

CÁSSIA ADRIANA BAZI

**PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA
EM UM FRAGMENTO URBANO DE MATA
ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica
da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente,
como parte dos requisitos exigidos para a
obtenção do título de MESTRE em
BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO
AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas
Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2019

CÁSSIA ADRIANA BAZI

**PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA
EM UM FRAGMENTO URBANO DE MATA
ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica
da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente,
como parte dos requisitos exigidos para a
obtenção do título de MESTRE em
BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO
AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas
Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADOR: DR. EDUARDO PEREIRA CABRAL GOMES

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Bazi, Cássia Adriana

B363p Produção e decomposição de serapilheira em um fragmento urbano de Mata Atlântica / Cássia Adriana Bazi -- São Paulo, 2019.
141p.; il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2019.
Bibliografia.

1. Deposição. 2. Litterbag. 3. Trilha. I. Título.

CDU: 631.472.51

Dedico:

À minha filha Bruna, ao meu filho Patrick e ao meu netinho Thomas, amores da minha vida!!

À minha amada gatinha Mia pela companhia por horas a fio pela madrugada.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, do Insituto de Botânica pela condições oferecidas para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Pereira Cabral Gomes pelos ensinamentos para que fosse possível a realização deste trabalho e por compartilhar suas experiências durante os últimos seis anos. Pelas conversas e amizade. Muita gratidão!

À Pesquisadora Dra. Regina Maria de Moraes pela colaboração e amizade em diversos momentos da elaboração deste projeto. Pelas sugestões valiosas para melhor aproveitamento do dados. Muito obrigada.

À Pesquisadora Dra. Maria Tereza Gromboni Guaratini agradeço pela amizade e por nossas longas conversas. Por me fazer enxergar o melhor dos momentos que a vida nos impõe. Muito obrigada.

À Pesquisadora Dra. Leda Lorenzo pela contribuição tão valiosa na melhoria deste trabalho. Muita gratidão.

À Pesquisadora Dra. Sonia Aragaki, agradeço pelas dicas, apoio, incentivo e amizade.

À todas as Pesquisadoras do Núcleo de Ecologia, pelas conversas e por compartilharem suas experiências. Gratidão à todas essas mulheres maravilhosas.

Aos coordenadores do programa de pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente e a todos os funcionários da secretaria.

Às assistentes de pesquisa, Amariles, Dorinha e Marli pelo apoio na realiação deste trabalho.

A todos os professores do programa de pós-graduação, pelo acréscimo de conhecimentos, especialmente aos Pesquisadores Dr. Clóvis J. F. De Oliveira Junior e o Dr. Domingos Sávio Rodrigues, os quais há época foram professores da disciplina “Uso econômico da biodiversidade vegetal e desenvolvimento rural sustentável”. Agradeço por compartilharem

suas experiências e por mostrar um novo olhar em relação a pesquisa científica e questões humanitárias. Muita gratidão.

À minha família, pelo apoio e por me fazer acreditar que a realização deste trabalho seria possível, principalmente ao meu marido por dizer sempre aquela frase que me impulsionou a seguir em frente: “Eu tenho certeza que vai dar certo, é claro que você consegue!”. Gratidão eterna.

Ao meu querido e amado filho Patrick pelo apoio nas coletas ultrapassando as dezenas de teias de aranha, firme e forte me acompanhando no meio da mata até mesmo nos finais de semana, sem esquecer das triagens sem fim da serapilheira. Ahhh, e me ligando quando eu ficava até tarde pra saber se estava tudo bem. Meu filho amigo e companheiro. Te amo. Muito obrigada.

À minha querida e amada filha Bruna, pelas leituras e sugestões na colocação das frases, mesmo quando estava assistindo sua série favorita. Pelos bilhetes de parabéns com frases incentivadoras que me fazia sair de casa toda orgulhosa. Minha querida flor, eu te amo. Muito obrigada.

À minha amiga e irmã de coração Flávia que conheci quando fazíamos monitorias no Jardim Botânico em 2013, por todas as conversas, risadas, cafés e escapadas na hora do trabalho, que valeram para recordar por toda vida, te agradeço amiga por todo apoio. A minha amiga Dâmares, agradeço pela ajuda nas coletas e nas infinitas tabelas de clima. Obrigada amiga. Foram momentos inesquecíveis que resolvemos mantê-los até hoje. Minhas pangarés queridas.

A minha querida e inspiradora Laís Petri, por todos os momentos que passamos juntas, tantos os bons quanto os difíceis. Pela ajuda com meu TCC e depois com as ICs e logo depois com o Mestrado...nossa, você fez parte de toda minha vida acadêmica amiga e me ajudou demais. Você foi essencial nessa etapa da minha vida. Pelas conversas e desabafos, pelos cafés, almoços e principalmente pela amizade que cravou no meu meu coração. Te admiro muito.

Agradeço ao meu amigo Yukio pela atenção, ajuda nas edições gráficas que só ele sabe fazer maravilhosamente bem e pelas dicas preciosas para facilitar a elaboração desse trabalho, sua ajuda e amizade foram essenciais. Ahhh!! Não posso me esquecer dos chás de boldo para salvar o dia!! Muita gratidão.

Ao querido Ulisses pelo incentivo e carinho de sempre, que prontamente me auxiliou dedicando parte do seu tempo nas traduções. Muito obrigada!

Ao meu genro Mathias por me auxiliar com tanta atenção durante a madrugada. Muita gratidão!

Ao Vilmar, uma amizade que se iniciou com a ajuda em um estágio de licenciatura e depois foi aumentando de uma forma que percebemos que seria para sempre. Pelas conversas, almoços, jantares, praias, risadas...Meu amigo, quero que essa amizade seja eterna.

Ao Sérgio que não aguentou ver tanta serapilheira para triturar e resolveu ser o pioneiro dessa etapa..valeu meu amigo.

À querida Mayara, uma amiga que foi chegando de mansinho e veio pra ficar. Abriu seu coração e me ofereceu seu ombro e seu carinho quando mais precisei. Você é uma pessoa incrível!!

