendo os menores de 28,65% e 33,44%, respectivamente, indicando variação na produção de serapilheira entre as diferentes unidades amostrais ao longo do ano. Entre os compartimentos, a produção de material reprodutivo apresentou elevado valor de coeficiente de variação ($CV\% = 104,42\%$).

A produção média anual de serapilheira foi estimada em $10,44\ Mg\ ha^{-1}$, com média mensal de $0,87\ Mg\ ha^{-1}$, constituída por 59,20% de folhas, 15,81% de materiais lenhosos, 14,95% de materiais reprodutivos e 10,04% de miscelânea. A máxima produção pode ser observada

em junho, sendo de 3,46 Mg ha⁻¹, o oposto aconteceu no mês de outubro, em que a produção foi de 0,12 Mg ha⁻¹. O maior valor médio de produção ocorreu no mês de agosto, com 1,40 Mg ha⁻¹ e a menor média no mês de novembro, com 0,45 Mg ha⁻¹.

Tabela 4: Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para os valores de produção média de serapilheira total, por compartimentos, e mensal na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Serapilheira Mg ha ⁻¹										
Compart.	Mín	Máx	\bar{x}	S ²	CV%	S _{yx}	E	IC-	IC+	p
Folhas	0,14	1,10	0,52	0,131	70,30	0,10	0,22	0,30	0,73	0,037*
M. lenhoso	0,05	0,27	0,14	0,004	46,84	0,02	0,04	0,10	0,18	0,313
Reprodutivo	0,02	0,45	0,13	0,018	104,42	0,04	0,08	0,05	0,21	0,005*
Miscelânea	0,04	0,21	0,09	0,002	50,86	0,01	0,03	0,06	0,11	0,012*
Total	0,45	1,40	0,87	0,138	42,75	0,10	0,22	0,65	1,10	0,046*

Mês	Mín	Máx	\bar{x}	S ²	CV%	S _{yx}	E	IC-	IC+	p
Junho	0,51	3,46	1,29	0,50	54,91	0,20	0,43	0,86	1,72	0,003*
Julho	0,59	1,80	1,26	0,13	28,65	0,10	0,22	1,04	1,48	0,927
Agosto	0,78	3,19	1,40	0,41	45,60	0,18	0,38	1,01	1,78	0,015*
Setembro	0,48	1,97	1,20	0,16	33,44	0,11	0,24	0,96	1,45	0,635
Outubro	0,12	1,46	0,51	0,15	74,71	0,11	0,23	0,28	0,74	0,013*
Novembro	0,22	0,74	0,45	0,03	41,59	0,05	0,11	0,33	0,56	0,212
Dezembro	0,24	1,10	0,48	0,06	49,47	0,07	0,14	0,34	0,62	0,067
Janeiro	0,36	1,72	0,82	0,18	52,70	0,12	0,26	0,56	1,07	0,042*
Fevereiro	0,43	2,79	1,11	0,39	56,16	0,17	0,38	0,73	1,49	0,073
Março	0,37	2,03	0,93	0,30	58,58	0,15	0,33	0,60	1,26	0,081
Abril	0,18	1,06	0,50	0,05	49,96	0,06	0,14	0,35	0,64	0,451
Mai	0,21	1,00	0,50	0,06	47,24	0,07	0,14	0,36	0,64	0,171

Em que: Compart = compartimento; Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; \bar{x} = média; s = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; S_{yx} = erro padrão da média; E = erro absoluto; IC = intervalo de confiança; p = valor-p do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$); * = rejeição da hipótese de normalidade dos dados, pelo teste de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$).

A deposição da serapilheira total e do compartimento foliar foram mais intensas no período de junho a setembro, quando foram depositados sobre o solo 49,35% do total anual. Esse período coincidiu com a redução da precipitação e do fotoperíodo durante os meses de inverno, com destaque para o mês de agosto, em que ocorreu a maior produção média de serapilheira, com 1,40 Mg ha⁻¹. Nos meses seguintes esse comportamento é alterado, a produção diminui à medida que ocorre a recomposição da copa das árvores e o nível de precipitação se torna superior e (Figura 4).

Nos meses de outubro, dezembro e abril, ocorreram os maiores acúmulos de precipitação, mantendo uma redução e estabilidade da produção de serapilheira até o mês de março, onde ocorre novamente o aumento da produção do compartimento foliar. Entre os meses de setembro e março, foram observados o maior acúmulo de material lenhoso ao longo do estudo. Em outubro a produção de material lenhoso superou a produção do compartimento foliar e coincidiu com os períodos de maiores rajadas de vento e precipitação (Figuras 2b). A maior produção de material reprodutivo aconteceu nos meses de janeiro e fevereiro, e a menor produção ocorreu em abril.

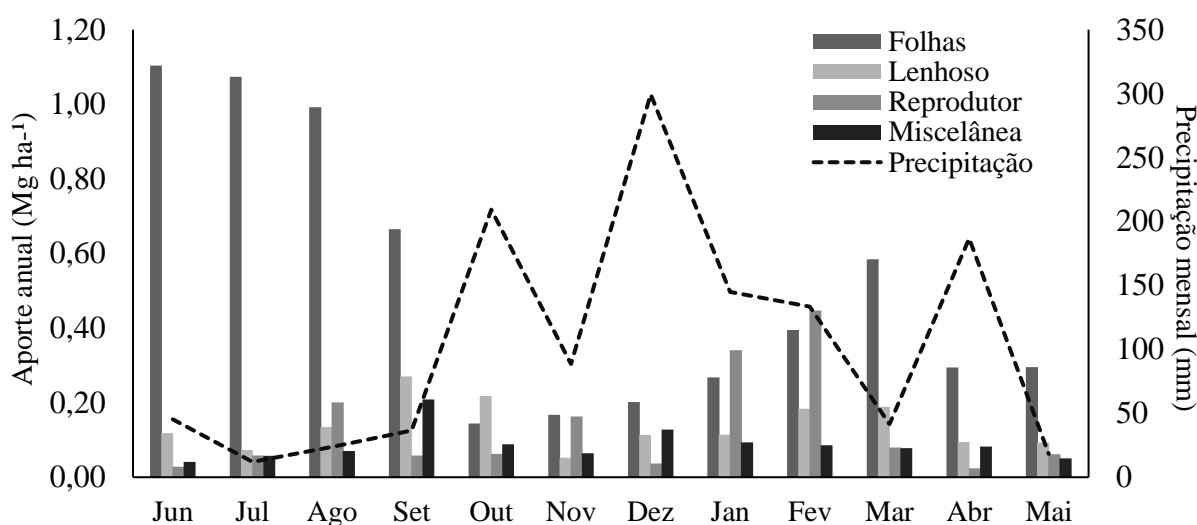


Figura 4: Produção mensal dos compartimentos de serapilheira (Mg ha⁻¹), coletada no período de junho/2021 a maio/2022, na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

O resultado do teste t indica a existência de diferença significativa de produção de serapilheira entre os meses analisados (Tabela 5). A diferença ocorre principalmente, entre os meses com grandes alterações de precipitação e temperatura, como já demonstrado na Figura 4. Em relação aos talhões, houve diferença entre o talhão 4, que apresenta predominância da espécie sumaúma, e o talhão 2, em que as principais espécies são o arco-de-pipa e o sabiá. Também ocorreu diferença entre o talhão 4 e o talhão 3, composto, principalmente, pelas espécies copaíba, pau-rei e andá-açu. O maior somatório dos meses estudados foi observado no talhão 4 (18,14 Mg ha⁻¹ ano), resultado muito superior em relação ao talhão 2 (8,75 Mg ha⁻¹ ano) e talhão 3 (7,82 Mg ha⁻¹ ano).

Tabela 5: Resultado do teste de t de Student para comparação de amostras independentes, considerando a produção média mensal de serapilheira (Mg ha⁻¹) na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Meses	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Jun	0,52	0,98	0,39	0,05	0,04*	0,04*	0,10	0,53	0,21	0,06	0,06
Jul		0,48	0,63	0,01*	0,00*	0,00*	0,04*	0,91	0,25	0,00*	0,00*
Ago			0,33	0,03*	0,02*	0,02*	0,06	0,51	0,16	0,03*	0,04*
Set				0,01*	0,00*	0,00*	0,07	0,88	0,41	0,01*	0,01*
Out					0,71	0,82	0,32	0,09	0,18	0,79	0,74
Nov						0,80	0,13	0,07	0,11	0,38	0,31
Dez							0,16	0,08	0,13	0,50	0,41
Jan								0,23	0,53	0,37	0,37
Fev									0,48	0,11	0,12
Mar										0,21	0,21
Abr											0,94

Em que: * = rejeição da hipótese de que as amostras são estatisticamente iguais pelo Teste t ($\alpha = 0,05$).

Foi identificada correlação significativa inversamente proporcional para a precipitação, em relação a produção do compartimento foliar e serapilheira total, e entre a temperatura média mínima e o compartimento foliar. A velocidade máxima do vento apresentou correlação significativa diretamente proporcional com a produção de material lenhoso e miscelânea. As demais variáveis analisadas na correlação não apresentaram significância entre si (Figura 5).