À minha amiga Thânia, pelo incentivo nessa fase acadêmica. Pelas palavras de carinho e por se fazer presente em todos os momentos da minha vida. Sou muito grata por termos vivido tantas histórias juntas. Que nossa amizade vá para além dessa vida.

À minha amiga Paula, por suas histórias que nos faz rir sem conseguir parar, pela energia contagiante que traz com sua presença e pelo carinho e amizade que trarei comigo para sempre. Gratidão amiga.

À Solange e Douglas pelo companheirismo desde o começo, pelos bons almoços juntos e idas à hortas e por termos a sorte de conhecer juntos o MST. Foi uma fase que mudou muita coisa dentro de nós. À Luyza se preocupando quando eu ficava até tarde. À querida Marcela sempre me incentivando a buscar por bons caminhos nessa vida acadêmica. À Viviane pelas

conversas, amizade e ajuda nas coletas e nas infinitas triagens. Às amigas Cecília e Carol pela amizade que fizemos, pela boas conversas e apoio nas coletas. Obrigada meninas! Ao meu amigo Giuliano, agradeço pela ajuda nas coletas, pelos almoços, cafés e muita amizade. Deixou eternas lembranças.

A todos os voluntários que foram essenciais nos trabalhos de campo e laboratório.

À minha querida amiga Marina Morena pela companhia tão agradável durante o almoço e pela amizade que fizemos durante esses anos. Gratidão demais por tê-la conhecido!

À minha sobrinha amada Mirella pela ajuda nos trabalhos de triagem, essências para que eu conseguisse ir mais cedo para casa naquelas férias....ahh se não fosse a Mirella!! À minha sobrinha amada Clara enfeitando minha mesa com seus desenhos maravilhosos, fazendo dos meus dias mais alegres.

Aos meus pais queridos, Manoela e Antônio pelo carinho e por serem uma fonte de inspiração em minha vida. Me orgulho demais de vocês dois.

Aos que aqui não foram citados e que em algum momento me auxiliaram neste trabalho, muito obrigada!!

Obrigada a todos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Localização do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, na região metropolitana de São Paulo, SP.....	32
Figura 1.2 Variação temporal no tipo de cobertura do solo do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), São Paulo, SP. Fonte: Plano de Manejo (São Paulo 2006)	39
Figura 1.3 Mapa das formações vegetais e uso das terras do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, em 1994. Destaque em vermelho para a área de estudo (Fonte: Pivello & Peccinini 2002, modificado)	40
Figura 1.4 Mapa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga e localização da parcela indicando a área de estudo, acima à esquerda, e área ampliada indicando a localização da área de estudo (retângulo amarelo), no Instituto de Botânica, SP.....	43
Figura 1.5 Acima, mapa da parcela com a amostragem dos pontos de coleta de serapilheira e abaixo, desenho esquemático da área de estudo com a localização dos 30 coletores na parcela de 1,08 ha (180 x 60 m), subdivida em 180 parcelas de 10 x 10 m, no Instituto de Botânica, SP. Foto: Cássia Bazi.....	45
Figura 1.6 Coleta da serapilheira acumulada sobre o solo. À esquerda, antes da coleta e à direita depois da coleta, na área do Instituto de Botânica de SP. Foto: Cássia Bazi, 2017.....	46
Figura 1.7 Variação da produção mensal de serapilheira em cada ano de estudo ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $n=30$) na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP.....	47
Figura 1.8 Produção mensal da serapilheira ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) durante os anos de estudo $n=30$ (2013 a 2018) na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).....	50
Figura 1.9 Perfil das variáveis climáticas e temporais (2013 a 2018) da deposição total e frações da serapilheira produzida entre os meses, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).....	53

Figura 1.10 Produção de serapilheira (Kg.ha^{-1}) nas estações seca (março a agosto) e úmida (setembro a fevereiro) entre 2013 e 2018, na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga.....	55
Figura 1.11 Média anual da serapilheira acumulada (kg.ha^{-1}) no período de junho/2014 a dezembro/2018, na floresta do PEFI, SP.....	59
Figura 1.12 Variação mensal do estoque de serapilheira acumulada entre os anos de 2014 a 2018, na área do Instituto de Botânica, SP.....	60
Figura 1.13 Variáveis climáticas referentes ao período de junho/2014 a dezembro/2018, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).....	61
Figura 2.1 Coleta de serapilheira acumulada sobre o solo no local pisoteado (A), não pisoteado (B), antes da coleta das amostras (C) e após a coleta das amostras (D), na área do PEFI.....	84
Figura 2.2 Desenho esquemático dos pontos de coleta ao longo da trilha de 1,08 ha (180 x 60 m) na área de estudo no Instituto de Botânica de São Paulo.....	84
Figura 2.3 Distribuição mensal da serapilheira acumulada no local pisoteado (Boxplot cinza) e não pisoteado (Boxplot branco) ($n=10$), durante os anos de 2015 a 2018 na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).....	86
Figura 2.4 Média anual da serapilheira acumulada no local pisoteado ($n=10$), durante os anos de 2015 a 2018 na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).....	87
Figura 2.5 Variação da serapilheira acumulada do início da trilha ao interior da floresta entre os anos de 2015 e 2018, na área do Instituto de Botânica, SP.....	88
Figura 3.1 Espécies vegetais nativas da Mata Atlântica utilizadas no experimento: (A) <i>Alchornea sidifolia</i> Mull. Arg., (B) <i>Calyptranthes grandifolia</i> O. Berg., (C) <i>Euterpe edulis</i> Mart. e (D) <i>Cupania oblongifolia</i> Mart. (Fotos: Cássia Bazi)	102

Figura 3.2 Acima, área de estudo com esquema da disposição dos 16 litterbags (numeração de 1 a 4 em cinza) em cada um dos dez pontos de referência, totalizando 160 litterbags. Abaixo, disposição de uma repetição de litterbags em campo, com os quatro tipos de folhas (1) *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., (2) *Calyptrantes grandifolia* O. Berg., (3) *Euterpe edulis* Mart. e (4) *Cupania oblongifolia* Mart, na área do Instituto de Botânica, SP. (Foto: Cássia Bazi)103