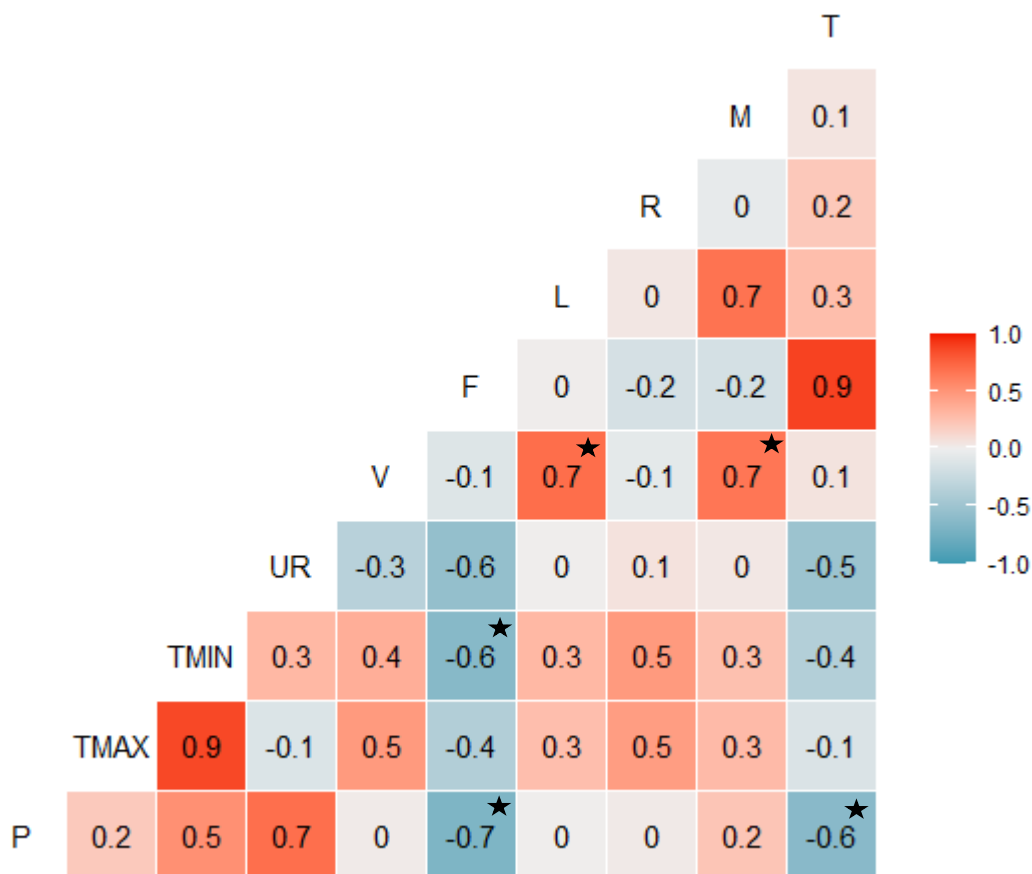


Figura 5: Correlação entre os fatores microclimáticos e a produção total de serapilheira (Mg ha⁻¹) na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. Considerando: precipitação (P), média de temperatura máxima (TMAX), média de temperatura mínima (TMIN), umidade relativa (UR), velocidade máxima do vento (V), compartimento folha (F), compartimento lenhoso (L), compartimento reprodutivo (R), compartimento miscelânea (M) e total (T). Em que:★ = correlação significativa 95%

A análise de regressão demonstra o comportamento da produção dos compartimentos folha, m. lenhoso e m. reprodutivo e total em relação as variáveis climáticas que apresentaram correlação significativa anteriormente. A regressão entre a precipitação e o compartimento foliar e total de serapilheira foram representados por modelos do segundo grau, as demais relações foram por modelos lineares simples. Para a produção foliar e serapilheira total em relação a precipitação, o valor do coeficiente de determinação foi de $R^2 = 0,53$ e $R^2 = 0,38$ respectivamente. Para o material lenhoso e miscelânea em relação a velocidade máxima do vento obteve-se $R^2 = 0,50$ e $R^2 = 0,43$, respectivamente. Para análise de regressão do compartimento foliar em relação a temperatura média mínima $R^2 = 0,39$ (Figura 6).

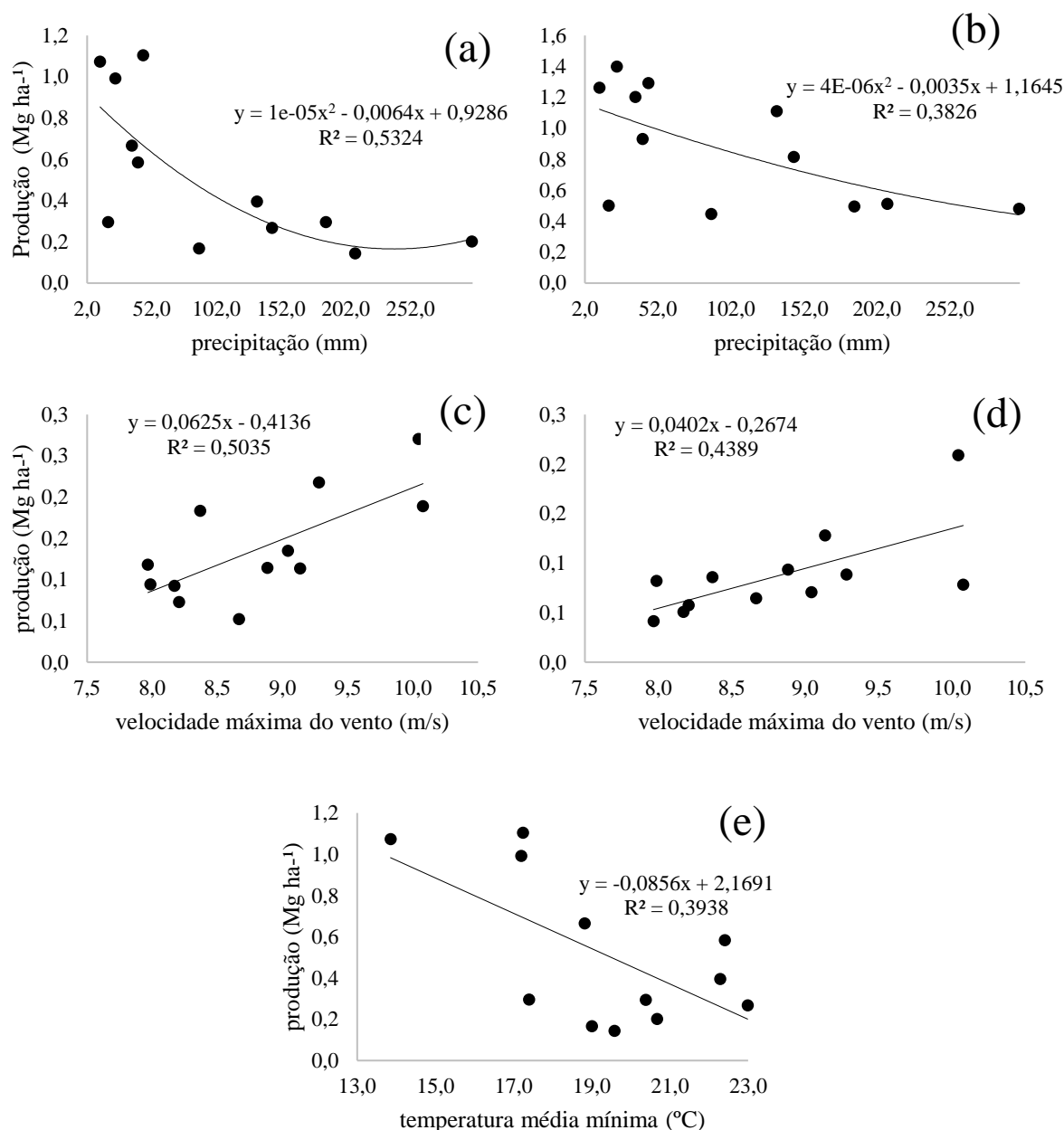


Figura 6: Gráficos dos valores de produção em função da precipitação (P), velocidade máxima do vento (V) e temperatura média mínima (°C) na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. Em que: (a) = folha; (b) = serapilheira total; (c) = material lenhoso; (d) = miscelânea e (e) = folha.

5.5.2. Produção de serapilheira por talhões

Em relação aos talhões, as estatísticas descritivas entre eles foram semelhantes, exceto para o talhão 4, que apresentou valores superiores para todas as análises. O valor do CV% para todos os talhões foram acima de 40%, exceto para o talhão 6 com CV% = 34,45%, demonstrando a variação de produção no interior de cada talhão ao longo do ano (Tabela 6).