Figura 3.3 Massa remanescente das espécies vegetais *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., *Calyptrantes grandifolia* O. Berg., *Euterpe edulis* Mart. e *Cupania oblongifolia* Mart. ao longo de 120 dias nas estações seca e úmida, na área do Instituto de Botânica, SP.....108

Figura 3.4 Valores mensais de precipitação (mm) e temperatura (°C aos 30, 60, 90 e 120 dias (Março/2017 a Julho/2017) no período seco e (Outubro/2017 a Fevereiro/2018) no período úmido, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga.....110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Média das variáveis climáticas (Temperatura, Precipitação e Velocidade do Vento, da série histórica (1933 a 2017) e do período de estudo (2013 a 2018)	35
Tabela 1.2 Produção anual total ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e das frações da serapilheira na área do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), São Paulo. Média $\pm$ erro padrão (% do total), n=12.....	51
Tabela 1.3 Média das variáveis climáticas correspondentes ao período de estudo (2013 a 2018), no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).	52
Tabela 1.4 Estimativa anual da serapilheira acumulada, quociente de decomposição e tempo médio de renovação do estoque de serapilheira na floresta do PEFI, SP.....	62
Tabela 1.5 Produção total de serapilheira ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de formações florestais brasileiras.....	64
Tabela 1.6 Estoque, taxa de renovação e tempo médio de renovação da serapilheira de algumas formações florestais.	72
Tabela 2.1 Estimativa de pisoteio ao longo da área de estudo entre os anos de 2014 a 2018, na área do Instituto de Botânica, SP.....	83
Tabela 2.2 Serapilheira acumulada ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \pm$ erro padrão) entre os anos de 2015 a 2018, no local pisoteado e não pisoteado, na área do Instituto de Botânica, SP.....	87
Tabela 3.1 Coeficientes de decomposição k' e k de folhas das espécies <i>Alchornea sidifolia</i> Mull. Arg., <i>Calyptantes grandifolia</i> O. Berg., <i>Euterpe edulis</i> Mart. e <i>Cupania oblongifolia</i> Mart., durante o período seco (P.S.) e período úmido (P.U.), na área do Instituto de Botânica, SP. k' e k ficaram deslocados na tabela.....	107
Tabela 3.2 Estoque inicial, média da perda de peso e porcentagem de folhas remanescentes das espécies <i>Alchornea sidifolia</i> Mull. Arg., <i>Calyptantes grandifolia</i> O. Berg., <i>Euterpe edulis</i> Mart. e <i>Cupania oblongifolia</i> Mart, $\pm$ erro padrão durante os períodos seco e aos 30, 60 90 e 120 dias na área do Instituto de Botânica, SP.....	109
Tabela 3.3 Variáveis climáticas temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) nos experimentos do período seco (março a junho/2017) e período úmido (nov/2017 a fevereiro/2018), na área do Instituto de Botânica, SP.....	111
Tabela 3.4. Razão instantânea de decomposição (K), e tempo ($t^{1/2}$) para desaparecimento de 50% do material foliar das espécies selecionadas na área do Instituto de Botânica, SP.....	108

Sumário

RESUMO	14
ABSTRACT	16
Introdução geral	18
Objetivos gerais	22

Capítulo 1. Produção e decomposição de serapilheira: Padrões sazonais e acúmulo sobre o solo

1. Introdução.....	24
2. Objetivos.....	30
3. Material e Métodos.....	31
3.1 Localização do Pefi.....	31
3.1.1 Caracterização física e climática.....	33
3.2 Histórico do PEFI.....	36
3.3 Caracterização da vegetação.....	38
3.4 Caracterização da área de estudo.....	41
3.5 Procedimentos metodológicos.....	44
3.5.1 Estudo da produção de serapilheira.....	44
3.5.2 Estudo da serapilheira acumulada.....	46
3.5.3 Estimativa da decomposição da serapilheira.....	47
3.6 Análise de dados.....	48
4. Resultados.....	49
4.1 Produção de serapilheira.....	49
4.2 Serapilheira acumulada.....	59
4.3 Decomposição.....	62
5. Discussão.....	63
5.1 Serapilheira produzida.....	63
5.2 Serapilheira acumulada.....	69

Capítulo 2. Impacto do pisoteio sobre o acúmulo da serapilheira em floresta Atlântica

1. Introdução.....	76
2. Objetivo.....	81
3. Material e Métodos.....	82
3.1 Área de estudo.....	82
3.2 Procedimento de campo.....	82

3.3 Analise de dados.....	85
4. Resultados.....	86
5. Discussão.....	89

Capitulo 3 . Decomposição de folhas em floresta urbana Atlântica

1. Introdução.....	95
2. Objetivos.....	100
3. Material e Métodos.....	101
3.1 Área de estudo.....	101
3.2 Procedimento de campo.....	101
3.3 Analise de dados.....	104
4. Resultados.....	106
4.1 Taxa de decomposição.....	106
4.2 Correlação com variáveis climáticas.....	110
4.3 Tempo de Meia-Vida.....	114
5. Discussão.....	113
CONCLUSÃO GERAL.....	117
REFEÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

RESUMO

A serapilheira representa a principal via de transferência de nutrientes da vegetação para o solo, suprimindo as necessidades nutricionais do ecossistema por meio da decomposição do material acumulado. Os detritos formadores da matéria orgânica no solo mantêm a umidade e a reserva de nutrientes que serão reutilizados pelas plantas após o processo de decomposição. Portanto, o acompanhamento da dinâmica de produção, acúmulo e decomposição deste compartimento é essencial para o conhecimento dos impactos de origem antrópica ou naturais que possam alterar a dinâmica da floresta. Os levantamentos dos efeitos das alterações climáticas sobre os processos de produção e decomposição, principalmente pluviosidade e temperatura são de grande importância para compreensão da dinâmica florestal ao longo do tempo. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo estimar, no período de seis anos (2013 a 2018), a dinâmica da produção de serapilheira total e frações (folhas, galhos, flores, frutos/sementes) e o acúmulo da serapilheira sobre o solo relacionando-os às variáveis climáticas (precipitação, temperatura e velocidade do vento); a decomposição de folhas de quatro espécies representativas de diferentes grupos sucessionais, nas estações úmida e seca e os impactos de origem antrópica provocados por pisoteio em um trecho da Floresta Ombrófila Densa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). A serapilheira produzida foi estimada utilizando-se 30 coletores circulares (0,79m) em uma área de 1,08 ha (180 x 60 m). Na mesma área experimental, foram tomadas trimestralmente amostras de serapilheira acumulada ao lado dos coletores e ao longo de uma trilha em local pisoteado e não pisoteado, utilizando-se uma peneira de molde vazada de 0,30 m de diâmetro. Para avaliar o processo de perda de massa de folhas durante as estações úmida e seca, foram utilizadas bolsas de decomposição *litter bags*. A média anual da serapilheira produzida foi de $9.397 \pm 486 \text{ kg.ha}^{-1}$, com diferenças significativas entre os anos. A fração folhas foi a que mais contribuiu para o enriquecimento do piso florestal, com 62% do total, seguido por partes lenhosas (26%); flores (1,72%); frutos/sementes (3,54%); e miscelânea (6,21%), com diferenças mensais significativas na queda do material. Houve maior produção entre setembro e fevereiro (estação quente e úmida). A produção total de serapilheira teve correlação positiva com a precipitação e velocidade do vento. A quantidade da serapilheira acumulada anualmente foi de $6.761 \pm 370 \text{ Kg.ha}^{-1}$ com variação significativa entre os anos, maior acúmulo em 2014, ano com precipitação abaixo da média climatológica. Houve variação significativa entre os meses. O quociente de decomposição foi $k=1,47$, sendo necessários menos de um (1) ano para renovação do material. Houve correlação significativa e positiva entre a quantidade de serapilheira acumulada no local pisoteado e a distância da borda, com exposição do solo,

resultante dos impactos do pisoteio. As folhas de *Euterpe edulis*, *Cupania oblongifolia* e *Calypttrantes grandifolia* tiveram as maiores perdas de massa no período úmido, apenas *Alchornea sidifolia* teve redução no período seco. Porém, não foram observadas diferenças significativas na perda de massa das folhas entre as espécies na mesma estação ou entre as estações úmida e seca ainda que a perda sempre tenha sido maior no período úmido.

O processo de produção da serapilheira tem aumentado ao longo dos anos, sua produção é alta e o tempo de renovação do material ocorre em menos de um ano indicando que o fragmento está se mantendo estável ao longo dos anos, ao menos no trecho estudado.

Palavras chave: ciclagem, compactação do solo, deposição, dinâmica, litterbags, sazonalidade, trilha.

ABSTRACT

Litterfall is the main sign of nutrient transfer from plants to soil; it supplies nutrients to an ecosystem through the decomposition of accumulated matter. The plant remains which form organic matter in the soil keep moisture and the nutrient reserves which will be reused by other plants after decomposition. Therefore, keeping track of the production dynamics, the build-up and the decomposition of this compartment is vital to gather knowledge of the impacts of natural or anthropic origin which may change forest dynamics. The data collected on the effects of climate change upon the processes of production and decomposition, especially rainfall levels and temperature, are of the utmost importance to understanding forest dynamics throughout time. Thus, this study aims at estimating total production of litterfall dynamics and portions (leaves, branches, flowers, fruits/seeds) and the buildup of litterfall on the soil, relating them to climatic variables (rainfall, temperature and wind flow) over a period of six years (2013-2018); the decomposition of leaves of four species representing different successional groups, both in the rainy and dry seasons, along with the impacts of anthropic origin caused by trampling in a stretch of the Atlantic Forest of the Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). The production of litterfall was estimated by using 30 round-collectors (0,79 m) placed over an area of 1,08 ha (180 x 60 m). In the same experimental area, samples of accumulated litterfall were taken quarterly next to the collectors and alongside the trail in a trampled and unstopped place, using a leaked mold sieve of 0,30 m in diameter. In order to evaluate the process of leaf mass loss during the rainy and dry seasons, *litter bags* were used. The average annual of litterfall production was $9.397 \pm 486 \text{ kg.ha}^{-1}$, with significant differences between years. The leaf portion was the one which most contributed to the enrichment of forest floor (62%), followed by branches (26%); flowers (1,72%); fruits/seeds (3,54%), and miscellanies (6,21%), with significant monthly differences in material fall. There was greater production between September and February (warm and rainy season). The total litterfall production was positively related to both rainfall and wind flow. The amount of litterfall accumulated yearly was $6.761 \pm 370 \text{ Kg.ha}^{-1}$, with a significant variation between years, and the greatest buildup in 2014, a year with rainfall below the climatological average. There was a significant variation between months. The decomposition quotient was $k=1,47$, and less than one (1) year was needed for material renovation. There was a significant and positive correlation between the amount of accumulated litterfall at the trampled site and the distance from the edge, with soil exposure, resulting from the impacts of trampling. The *Euterpe edulis*, *Cupania oblongifolia* and *Calyptranthes grandifolia* leaves suffered the greatest mass loss in the rainy period;

Alchornea sidifolia leaves suffered the greatest losses in the dry period. However, no significant difference was observed in the leaf mass loss among those species in the same seasons or between wet and dry seasons, although the loss was always greater in the wet season. The production of litterfall has increased over the past few years; such production is high and the time required for material renovation is less than a year, indicating that the fragment has remained stable over the years, at least in the studied sections of the forest.

Key words: cycling, soil compaction, deposition, dynamics, litterbags, seasonality, trail.