Tabela 6: Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para os valores de produção média (Mg ha⁻¹) de serapilheira por talhão na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Talhão	Mín	Máx	\bar{x}	S ²	CV%	S _x	E	IC-	IC+	p
1	0,12	1,80	0,85	0,30	65,02	0,16	0,35	0,50	1,20	0,26
2	0,24	1,42	0,73	0,20	62,03	0,13	0,29	0,44	1,02	0,08
3	0,22	1,39	0,65	0,17	63,35	0,12	0,26	0,39	0,91	0,07
4	0,43	3,46	1,51	1,20	72,31	0,32	0,69	0,82	2,21	0,06
5	0,39	1,33	0,83	0,14	45,01	0,11	0,24	0,59	1,06	0,03*
6	0,47	1,42	0,87	0,09	34,45	0,09	0,19	0,68	1,06	0,76

Em que: Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; \bar{x} = média; s = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; S_x = erro padrão da média; E = erro absoluto; IC = intervalo de confiança; p = valor-p do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$); * = rejeição da hipótese de normalidade dos dados, pelo teste de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$).

No gráfico *boxplot*, observa-se que o talhão 4 foi o que apresentou comportamento diferenciado em relação a produção mensal, em que os maiores valores de produção e a variação entre os coletores estão relacionados ao material reprodutivo e foliar (Figura 7). Os demais talhões seguem o padrão de produção sazonal, com picos de produção de junho a setembro e queda nos meses seguintes. O talhão 1 e talhão 2 foram os que mais apresentaram variação entre as áreas de coleta ao longo da unidade amostral, sendo o primeiro no período com maior precipitação e o segundo no período de seca. Nos demais talhões a produção segue comportamento mais homogêneo.

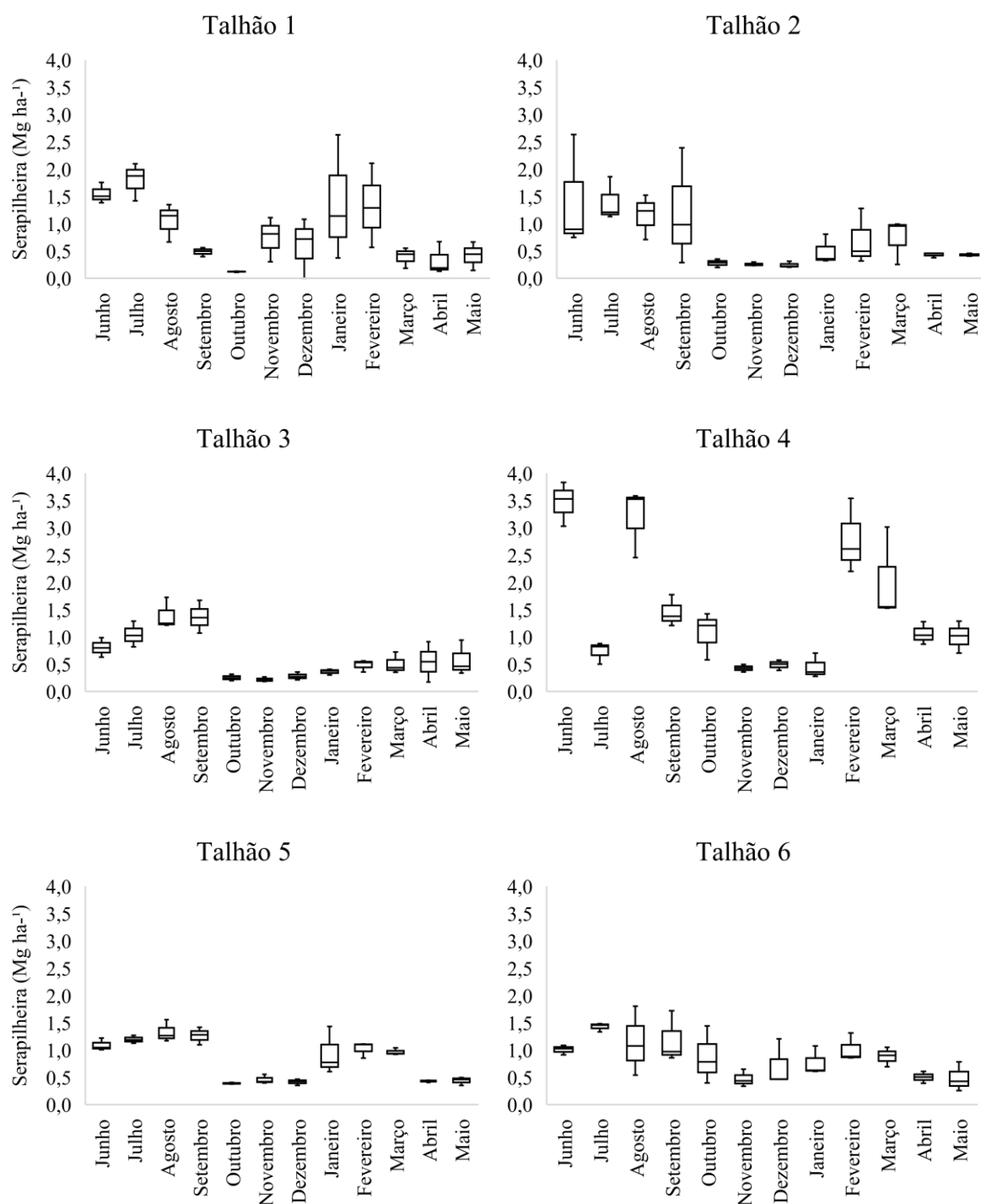


Figura 7: Produção mensal de serapilheira coletada no período de junho/2021 a maio/2022, nos talhões estudados na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

5.3. Decomposição de serapilheira

Nos gráficos apresentados na Figura 8 pode-se constatar que nos primeiros 90 dias do *litterbag* no campo, em média, 20% do material foi decomposto nos talhões. No talhão 5 a decomposição chegou a quase 30%. Avançando até 180 dias, a serapilheira presente nos talhões 1, 2, 3 e 6 passam pelo processo de decomposição mais lentamente. Aos 270 dias, nos

talhões 1, 3 e 6 o processo se torna mais eficiente, que se estabiliza até o fim do estudo (360 dias).

O talhão 2, manteve a quantidade de material remanescente acima de 70% até 270 dias de estudo. No último trimestre o processo de decomposição foi mais eficiente, fazendo com que o material fosse decomposto em aproximadamente 20% do remanescente. Ao final de um ano, apresentou 50% do material ainda nos *litterbags*, sendo este resultado superior aos demais talhões. O talhão 4 e talhão 5 apresentaram avanço constante na decomposição de serapilheira, onde a porcentagem remanescente foi decaindo em torno de 20% a cada trimestre, até praticamente estabilizar dos 270 aos 360 dias. Ao fim do estudo nenhuma amostra foi totalmente decomposta.

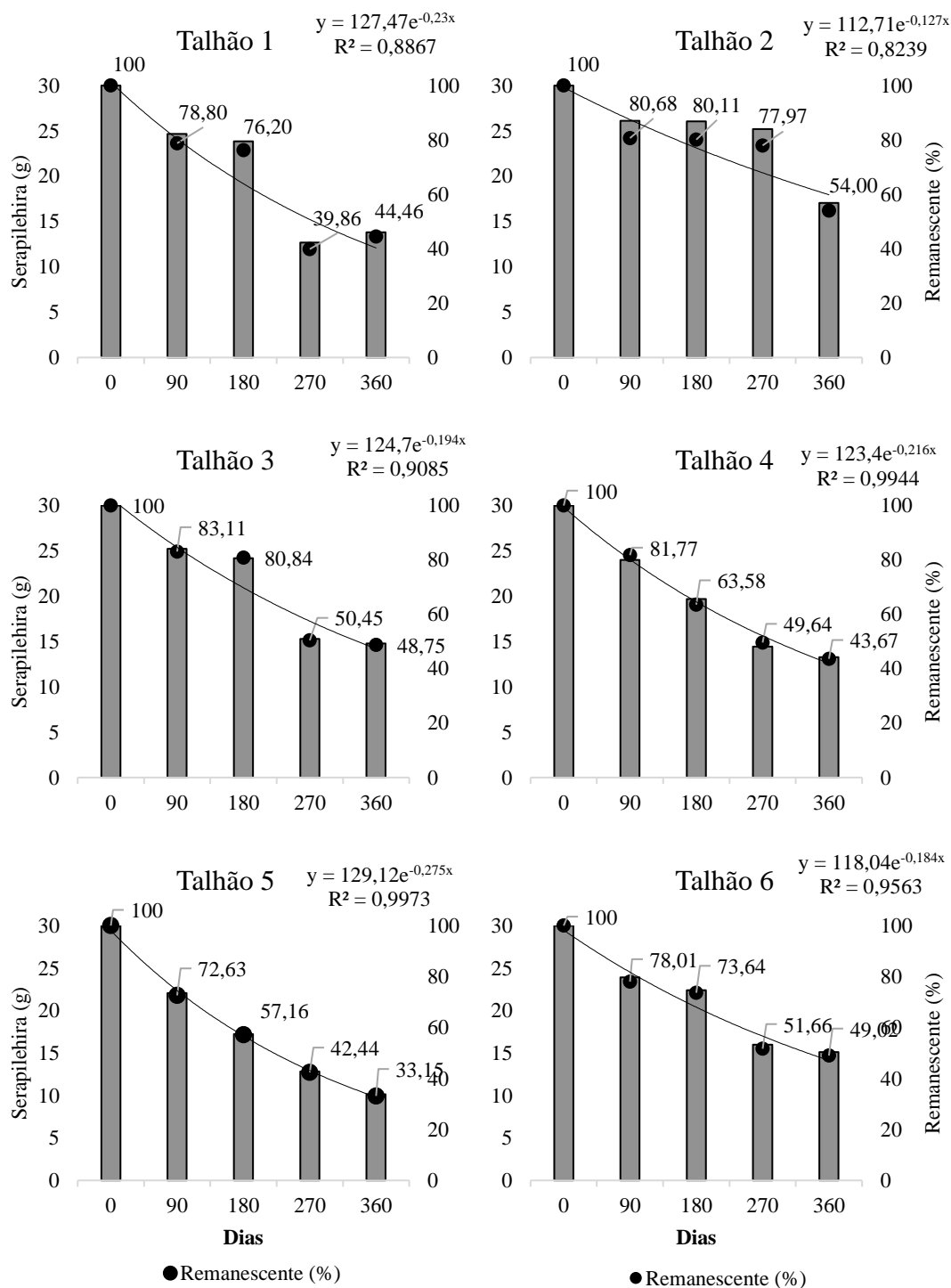


Figura 8: Comportamento do material remanescente das amostras de serapilheira (30g) avaliada nos talhões na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Foi identificada correlação significativa inversamente proporcional para a temperatura média máxima e o material remanescente em todos os talhões, exceto para o talhão 2. As demais variáveis analisadas na correlação não apresentaram significância entre si, mesmo algumas