Introdução geral

A serapilheira é composta por todo material orgânico acumulado sobre o solo e é a principal via para formação de matéria orgânica, responsável pela transferência dos nutrientes das partes aéreas senescentes da comunidade vegetal via planta e solo, suprimindo as necessidades nutricionais do ecossistema (Benfield 1997). A serapilheira fina é representada por folhas, flores, frutos, sementes, inflorescências, casca e ramos com no máximo 2 cm de diâmetro, sendo que esta última fração com medida superior a 2 cm (galhos e troncos) formam a serapilheira grossa considerada como ocasional e localizada (Mason 1980).

Sua produção é o principal meio de retorno de nutrientes para a superfície do solo, que ocorre somente após o processo de decomposição da serapilheira, influenciado pelas condições físicas e químicas do ambiente e da qualidade orgânica e nutricional do material senescente, associado à atividade decompositora da fauna edáfica, da atividade microbiana do solo e variações climáticas (Scoriza *et al.* 2012). A entrada dos nutrientes no ecossistema pode ocorrer por via seca através da água da chuva sobre a vegetação ou pela lixiviação dos nutrientes da biomassa viva e morta (serapilheira) ocasionada pela precipitação (Spain 1984).

A camada de serapilheira sobre o solo auxilia no processo de infiltração da água, mantendo a umidade, sendo que o acúmulo está relacionado ao tipo de cobertura florestal como o estágio sucessional, à fenologia, o sítio e o sub-bosque, às perturbações antrópicas, às condições climáticas, entre outros, fatores importantes que exercem influência na qualidade e quantidade do material depositado (Domingos *et al.* 2000, Longhi 2009,).

Possui padrão anual de deposição bastante diverso entre os ecossistemas (Zhang *et al.* 2014). Apresenta picos nos períodos de seca em Cerradão (Cianciaruso *et al.*, 2005), em altas temperaturas no mangue, e com a diminuição da radiação solar associadas às baixas temperaturas nas florestas temperadas (Zhang *et al.* 2014).

O processo de decomposição também varia de acordo com os estágios sucessionais da floresta e das espécies, apresentando rápida decomposição para espécies de estágios iniciais

(Xuluc-Tolosa *et al.* 2003). No que se refere à relação entre produção e decomposição de serapilheira e seus padrões sazonais alguns estudos mostraram maiores taxas de decomposição na estação úmida e quente, e outros, no final da estação seca principalmente nas florestas mesófilas semidecíduas (Anderson & Swift 1983, Pagano 1989, Oliveira 1997, Cuevas 1995, Xuluc-Tolosa *et al.* 2003).

Em florestas tropicais a influência da precipitação sobre a decomposição é variável, apresentando desde a diminuição em 20% da perda de massa em áreas que chegam a receber 5000 mm de precipitação por ano na Costa Rica (Wieder *et al.* 2009), à saturação do solo e diminuição das taxas de decomposição em áreas com chuvas de 2500 mm por ano no Havai (Schuur 2001). Em vegetação de restinga por exemplo, os fatores climáticos e a composição química da serapilheira permitiram analisar os principais processos que determinam a deposição e decomposição da serapilheira (Paula *et al.* 2009).

Além dos processos naturais (clima, sucessão ecológica, fenologia) aos quais os fragmentos florestais estão submetidos, podendo provocar alterações na sua dinâmica, as interferências antrópicas produzem modificações na estrutura da vegetação, no clima local e principalmente na degradação da floresta (Peccinini 2000). Portanto, mesmo as áreas protegidas, porém cercadas por matrizes antrópicas são vulneráveis aos impactos das adjacências, com perdas na composição de espécies, na variabilidade genética, no aumento da capacidade de invasão de espécies exóticas (Cole & Landres 1996, Petri 2017) como também na redução da cobertura vegetal, muitas vezes decorrentes de pisoteio humano (Cole 1978, Roncero-Siles 2008).

Através de estudos realizados em fragmentos florestais de Mata Atlântica foi possível observar impactos gerados por pisoteio como a exposição do solo, alteração da vegetação e riqueza de espécies (Roncero-Siles 2008), e aumento no número de espécies invasoras próximas às adjacências de trilhas (Maciel *et al.* 2011).

Dessa forma, a formação de trilhas ocasionais ou criadas como meio de contemplação da natureza em Parques e Unidades de Conservação, podem provocar a degradação dos recursos naturais (Eisenlohr *et al.* 2013, Goldsmith *et al.* 2006).

Estes ambientes representam, de diversas formas, uma fonte potencial para pesquisa ecológica (Goldsmith *et al.* 2006), onde estudos de longo prazo são realizados por pesquisadores, alunos e interessados em acompanhar sua dinâmica, levando à formação de trilhas não intencionais (Comita & Goldsmith 2008). Assim, não somente as atividades de pesquisa como também a utilização para o ecoturismo e educação ambiental, se tornaram fatores determinantes da intensidade dos impactos do pisoteio sobre a dinâmica da floresta (Eisenlohr *et al.* 2013).

Ao remover a camada de serapilheira que recobre o solo, a produção da floresta e o fluxo de ciclagem dos nutrientes entre o sistema planta e solo poderá ser alterado (Sayer & Tanner 2010), ocorrendo muitas vezes a exposição do solo e raízes de árvores iniciando processos de erosão (Passold 2002, Maganhoto *et al.* 2002).

Os diversos tipos de utilização de áreas florestais pelo homem acarretou em um processo gradual de modificação da vegetação, resultando num ecossistema perturbado e fragmentado, pela implantação da agricultura e urbanização trazendo em seu histórico um processo de degradação do meio físico e da biota (Peccinini & Pivello 2002). A Mata Atlântica sofre por décadas com a evolução desses processos (Dean 1997).

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), um fragmento remanescente de Floresta Atlântica no planalto protegido desde 1893, representa bem as variações temporais e espaciais nos padrões de uso de solo e ocupação de terras aos quais estas matas têm estado sujeitas. No período de 1953 a 1994 sofreu redução de 27% de sua área original principalmente pela urbanização em seu entorno (Peccinini & Pivello 2002) e recentemente teve área desafetada. Apesar da reserva biológica do PEFI estar praticamente isolada em meio à

urbanização e sujeita a diversos impactos, conta com uma rica flora, cerca de 1200 espécies, muitas das quais vulneráveis ou em risco de extinção (Barros *et al.* 2002).

Dentre os diversos impactos aos quais o PEFI está sujeito o efeito de ilha de calor é um dos mais pronunciados. De 1933 até 2017 observou-se aumento de 2,3°C na temperatura média anual e evolução da precipitação acumulada indicando aumento médio de 511 mm/ano, com diminuição gradual dos dias de chuva (Camargo 2017). As alterações das variáveis climáticas tendem a afetar a dinâmica da vegetação, como as altas temperaturas, por exemplo, que causam danos físicos aos tecidos vegetais provocando a senescência das partes aéreas da vegetação (Zhou *et al.* 2007). Esses fatores podem ser bem compreendidos e representados através de estudos de longa duração, com a avaliação da dinâmica da produção de serapilheira para o entendimento dos fatores relacionados à decomposição e ciclagem de nutrientes, fase sucessional da floresta e interações com as variáveis climáticas (Zhou *et al.* 2007).

Na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), ao longo de alguns anos de estudo pode-se observar que a produção da serapilheira é alta e o processo de decomposição é rápido, apesar dos tensores ambientais a que este fragmento está sujeito (Teixeira *et al.* 1992, Moraes 2002; Santos 2014; Vieira 2015).

Na presente proposta será dada continuidade aos trabalhos de pesquisa relacionados à produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma área na Zona Primitiva situada no interior do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). Os estudos de produção e ciclagem de nutrientes foram iniciados em outubro de 2008, cujos primeiros 48 meses foram estudados por Santos (2014) e Vieira (2015) e dada sequência a partir de janeiro de 2013, sendo realizada até a presente data.

Objetivos Gerais

- Verificar ao longo dos anos o padrão sazonal de produção e acúmulo da serapilheira, e estimar a decomposição de folhas senescentes de quatro espécies pertencentes a diferentes grupos sucessionais, a fim de responder as seguintes questões:

1. Os processos de produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em uma floresta urbana apresentam padrão sazonal? Variam anualmente? Estão relacionados a fatores climáticos? Quais destes são mais importantes?
2. O uso de trilhas no interior da floresta (local pisoteado) interfere no estoque de serapilheira acumulada sobre o solo?
3. A velocidade de decomposição da serapilheira foliar de espécies pertencentes a diferentes grupos sucessionais é a mesma?

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA: PADRÕES SAZONAIS E

ACÚMULO SOBRE O SOLO

1. Introdução

A serapilheira é formada por todo material orgânico depositado pela biota que se acumula sobre o solo e sua composição varia de acordo com o tipo de vegetação e localização (Benfield 1997). É a principal fonte de energia como suporte para manutenção da estrutura e dinâmica florestal, responsável pela maior parte do fluxo de nutrientes minerais, suprimindo as necessidades nutricionais nos diversos ecossistemas (Vitousek 1982). Dessa forma, a vegetação natural é adaptada ao estoque de elementos presentes no ecossistema e disponibilidade de nutrientes no solo (Vitousek & Sanford 1986, Figueiredo *et al.* 2003). Sua deposição é regida por padrões sazonais bastante diversificados, com a maior parte da queda do material durante o outono em florestas decíduas temperadas (Benfield 1997), até o fluxo relativamente uniforme ao longo do ano em florestas tropicais (Moraes 2002). Composta por folhas, ramos, flores, frutos, sementes, detritos e restos de animais, a serapilheira caracteriza-se como importante caminho de transferência de energia e nutrientes minerais entre planta e solo, processo determinado pelas condições climáticas do ecossistema, pela atividade decompositora da fauna edáfica e microbiana do solo (Facelli & Pickett 1991, Scoriza *et al.* 2012, Sayer *et al.* 2006).

Os fatores bióticos e abióticos, como a composição nutricional do solo (Vitousek e Sanford 1986), a disponibilidade hídrica e temperatura (Zhou *et al.* 2007, Zhang *et al.* 2014), entrada de luz e estágio sucessional Palacios-Bianchi (2002), influenciam fortemente os padrões de produção de serapilheira, sendo que cada um deles podem prevalecer sobre os demais de acordo com as características de cada ecossistema (Powers *et al.* 2009, Williams-Linera e Tolome 1996). Assim, a serapilheira pode ser considerada como bioindicador de alterações, tendo seu processo de deposição e ciclagem de nutrientes relacionados às alterações do meio (Longhi 2009, Simonelli *et al.* 2011).

A variação anual e sazonal na produção da serapilheira tende a ocorrer de acordo com a fenologia e composição das espécies, regimes climáticos e estágios sucessionais (Paudel *et al.* 2015). Em florestas próximas aos trópicos, essa sazonalidade ocorre de acordo com a

composição das espécies e as respostas fenológicas de cada uma frente às variações ambientais, levando a uma produção irregular de folhas, flores e frutos, contribuindo com as variações anuais médias na produção de cada fração da serapilheira (Paudel *et al.* 2015). De forma geral, os picos de produção de serapilheira verificados em florestas próximas aos trópicos ocorrem durante a estação seca, sugerindo a precipitação e fotoperíodo como fatores determinantes (Aidar e Joly, 2003, Zhang *et al.* 2014, Martinelli *et al.* 2017).

Devido sua importância, a dinâmica de produção da serapilheira vem sendo monitorada por diversos autores, como um dos métodos mais utilizados para estimar os processos adaptativos frente à variações climáticas e principalmente perturbações antrópicas (De Vuono *et al.* 1988, Domingos *et al.* 1990, Palacios-Bianchi 2002) bem como para comparar os padrões sazonais nos diferentes tipos florestais (Powers *et al.* 2009, Zhang *et al.* 2014, Martinelli *et al.* 2017).

Em escala global, os picos de produção apresentam correlações em conjunto com a temperatura, precipitação, radiação e velocidade do vento, devido à diversidade do componente de espécies com diferentes respostas às condições ambientais à que estão submetidos (Zhang *et al.* 2014, Martinelli *et al.* 2017).