possuindo alta correlação como podemos observar no caso da temperatura média mínima (Figura 9).

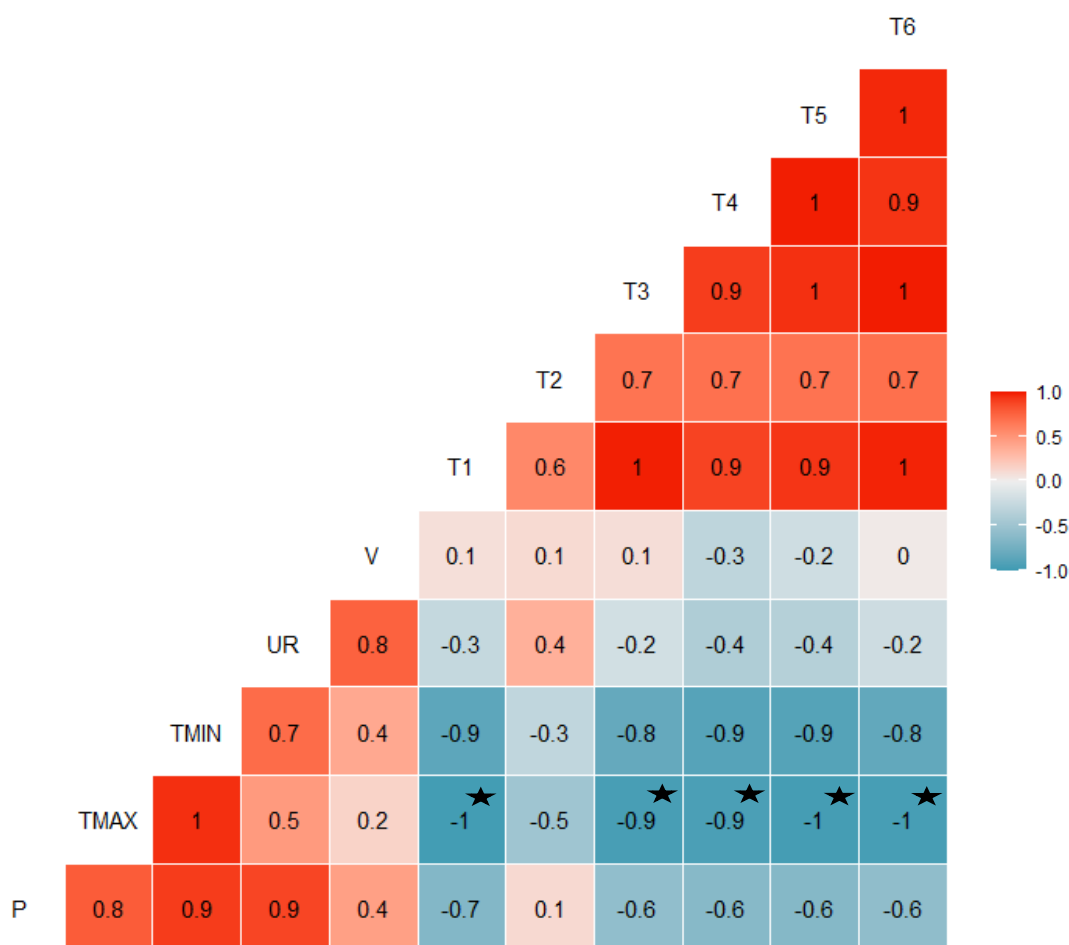


Figura 9: Correlação entre os fatores microclimáticos e o material remanescente da decomposição (%) na Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica, Brasil. Considerando: precipitação (P), média de temperatura máxima (TMAX), média de temperatura mínima (TMIN), umidade relativa (UR), velocidade máxima do vento (V), Talhão 1 (T1), Talhão 2 (T2), Talhão 3 (T3), Talhão 4 (T4), Talhão 5 (T5) e Talhão 6 (T6). Em que: ★ = correlação significativa 95%

A taxa de decomposição da serapilheira na FLONA Mário Xavier durante um ano de estudo não foi acelerada. O talhão 1 apresentou a melhor taxa de decomposição após 270 dias ($K = 0,0026 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}$) e os talhões 4 e 5 apresentaram valores constantes para a taxa de decomposição ao longo do ano, com valor médio de $K = 0,0010 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}$ e $K = 0,0015 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}$, respectivamente.

Os menores valores para a taxa de decomposição foram encontrados no talhão 2, onde o maior valor acontece aos 90 dias ($k = 0,0010 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}$). O tempo estimado para que ocorra decomposição de 50% do material presente nos *litterbags* ($t_{1/2}$) variou entre os talhões estudados, sendo o talhão 2 aquele com o maior tempo de meia vida após os 180 dias de estudo. Devido as condições do ambiente proporcionadas pelo tipo de vegetação e localização no talhão 5, o $t_{1/2}$ apresenta resultado inferior em relação ao talhão 2 (Tabela 7).

Tabela 7: Tempo em dias para a avaliação da constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ($t^{1/2}$) na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Talhões	Tempo (Dias)	K	($t^{1/2}$)
1	90	0,0012	604,77
1	180	0,0007	1178,73
1	270	0,0026	485,29
1	360	0,0010	712,43
2	90	0,0010	701,03
2	180	0,0005	1563,32
2	270	0,0004	2256,66
2	360	0,0008	1182,25
3	90	0,0009	1045,47
3	180	0,0007	-117,73
3	270	0,0012	493,07
3	360	0,0009	827,12
4	90	0,0010	1006,16
4	180	0,0011	637,89
4	270	0,0011	605,24
4	360	0,0010	698,36
5	90	0,0016	461,78
5	180	0,0015	599,70
5	270	0,0015	532,87
5	360	0,0015	549,53
6	90	0,0012	618,22
6	180	0,0008	548,23
6	270	0,0011	697,65
6	360	0,0009	877,74

Em que: K = constante de decomposição e $t^{1/2}$ = tempo de meia vida em dias

5.4. Estoque e espacialização do carbono na serapilheira

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$) atestou a rejeição da hipótese de normalidade dos dados para o compartimento reprodutivo e miscelânea, em que podemos observar que um alto valor de coeficiente de variação também para esses compartimentos. Considerando as 20 UA, o maior valor de carbono estocado foi detectado na miscelânea e o menor valor estocado foi no compartimento reprodutivo. Em relação ao estoque médio, observa-se que o a maior média corresponde ao compartimento lenhoso (Tabela 8).

Tabela 8: Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para o carbono estocado (Mg ha^{-1}) na serapilheira e seus compartimentos na Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Talhão	Mín	Máx	\bar{x}	s	CV%	Valor - p
Folhas	0,04	1,76	0,76	0,38	50,36	0,4329
M. lenhoso	0,18	2,44	1,36	0,72	52,83	0,2533
M. reprodutivo	0,01	0,87	0,12	0,20	201,50	0,0005*
Miscelânea	0,18	2,87	1,18	0,81	68,02	0,0348*
Total	1,17	5,77	3,38	1,22	36,33	0,2553

Em que: Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; s = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; valor- p = valor-p do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha = 5\%$); C = Carbono estocado Mg ha^{-1} ; * = rejeição da hipótese de normalidade dos dados, pelo teste de Shapiro-Wilk ($\alpha = 5\%$).

O estoque médio de biomassa de serapilheira total na área foi de $6,08 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto o estoque médio de carbono foi igual a $3,38 \text{ Mg ha}^{-1}$. O carbono estocado na serapilheira apresentou estrutura com dependência espacial nos modelos de semivariograma teórico esférico, exponencial e gaussiano, com forças variando de moderadas (m. lenhoso, miscelânea e total) a fortes (folha e reprodutivo) (Tabela 9).

O modelo exponencial foi o que se aderiu melhor ao semivariograma experimental para os compartimentos avaliados, apresentando as melhores estatísticas de ajuste. O valor de alcance da dependência espacial variou de acordo com o compartimento analisado, demonstrando o raio médio em que dois pontos se encontram relacionados espacialmente.

Tabela 9: Estatísticas de ajuste do modelo de semivariância e índice de dependência espacial para a variável carbono (Mg ha^{-1}) na Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

		Carbono estocado (Mg ha^{-1})						
Comp.	Modelos	C_0	C	A	IDE%	AIC	\overline{ER}	SD
Folha	Exp	0,0000	0,1333	159,3150	100,00	23,0241	0,0462	1,1397
	Esf	0,0017	0,1261	478,0299	98,67	22,3285	0,0742	1,1938
	Gau	0,0222	0,1126	222,039	83,53	22,3923	0,0853	1,3078
M. lenhoso	Exp	0,2212	0,2781	234,8872	55,70	49,7863	-	-
	Esf	0,2944	0,2315	468,3986	44,02	48,9648	-0,0524	1,2649
	Gau	0,2422	0,2662	821,1995	52,36	49,0594	-0,0649	1,2782
M. reprodutivo	Exp	0,0000	0,0454	214,2130	100,00	1,8613	0,4095	2,1664
	Esf	0,0000	0,0457	572,5608	100,00	0,7521	0,4126	2,6096
	Gau	0,0000	0,0478	268,5228	100,00	-0,0451	0,3853	2,6188
Miscelânea	Exp	0,3359	0,3193	646,2336	48,73	52,9971	-0,0966	1,4171
	Esf	0,3435	0,2786	1272,0423	44,78	52,3540	-0,0902	1,4554
	Gau	0,2748	0,3241	885,3579	54,12	51,9928	0,0737	1,4249
Total	Exp	0,4873	0,9765	190,5916	66,71	71,3924	1,2201	-0,0473
	Esf	0,9467	0,5614	449,9101	37,23	70,7848	-	-
	Gau	0,7355	0,7675	813,2519	51,06	71,0156	-	-

Em que: C_0 = efeito pepita; C = contribuição; A = alcance; AIC = critério de Informação de Akaike; \overline{ER} = erro médio reduzido; S_{er} = desvio padrão dos erros reduzidos; IDE (%) = Índice de dependência espacial.

A krigagem ordinária permitiu a espacialização nos talhões estudados do estoque de carbono na serapilheira e de seus compartimentos (Figura 10), em que padrões espaciais para o total e os compartimentos foram representados das cores mais frias para mais quentes. Nos mapas apresentados (Figura 10) pode-se visualizar a similaridade entre a espacialização

compartimento folha e material reprodutivo, ambos com o maior estoque entre as áreas do talhão 5 e talhão 7. Também podemos observar a relação no talhão 6, quando observamos o compartimento folha e a serapilheira total.

O estoque de carbono no compartimento do material lenhoso apresenta os valores mais altos nas áreas onde estão presentes os indivíduos de eucalipto. O maior estoque no material reprodutivo acontece em parte do talhão 4, onde está presente a sumaúma e talhão 5, onde a maioria dos indivíduos da espécie arco-de-pipa está concentrada. Em ambos os casos foi observada elevada produção de frutos em determinadas épocas do ano, justificando esse acúmulo na superfície do solo.

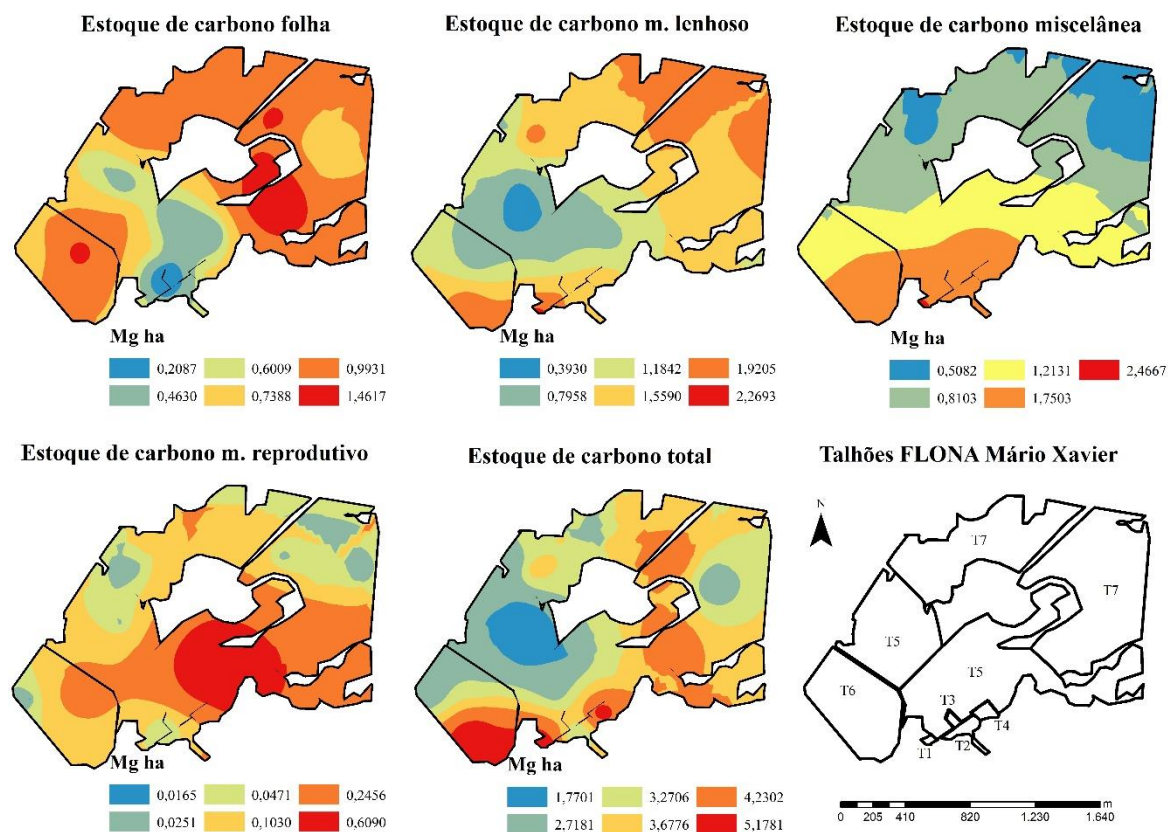


Figura 10: Espacialização do estoque de carbono na serapilheira e seus compartimentos em Mg ha^{-1} por meio da krigagem ordinária em todos os talhões estudados na Floresta nacional Mário Xavier, município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. Em que: T1 = sapucaia; T2 = sabiá; T3 = andá-açú; T4 = sumaúma; T5 = misto; T6 = eucalipto a. e T7 = eucalipto j.

6. DISCUSSÃO

6.1. Estrutura, fitossociologia e florística

Considerando a área total, a vegetação presente na FLONA Mario Xavier apresenta características semelhantes com florestas em estágio sucessional médio, de acordo com a Resolução CONAMA nº 006/1994, com exceção dos talhões 3 e 4, onde a copaíba e a sumaúma influenciam diretamente na superestimativa das características dendrométricas. O avanço do estágio sucessional de uma floresta também gera alterações na riqueza e abundância das espécies, na estrutura da vegetação, luminosidade, deposição de biomassa e nutrientes no solo (CHAZDON, 2012).

A família Fabaceae é uma das três famílias com maior número de espécies no mundo e a com maior riqueza no Brasil (BEZERRA et al., 2018), sendo facilmente encontrada em todos os biomas brasileiros (GOMES et al., 2018). Devido essas características e seu rápido crescimento, suas espécies são muito utilizadas em procedimentos com o objetivo da restauração florestal. Espécies pioneiras dessa família são responsáveis pela contribuição de biomassa viva, por causa da capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo na camada superficial, favorecendo a regeneração natural no sub-bosque (CITADINI-ZANETTE et al., 2017). Como a FLONA é uma floresta oriunda de diferentes metodologias de restauração (plantios de mudas e regeneração natural), acredita-se que a diversidade de espécies dessa família esteja relacionada com essas características.

No talhão 1 e 4, mesmo o número de indivíduos do arco-de-pipa sendo superior aos de eucalipto e sumaúma respectivamente, os valores de dominância em função da elevada área basal desses indivíduos fazem com que esses ocupem maior área na FLONA. Demonstrado que nem sempre a abundância de uma determinada espécie é suficiente para demonstrar a sua importância em determinada região.

O arco-de-pipa, que apresentou IVI = 24,57% considerando todos os talhões da FLONA, é caracterizado de acordo com a literatura como espécie secundária, semidecídua com ampla dispersão e padrão de distribuição irregular e descontínuo, produzindo anualmente grande quantidade de sementes viáveis disseminadas por pássaros (LORENZI, 2016). Esse resultado demonstra a importância ecológica dessa espécie na área, auxiliando no conhecimento da estrutura da floresta, balanço entre as espécies e distribuição, fornecendo informação para tomadas de decisão e desenvolvimento de estratégias buscando a conservação e melhoria da diversidade (VIEIRA et al., 2015).