Dessa forma, não é possível caracterizar a produção de uma floresta por uma variável ambiental específica (Zhang *et al.* 2014), uma vez que os fatores ligados às variações na produção e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais estão relacionados ao clima, composição das espécies, fase sucessional e fertilidade do solo (Vitousek e Sanford 1986).

Analisando a produção entre manguezais, florestas tropicais, temperadas e boreais, Zhang e colaboradores (2014) obtiveram grande amplitude (64-73%) na produção média da serapilheira entre os ecossistemas relacionados, com forte variabilidade sazonal. Enquanto que em florestas tropicais e mangues a pluviosidade, radiação e altas temperaturas são fatores limitantes na produção da serapilheira, para a maioria das florestas temperadas, as baixas temperaturas interferem na senescência do material vegetal (Zhang *et al.* 2014).

Em regiões semiáridas do nordeste por exemplo, a produção está correlacionada com a densidade da vegetação e os picos ocorrem nos períodos iniciais da estação seca, diminuindo com o aumento das chuvas (Lopes *et al.* 2015). Em cerradão, a queda da serapilheira também é alta na estação seca para evitar a perda d'água através da transpiração nos meses de restrição hídrica (Cianciaruso *et al.* 2006). Em florestas sempre-verdes com menor produção de serapilheira, em relação às florestas sazonais, ambas apresentaram 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 queda de componentes da serapilheira ocorrem também como reflexos dos padrões fenológicos das espécies de plantas ao longo dos estágios sucessionais (Zhou *et al.* 2007, Chave *et al.* 2010). A produção de partes reprodutivas, observadas em um levantamento de dados em 45 áreas de Floresta Atlântica por exemplo, foram mais elevadas em estágio avançado quando comparado a estágio secundário (Martinelli *et al.* 2017).

Na maioria das florestas tropicais a produção de serapilheira apresenta um fluxo contínuo, com picos na primavera e no outono, onde a perda de folhas está relacionada à diminuição do fotoperíodo (Zhang *et al.* 2014), ou esporadicamente associadas à tempestades de verão com alta produção nos meses mais chuvosos (Moraes 2002).

A fim de identificar os padrões que influenciam a queda do material vegetal, estudos sobre a produção da serapilheira têm sido realizados em âmbito global, ao longo do tempo, relacionando-os aos fatores bióticos e abióticos presentes nos ecossistemas. Por exemplo, em relação às características químicas do solo e concentração de nutrientes (Vasconcelos & Luizão 2004); ao tipo florestal e variáveis climáticas (Chave *et al.* 2010); concentração de nutrientes em folhas e deposição aérea (Sardans *et al.* 2011).

A matéria orgânica acumulada será mediada pela quantidade de serapilheira produzida, taxa de decomposição do material acumulado, condições físicas e químicas do ambiente e do clima regional. A dinâmica com que este ciclo ocorre é fundamental para o equilíbrio entre

produtividade e fluxo de nutrientes no sistema solo-planta (Olson 1963), como mostra um histórico destas relações no controle das taxas de decaimento (Meentemeyer 1978, Melillo *et al.* 1982, Schuur 2001, Gurvich *et al.* 2003, Schuur *et al.* 2009).

Os mecanismos de decomposição são semelhantes entre os ambientes terrestre e aquático, com diferenças que se relacionam às trajetórias evolutivas dos organismos decompositores. Ao “escapar” da herbivoria, a biomassa passa para a reserva de matéria orgânica morta e inicia um processo dinâmico, com a fragmentação física e química do material e posterior dissolução dos nutrientes. Portanto, as mudanças na composição e diversidade de espécies, tanto em ambientes aquáticos como terrestres resultam em dinâmicas de decomposição da serapilheira de acordo com o ambiente em que ocorrem (Gessner *et al.* 2010).

A serapilheira acumulada desempenha diversas funções no ecossistema, sendo algumas delas: controle da umidade e retenção de nutrientes favorecendo os processos de restauração do solo (Aidar & Joly 2003, Mateus *et al.* 2013), estoque de carbono (Luizão *et al.* 2004), manutenção de sementes e desenvolvimento de plântulas (Gilman *et al.* 2003, de Souza *et al.* 2006) manutenção da presença da fauna decompositora no solo (Sayer *et al.* 2006).

Em decorrência das mudanças observadas na dinâmica de florestas tropicais devido à variações no clima e alterações no uso da terra, destaca-se o interesse da comunidade científica sobre os fatores que controlam a deposição e decomposição do material sobre o solo (Hobbie & Vitousek 2000, Wieder 2009, Lorenzo *et al.* 2014, Zhu *et al.* 2018, da Silva *et al.* 2018). Nos trópicos os processos de decomposição da serapilheira ocorrem à taxas significativamente altas visto que fatores como temperatura e precipitação elevados associados à condições bióticas favoráveis, exercem controle sobre a serapilheira acumulada acelerando esse processo (Wieder *et al.* 2009). Esses efeitos, porém, são variáveis e ocorrem desde a diminuição das perdas de massa onde as chuvas chegam à 2500 mm ao ano provocando a saturação do solo em florestas no Havai (Schuur 2001), até o aumento nas taxas de decomposição, quando submetidas à chuvas de 5000 mm ao ano, em floresta na Costa Rica (Wieder *et al.* 2009).

A fim de se obter respostas mais próximas à realidade do sistema natural, as análises dos fluxos planta-solo devem abordar a variabilidade espacial e temporal desses processos (Vitousek & Sanford 1986, Powers *et al.* 2009, Martinelli *et al.* 2007). Dessa forma, estudos de longa duração tendem a aproximar fortemente os resultados da pesquisa aos padrões naturais das dinâmicas da serapilheira nos ecossistemas (Zhou *et al.* 2007). No Brasil poucos são os estudos de longa duração com abordagem aos processos relacionados à serapilheira: produção, decomposição e ciclagem de nutrientes na Amazônia (Luizão & Schubart 1987, Luizão 1989); variação sazonal da serapilheira e entrada de nutrientes no solo em floresta no Pantanal (Haase 1999); produção e decomposição da serapilheira (Moraes 2002, Backes *et al.* 2005); acúmulo e decomposição da serapilheira em área de Caatinga (Souto 2006); efeito de borda e ciclagem de nutrientes da serapilheira na Amazônia (Uhl & Jordan 1984, Vasconcelos & Luizão 2004).