Por meio dos diferentes projetos de restauração que ocorreram na FLONA, o arco-de-pipa foi inserido na área do talhão misto (talhão 5). Atualmente está presente em todos os talhões, principalmente no talhão 6, área onde o processo de regeneração natural nas entrelinhas de eucalipto foi eficiente, principalmente para essa espécie. Estudos devem ser desenvolvidos para avaliar o comportamento do arco-de-pipa e verificar como ele se dispersou facilmente na Unidade de Conservação, para que em seguida possa ser realizado um manejo adequado buscando que outras espécies também possam se desenvolver e se propagar na área.

O inventário realizado na FLONA, demonstrou um número elevado de espécies na Unidade de Conservação, contudo a abundância desses indivíduos são desproporcionais entre si, resultando em um valor mediado de equabilidade para a área total da unidade. Diferente do que ocorre nos talhões 2 e 3 onde, o valor de equabilidade foi semelhante ao encontrado por Cysneiros et al. (2015) que, em um estudo realizado no Parque Natural Municipal do Curió, em Paracambi - RJ, verificou índice J' = de 0,88 para a área.

6.2. Produção de serapilheira

As diferenças mensais na produção de serapilheira e seus compartimentos demonstram como esse processo pode ocorrer de forma variada, principalmente na região de Mata Atlântica, onde fatores climáticos e edáficos devem ser levados em consideração (BAZI, 2019). A maior produção de serapilheira pode acontecer ao fim da época seca por exemplo, em resposta ao estresse hídrico causado nos meses anteriores, e ao início dos meses do verão, devido a maior precipitação e aumento da velocidade dos ventos causados por tempestades (MACHADO et al., 2015).

Em florestas tropicais, a maior produção da serapilheira geralmente ocorre em períodos de radiação abundante, devido ao processo de senescência de folhas maduras e o aparecimento de novas folhas (ZHANG et al., 2014). Em um estudo realizado considerando dois estágios sucessionais na reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG, a produção de serapilheira foi sazonal, com maior aporte no início da primavera. Para essas áreas, a produção anual estimada de serapilheira foi de 6.310 kg ha⁻¹ na floresta inicial e 8.819 kg ha⁻¹ na floresta madura (PINTO et al., 2008). A produção de serapilheira também foi avaliada em três trechos de floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, em Ouro Preto, MG, onde a produção anual de cada área foi 6,78 t ha⁻¹, 6,58 t ha⁻¹ e 5,09 t ha⁻¹, com o pico máximo de aporte ocorrendo no mês de setembro (WERNECK; PEDRALLI; GIESEKE, 2001).

Estudos realizados anteriormente na FLONA Mário Xavier avaliaram o aporte de serapilheira na área de floresta de sucessão secundária espontânea e no plantio de eucalipto, constatando maior deposição de serapilheira na estação do inverno com valores de 2,39 Mg ha⁻¹ e 2,01 Mg ha⁻¹ para as respectivas áreas (NETO et al., 2012). No presente estudo este comportamento foi semelhante, com a maior produção de serapilheira ocorrendo no período do inverno, principalmente no mês de agosto. Esse resultado é característico de locais com climas mais secos, onde os picos de produção são observados na estação seca sendo a produção de serapilheira inversamente proporcional a precipitação (SANTIAGO; MULKEY 2005, CIANCARUSO et al., 2006).

É comum florestas tropicais apresentarem fracas correlações entre a produção de serapilheira com a precipitação e temperatura média anual, pois essa influência pode ser mascarada por características fisiológicas das espécies (MARTINELLI et al., 2017). A sumaúma é uma espécie de origem Amazônica, a baixa disponibilidade de água gera redução na taxa de crescimento em altura, sendo essa uma consequência da limitação da fixação de carbono pela fotossíntese. Além disso, também gera diminuição do número de folhas e folíolos, pois sob condições de déficit hídrico é um mecanismo que a planta utiliza para redução da área foliar, tendo como resultado direto a redução da transpiração e a conservação da água no solo (SILVEIRA, 2020). No mês de março aconteceu o aumento da produção do compartimento foliar devido a ação de uma lagarta que estava presente na região do talhão, fazendo com que as folhas dos indivíduos de sumaúma caíssem em grandes quantidades na superfície do piso florestal.

O compartimento foliar corresponde a maior porcentagem em relação ao total produzido de serapilheira, por meio desse compartimento é possível observar o padrão sazonal de produção neste estudo. Resultado semelhante foi encontrado em outros estudos, onde as folhas representavam mais de 70% do material coletado (PIRES et al., 2006; FERREIRA et al., 2007; SCHUMACHER et al., 2011; VIERA et al., 2014), sendo a folha a forma mais rápida de retorno dos nutrientes para o solo (PAULA et al., 2009; PIMENTA et al., 2011).

Os galhos são o segundo componente mais importante da serapilheira, a queda desse compartimento no solo pode ocorrer devido sua alta densidade em algumas áreas e ocorrência de ventos fortes (VIERA et al., 2014). Na FLONA, os períodos que ocorreram as maiores

produções de material lenhoso, foram nos meses seguintes aos de maior queda de folhas na superfície do solo. As copas das árvores estavam menos densas, facilitando a passagem dos ventos, e provocando a queda aleatória desse compartimento. Esse fenômeno também pode ocorrer em períodos de chuvas forte após estações secas (VIDAL et al., 2007). A produção de material reprodutivo em janeiro e fevereiro de 2022 está associada aos talhões 1 e 5, onde nos primeiros meses o arco-de-pipa produziu uma grande quantidade de frutos, seguido no mês de março pelo talhão 4 com a presença da sumaúma, fazendo com que a variação de produção desse compartimento fosse elevada e em pontos isolados.

A diferença de produção de serapilheira entre os talhões pode estar relacionada com a variação do estágio sucessional, riqueza de espécies, número de indivíduos, área basal, altura total média DAP médio, entre outras características (GODINHO et al., 2014). Os talhões que apresentaram diferença significativa entre si, foram os que não tinham o arco-de-pipa como destaque, dessa forma, pode-se considerar que essa espécie influencia a dinâmica de produção de serapilheira afetando a comparação de produção entre as composições dos demais talhões que apresenta elevado IVI% em relação as demais espécies.

Também podemos observar variação de produção no interior dos talhões. No talhão 1, por exemplo, existe uma grande concentração de lanterneiras próximos a um dos coletores, enquanto que nos outros 2 indivíduos de eucalipto estão mais próximos. Isso influencia na variação de quantidade de material coletado no interior dos coletores. No talhão 2, a distribuição de espécies no interior na unidade amostral, também influenciou na produção de serapilheira, em que existia uma melhor cobertura vegetal com a presença da espécie amendoim bravo próximo de um único coletor. As unidades amostrais das demais áreas não apresentam variações relacionadas a vegetação ou ao terreno que possam causar diferenças entre a queda do material ao longo da área de coleta.

As características da vegetação possivelmente estão influenciando na deposição de serapilheira e, conseqüentemente, no acúmulo de material na superfície do solo. Além dessas características, o período do ano em que foi realizada a coleta, a temperatura e umidade, qualidade nutricional do material formador da serapilheira e ação de organismos e microrganismos do solo também influenciam na quantidade de material aportado (DINIZ et al., 2015).

Os resultados encontrados nesse estudo indicam que, mesmo a Unidade de Conservação estando localizada em uma área urbana e com interferência antrópica por causa dos bairros em seu entorno, a produção de serapilheira e seu aporte no solo são significativos para a região. Essa resposta do ambiente indica a importância da FLONA Mário Xavier e a necessidade de estudos contínuos e de longa duração para acompanhar a evolução desses resultados.

6.3. Decomposição de serapilheira

O talhão 2 apresentou a menor taxa de decomposição com o passar dos meses avaliados e conseqüentemente foi a área que apresentou o maior tempo de meia vida. O processo de decomposição nesse talhão não foi semelhante aos demais por diversos fatores, dentre eles podemos destacar a composição de espécies, as características do solo e a interferência do meio antrópico próximo à área. O solo da região é bastante arenoso, compactado e mais exposto em relação as demais áreas avaliadas. A camada de serapilheira que recobre o solo é bastante alterada por causa da criação de trilhas e utilização da área, podendo provocar a degradação dos recursos naturais (EISENLOHR et al., 2013), alterando a produção da floresta e o fluxo de ciclagem dos nutrientes entre o sistema planta e solo.

Estudos realizados anteriormente na FLONA, indicam que a área de plantio de *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá) apresentou maior decomposição em relação a área de floresta de sucessão secundária espontânea (FERNANDES et al., 2006). Os autores destacam que esse

resultado ocorreu sobretudo por causa da melhor qualidade do material aportado das leguminosas presentes, sendo esse talhão a principal área de ocorrência da *Piptadenia gonoacantha* (pau-jacaré). As áreas reflorestadas ou com regeneração utilizando leguminosas arbóreas apresentam maior velocidade de decomposição (K) e menores tempo de meia-vida. Como atualmente a área não apresenta somente a espécie do sabiá, com maior destaque para um número superior de indivíduos do arco-de-pipa, esse resultando não foi semelhante ao estudo citado anteriormente, influenciando assim no processo de decomposição.

Avaliando-se o aporte e a decomposição da serapilheira em três áreas de floresta periodicamente inundáveis na Ilhada Marambaia, RJ, foi constatado que a maior perda de material acontece no primeiro mês de estudo. Essa rápida decomposição foi atribuída a características do material, que estava mais palatável aos organismos saprófagos nesse período, facilitando o processo de decomposição (PAULA et al., 2009). Característica semelhante foi encontrada nesse estudo.

As áreas que apresentaram o processo de decomposição mais avançando com o passar dos meses (talhões 5 e 6), apresentam vegetação mais densa, maior acúmulo de umidade, baixas variações de temperatura, difícil acesso do meio antrópico, dossel relativamente fechado, com a presença de diferentes tipos de vegetação e sub-bosque com elevado número de indivíduos regenerantes. Essas características acarretam uma ciclagem de nutrientes mais rápida, consequentemente acelerando o processo de decomposição, principalmente do compartimento foliar (MENEZES, 2008). Ou seja, uma vegetação mais robusta e com maior deciduidade tende a produzir mais serapilheira, mas a velocidade de sua decomposição e permanência no sistema está condicionada aos fatores citados.

Os processos de decomposição de serapilheira são mais acelerados em florestas em estágio avançado. O principal motivo desse comportamento está relacionado ao microclima que a vegetação densa e diversificada proporciona para a atividade da macrofauna invertebrada do solo, influenciando desta forma, o processo de decomposição do material foliar (PINTO et al., 2009; MENEZES et al., 2010).

As maiores taxas de decomposição na FLONA aconteceram no talhão 5, com período de um ano e meio para a renovação do material acumulado. Mesmo que o resultado não seja tão eficiente, foi o melhor entre as demais áreas estudadas. Esse comportamento em relação aos outros talhões sugere um solo e serapilheira com melhor qualidade, umidade e temperatura. A decomposição também é favorecida nos períodos úmidos, quando a atividade dos organismos decompositores intensifica esse processo (CIANCIARUSO et al., 2006).

6.4. Estoque de carbono e espacialização

O estoque de carbono na serapilheira e seus compartimentos na FLONA Mário Xavier apresentam estrutura de dependência espacial, em que o valor médio de estoque para a serapilheira foi de $3,38 \text{ Mg ha}^{-1}$. Na vegetação do Cerrado foi encontrada forte estrutura de dependência espacial do carbono estocado em serapilheira, com variação dos padrões espaciais entre $3,95 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $9,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ (MORAIS et al., 2017).

O modelo exponencial também apresentou melhor desempenho em estudos realizados por Scolforo et al. (2016) e Moraes et al. (2017) avaliando estoque de carbono em florestas. O estoque de carbono das unidades amostrais localizadas no talhão 7, não são valores estocados desde que o plantio de eucalipto foi estabelecido. Esse talhão sofre com constantes queimadas e invasão de animais para pastagem, prejudicando assim o acúmulo de serapilheira no solo e consequentemente o estoque de carbono na região.

A variação do estoque de carbono entre os talhões estudados permite fazer relação com as características da vegetação de cada um. Foi no talhão 6 que a maior área referente ao estoque de carbono foi detectada. Nos anos de 1945 foram plantadas dez espécies de eucalipto nessa

área. Com o passar dos anos essa região entrou em processo de regeneração natural, com o auxílio da dispersão de sementes e impulsionadas pelos plantios das outras áreas com espécies nativas. Também é um talhão mais isolado, onde o acesso do meio antrópico é mais difícil devido ao rio que cerca a área.

O estoque de carbono pode variar de acordo com características de determinadas áreas, podendo aumentar com o passar dos anos e avanço da vegetação (CORDEIRO et al., 2018). Estudos realizados em áreas de reservas legais e de preservação permanente, onde a influência antrópica é mínima, também enfatizam o crescimento do carbono estocado (BELLO et al., 2015), considerando que os estoques presentes são diretamente afetados pela perda da cobertura vegetal (SANQUETTA et al., 2018). Diante disso, destaca-se a importância de manter as áreas florestais protegidas, para que continuem se comportando como sumidouros, e não contribuindo com a emissão de CO₂.

As quantidades de biomassa e carbono orgânico encontradas na serapilheira do talhão 5 aproximaram-se dos valores quantificados por Godinho et al. (2014) em um trecho de Floresta Estacional Semidecidual Sub-montana, no estado do Espírito Santo, tendo tais autores observado 5,5 Mg ha⁻¹ de biomassa e 2,8 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico. No geral, quando analisamos o resultado entre todos os talhões, observamos que o talhão 7 também apresenta valores elevados de estoque. Como as condições de clima das áreas estudadas são semelhantes, é provável que o valor de estoque verificado no povoamento de eucalipto esteja relacionado à ação antrópica que a área sofre constantemente, acelerando a queda de material foliar e lenhoso na superfície do solo.

Os demais talhões diferem do talhão 7 por apresentarem maior diversidade de espécies, predominância das famílias Fabaceae e da espécie arco-de-pipa, propiciando um ambiente biologicamente mais complexo do que o existente nos povoamentos puros, o que deve refletir em maior quantidade e diversidade dos materiais depositados sobre o solo.

A FLONA Mário Xavier é de grande importância para a região de Seropédica. Toda sua cobertura florestal atual foi originária de processos como os plantios de restauração e regeneração florestal, contribuindo para o estoque de carbono na região. As áreas de eucalipto da FLONA também possuem potencial para estar oferecendo os mesmos serviços ecossistêmicos para o município, contudo, como se trata de uma área não manejada e que constantemente sofre com incêndios para o incremento de pastagens, esse estoque provavelmente está sendo afetado, podendo agir mais como emissor do que como sumidouro.

Deve-se considerar a realização de projetos com o objetivo de conservação das áreas florestais, redução das queimadas, do desmatamento, da emissão de gases do efeito estufa e demonstração da importância de uma unidade de conservação localizada em um ambiente urbano. As florestas tropicais funcionam como importante sumidouro de carbono, isso ocorre provavelmente para contrapor o aumento na concentração de carbono na atmosfera, que aumenta a produtividade da floresta (CLARK, 2004). Estudos para estimar o estoque de carbono são necessários, pois a conservação dessas áreas garante com o passar dos anos a estimativa do crédito de carbono.

7. CONCLUSÃO

O estoque de carbono na serapilheira apresenta estrutura de dependência espacial, sendo o seu valor médio de estoque na FLONA de $3,38 \text{ Mg ha}^{-1}$. A produção anual de serapilheira é influenciada pela sazonalidade do clima, com estimativa média anual de $10,44 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}$ e $0,87 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{.mes}$. A taxa de decomposição foi baixa para todos os talhões, sendo necessário mais de um ano para a decomposição completa do material remanescente.

A produção média foi semelhante entre os talhões, com exceção do talhão 4, onde as características fisiológicas da sumaúma influenciaram a produção de serapilheira. O processo de decomposição no talhão 2, com predominância da espécie arco-de-pipa e sabiá apresentou estabilidade e menor taxa de decomposição. Diferente do talhão 5, que por apresentar principalmente maior variedade de espécies, seguiu comportamento exponencial.

A produção e a decomposição de serapilheira estão relacionadas com as variações climáticas no ambiente. O período de maior produção ocorreu entre os meses do inverno, coincidindo com o período de menor intensidade de chuva e baixas temperaturas. A quantidade de material remanescente da decomposição é inversamente proporcional aos valores médios de temperatura máxima.

Foi possível especializar o estoque de carbono na serapilheira total e seus compartimentos nos sete talhões da FLONA, utilizando o modelo exponencial por meio da krigagem ordinária. As maiores concentrações foram identificadas principalmente nas regiões do talhão 6 e 7, região onde foram plantados eucaliptos em 1945 e hoje está em processo de regeneração natural, e região onde estão localizados os eucaliptos plantados em 1997.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUAN, E. A.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, A. G.; VARGAS, K. B. Espacialização fitofisionômica de espécies arbóreas da Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica - RJ. **Revista Continentes**, v. 8, n. 15, p. 28–55, 2019.
- AMARAL, L. P. et al. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em floresta ombrófila mista Analysis of spatial distribution of biomass and carbon in trees above ground mixed ombrophilous forest. **Ambiência**, v. 6, n. 4, p. 103-114, 2010.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 105-121, 2009.
- AQUINO, P S. R. et al. Análise espacial da produtividade de serapilheira em uma mata de galeria. **Ciência florestal**, v. 26, p. 489-500, 2016.
- AQUINO, R. E. de et al. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 397-406, 2014.
- ATAÍDE, D. H. S. et al. Dependência espacial de variáveis dendrométricas em diferentes idades e intensidades amostrais em povoamento de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1591-1611, 2022.
- BARBOSA, J. H. C.; FARIA, S. M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57, p. 461-476, 2006.
- BARBOSA, V. et al. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.
- BAZI, C. A. **Produção e decomposição de serapilheira em um fragmento urbano de mata atlântica**. 2019. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica.
- BELLO, C. et al. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, Washington, v. 01, n. 11, p. 1-10, 2015.
- BEZERRA, J. W. A. et al. Biometria e quebra de dormência em *Dimorphandra gardneriana* Tul. (Faveira) (Fabaceae). **Revista Cubana de Plantas medicinales**, v. 23, n. 4, 2018.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. 2000.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes - Floresta Ombrófila Mista Montana - Paraná. **Revista Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 101–116, 2007.

- CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1151-1159, 2002.
- CÉSAR, O. Produção de serrapilheira na mata mesófila semidecídua da fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi (SP). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 53, n. 4, 1993, p. 671-681.
- CHAVE, J. et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. **Biogeosciences**, v. 7, n. 1, p. 43-55, 2010.
- CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**. Belém, v. 7, p. 195-218, 2012.
- CIANCIARUSO, M. V. et al. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 49-59, 2006.
- CITADINI-ZANETTE, V. et al. *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae) enhances the restoration in coal mining areas in the Atlantic Rainforest. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 103-114, 2017.
- CLARK, D. A. 2004. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 359: 477-491.
- CONAMA. Resolução 006 de 4 de maio de 1994, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0006-040594.PDF> >. Acesso em: 04 de junho de 2022.
- CORDEIRO, N. G. et al. Variação temporal do estoque de carbono e volume de madeira em um fragmento de cerrado sensu stricto. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 24, p. 152-166, 2018.
- CORREIA, G. G. S. et al. Estoque de serapilheira em floresta em restauração e em Floresta Atlântica de tabuleiro no sudeste brasileiro. **Revista Árvore**, v. 40, p. 13-20, 2016.
- CORREIA, M. E. F; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A. de. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Rev. e atual. - Porto Alegre: Metrópole. p.137-158, 2008.
- CUNHA NETO, F. V. et al. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 379-387, 2013.
- CYSNEIROS, V.C. et al. Diversity, community structure and conservation status of an Atlantic Forest fragment in Rio de Janeiro State, Brazil. **Biota Neotropica**, v.15, n.2, e20140132, 2015
- DENARDIN, R. B. N. et al. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó-SC. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 59-69, 2014.
- DINIZ, A. R. et al. Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

EISENLOHR, P. V. et al. Trilhas e seu papel ecológico: o que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas? **Hoehnea**, v. 40, n. 3, p. 407-418, 2013.

FANG, J. et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. **Science**, v.292, n.5525, p.2320-2322, 2001.

FERNANDES, M. M. et al. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, v. 16, p. 163-175, 2006.

FERREIRA, R. L. C. et al. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista Árvore**, v. 31, p. 7-12, 2007.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência florestal**, v. 13, p. 11-18, 2003.

GASPAR, R. O. et al. Análise fitossociológica e do estoque de carbono no estrato arbóreo de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 313-324, 2014.

GODINHO, T. O. et al. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, p. 11-20, 2014.

GOMES, G. S. et al. Botanical Composition of Fabaceae Family in the Brazilian Northeast, Maranhão, Brazil. **Asian Journal of Environment & Ecology**. v. 6, n. 4, p. 1-10, 2018.

GOMES, L. M.; REIS, R. B.; CRUZ, C. B. M. Análise da cobertura florestal da Mata Atlântica por município no Estado do Rio de Janeiro. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 14, p. 3849-3857, 2009.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: a panel data analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, v. 54, n. 4, p. 471-494, 2013.

JIMÉNEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. **Biological wastes**, v. 27, n. 2, p. 115-142, 1989.

JUNGES, A. L. et al. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. Cuiabá. Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151, 2018.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v. 2, n. 1, p. 19–33, 2006.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 434-451, 2009.

LORENZI, H. Árvores brasileiras, Editora Plantarium. **Editora Plantarum**, 2016.

LUGO, A. E.; HELMER, E. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2-3, p. 145-161, 2004.

MACHADO, D. L. et al. Ciclagem de nutrientes em diferentes estádios sucessionais da Mata Atlântica na bacia do rio Paraíba do Sul, RJ. **Biosci. j. (Online)**, p. 1222-1237, 2015.

- MARTINELLI, L. A.; LINS, S. R. M; SANTOS-SILVA, Jéssica C. Fine litterfall in the Brazilian Atlantic forest. **Biotropica**, v. 49, n. 4, p. 443-451, 2017.
- MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, p. 405-412, 1999.
- MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 25–37, 2005.
- MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 229-239, 2016.
- MENEZES, C. E. G. et al. 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.
- MENEZES, Carlos Eduardo Gabriel. Integridade da paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. (Tese) Seropédica: UFRRJ, 2008. 175p.
- MILLER, J.; FRANKLIN, J.; ASPINALL, R. Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. **Ecological Modelling**, Elsevier, Netherlands v. 202, p. 225-242, 2007
- MORAIS, V. A. et al. Spatial and vertical distribution of litter and belowground carbon in a Brazilian Cerrado vegetation. **Cerne**, v. 23, p. 43-52, 2017.
- NASCIMENTO, L. S.; CERQUEIRA, R. M.; HENDERSON, B. L R. Produção de serapilheira em um fragmento adjacente a uma cava de mineração, Ribeirão Grande, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 892-897, 2015.
- NETO, T. A. C. et al. Deposição de serrapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. único, p. 70-75, 2012.
- OLEA, R. A. (Ed.). **Geostatistical glossary and multilingual dictionary**. Oxford University Press on Demand, 1991.
- OLIVEIRA, B. R.; ANTÔNIO, G. B. Modelagem geoestatística aplicada a geologia de engenharia. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 73, n. 1, 2017.
- PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos avançados**, v. 4, p. 204-220, 1990.
- PARRON, L. M. et al. Avaliação de serviços ambientais no âmbito do projeto ServiAmbi. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- PARTON, W. et al. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, Washington, D.C., v. 315, n. 5810, p. 361-364, 2007.
- PAUDEL, E. et al. Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, v. 353, p. 97-106, 2015.

PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, p. 139-148, 2009.

PELISSARI, A. L. et al. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste seletivo, no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 3, p. 430-444, 2014.

PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; SCHULTZ, N. Aporte e decomposição da serapilheira na Floresta Atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 4, p. 443-454, 2008.

PINTO, S. I. C. et al. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na reserva florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 33, p. 653-663, 2009.

PINTO, S. I. C. et al. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional na reserva mata do paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 545-556, 2008.

PIRES, L. A. et al. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta botânica brasílica**, v. 20, p. 173-184, 2006.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **RNEWS**, v. 1, n. 2, p. 15–18, 2001.

RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, p. 917-926, 2009.

ROCHA, G. P. et al. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1197-1203, 2014

RODRIGUES, E. Edge effects on the regeneration of forest fragments in south Brazil. 1998. 172f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Cambridge, Harvard University, 1998. 172p.

SANQUETTA, C. R. et al. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas plantadas brasileiras: 1990-2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 152-160, 2018.

SANTIAGO, L. S.; MULKEY, S. S. Leaf productivity along a precipitation gradient in lowland Panama: patterns from leaf to ecosystem. **Trees**, v. 19, n. 3, p. 349-356, 2005.

SANTOS, R. C. et al. Estoques de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 1–7, 2016.

SCHUMACHER, M. V. et al. Espécies predominantes na deposição de serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 479-486, 2011.

SCOLFORO, H. F. et al. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in brazilian biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-arid woodland. **PLoS ONE**, [San Francisco], v. 10, n. 6, p. 1-20, jun. 2015.

SCOLFORO, H. F. et al. Spatial interpolators for improving the mapping of carbon stock of the arboreal vegetation in brazilian biomes of Atlantic forest and Savanna. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 376, p. 24-35, 2016.

SILVEIRA, A. M. F., Fotossíntese, crescimento e alocação de biomassa de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, Malvaceae) em resposta ao estresse hídrico e elevada concentração de CO₂. 2020.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOUZA, M. F. L. et al. Ciclo do Carbono: Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 5, p. 566-582, 2012.

SOUZA, R. L. N. **Restauração da mata atlântica: potencialidades, fragilidades e os conflitos ambientais na Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica/RJ**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ago. 2017.

SOUZA, T. R. R. S.; VARGAS, K. B. **Flona Mário Xavier: entre histórias e memórias**. Seropédica: Programa de Extensão Guarda Compartilhada Flona Mário Xavier, 2020.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, p. 48-56, 2010.

TOLEDO, L. 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.

TORRES, C. M. M. E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013.

VASCONCELOS, H. L.; LAURANCE, W. F. Influence of habitat, litter type, and soil invertebrates on leaf-litter decomposition in a fragmented Amazonian landscape. **Oecologia**, v. 144, n. 3, p. 456-462, 2005.

VIDAL, M. M. et al. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Brazilian Journal of Botany**, v. 30, n. 3, p. 521-532, 2007.

VIEIRA, D.S. et al. Análise estrutural e uso múltiplo de espécies arbóreas em florestas manejadas no médio vale do rio Curuá-Una, Pará. **Revista Floresta** 45, 465 – 476, 2015.

VIEIRA, S. R. et al. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIERA, Márcio et al. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 327-338, 2014.

WERNECK, M. S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, p. 195-198, 2001.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZHANG, H. et al. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. **Ecological Complexity**, v. 20, p. 240-247, 2014.

ZHOU, G. et al. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. **Plant Ecology**, v. 188, n. 1, p. 77-89, 2007.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. 1. ed. Botucatu: UNESP, 2003.