Pesquisas relacionadas à deposição e decomposição da matéria orgânica vegetal e a quantificação da liberação de nutrientes no solo, proporcionam uma estimativa da produtividade líquida mínima do ecossistema relacionado ao material renovado anualmente (Moraes 2002), indicam alterações nos fluxos de nutrientes e estoque de serapilheira que possam estar relacionados à perturbações antrópicas de origens diversas (Domingos *et al.* 1997). Em fragmentos florestais, as ações antrópicas provocam um processo gradual de modificação da estrutura da vegetação com a degradação do meio físico e da biota e alterações no padrão de distribuição espacial (Peccinini 2002, Palacios-Bianchi 2002). Em florestas atlânticas semidecíduas fragmentadas e em diferentes fases de sucessão, a produção da serapilheira constitui o fluxo de ciclagem de nutrientes mais importante para regeneração destes ambientes (Pezzatto & Wisniewski 2006).

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), é um remanescente constituído por considerável área verde, totalmente inserido em meio à matriz antrópica que resiste à poluição e redução de sua área desde 1920 (Rocha & Cavalheiro 2001, Barbosa *et al.* 2002). É também considerado por muitos pesquisadores um importante laboratório vivo onde estudos envolvendo

a fauna, flora e ambientes limnicos são realizadas, tornando a manutenção deste fragmento de extrema relevância para futuros trabalhos.

A dinâmica da floresta, relacionada ao estabelecimento e mortalidade de plantas vem sendo monitorada por meio de levantamentos fitossociológicos, onde observaram que o remanescente mantém importante fonte de propágulos e conserva espécies em alguma categoria de ameaça de extinção com progressão a um estágio avançado; bem como a dinâmica de clareiras e determinação dos processos de invasão de exóticas, onde foram identificadas 10 espécies invasoras com potencial de crescimento exponencial, podendo interferir na manutenção da integridade dessa Unidade de Conservação (Struffaldi-De-Vuono, 1985, Nastri *et al.* 1992, Gomes 1992, 1998, Knobel 1995, Gomes & Mantovani 2001, Gomes *et al.* 2002, 2003, Peccinini e Pivello 2002, Davison 2006, 2009, Hirata *et al.* 2010, Tanus *et al.* 2012, Kondrat 2014, Petri 2017, Petri *et al.* 2018).

Estudos com abordagem na produção, decomposição de serapilheira e ciclagem de nutrientes vem sendo realizados no PEFI desde 1992, especialmente para avaliar padrões sazonais e quantitativos na dinâmica florestal os quais sugeriram para esse fragmento resultados semelhantes à sistemas florestais bem preservados. (Teixeira *et al.* 1992; Moraes 2002; Santos 2014, Vieira 2015).

Devido a flutuações que possam ocorrer entre os anos e considerando a importância dessa UC, estudos a longo prazo (Aber *et al.* 1990, Ukonmaanaho *et al.* 2008, Zhou *et al.* 2007) para avaliar a produção e decomposição de serapilheira relacionados à fatores climáticos são de alta prioridade para conhecimento dos padrões funcionais de sistemas florestais. Em face disto e levando em consideração as significativas mudanças no clima, principalmente a pluviosidade e temperatura e destacando a influência desses fatores nos processos de produção e decomposição da serapilheira, pesquisas nesse âmbito tornam-se importantes ferramentas para compreensão da dinâmica florestal frente às mudanças climáticas ao longo do tempo.

2. Objetivos

Este estudo teve como principal objetivo avaliar o padrão sazonal de produção e acúmulo da serapilheira durante o período de 2013 a 2018, em área de Floresta Ombrófila Densa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP, respondendo às seguintes questões:

- Os processos de produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em uma floresta urbana apresentam padrão sazonal? Variam anualmente? Estão relacionados a fatores climáticos? Quais destes são mais importantes?

3. Material e Métodos

3.1. Localização do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), situado na região Sudeste do município de São Paulo, estado de São Paulo, localiza-se entre os paralelos 23°38'08"S e 23°40'18"S e os meridianos 46°36'48"W e 46°38'00"W em altitudes que variam entre 759 e 837 m (Fernandes *et al.* 2002; São Paulo 2006). Localizado no Planalto Paulista, encontra-se inserido em meio à matriz antrópica na região metropolitana de São Paulo (Figura 1.1). É uma Unidade de Conservação peculiar, por sua localização na metrópole, constituído por considerável área verde em meio à malha urbana, e por seus programas de educação ambiental, recreação, lazer, cultura e pesquisas científicas (São Paulo 2006), caracterizado por conter espécies nativas da fauna e flora ameaçadas de extinção com significativo valor científico (Peccinini 2000, Barbosa *et al.*, 2002).

Atualmente, é reconhecido pelo Instituto de Botânica uma área em torno de 495 hectares, porém, a dimensão de seus limites oficiais não está clara por conta da retirada de áreas desafetadas em 2013. O PEFI está Inserido no Domínio Mata Atlântica, considerado pela International Union Conservation of Nature (IUCN) um *hotspot* de biodiversidade mundial, o qual encontra-se reduzido a 7,2% de sua área original. Porém, um mapeamento realizado no período de 2016 a 2017, nos 17 Estados da Mata Atlântica, mostrou que houve uma redução de 56,8% na taxa de desmatamento durante este período (SOS Mata Atlântica, 2018). O Estado de São Paulo permanece com 16,3% por hectare de Remanescentes Florestais e Áreas Naturais de Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica, 2018), sendo que o PEFI representa um dos últimos fragmentos da floresta Atlântica de Planalto, e está sob importante risco de ameaça (Pivello & Peccinini 2002, Dislich *et al.* 2001).

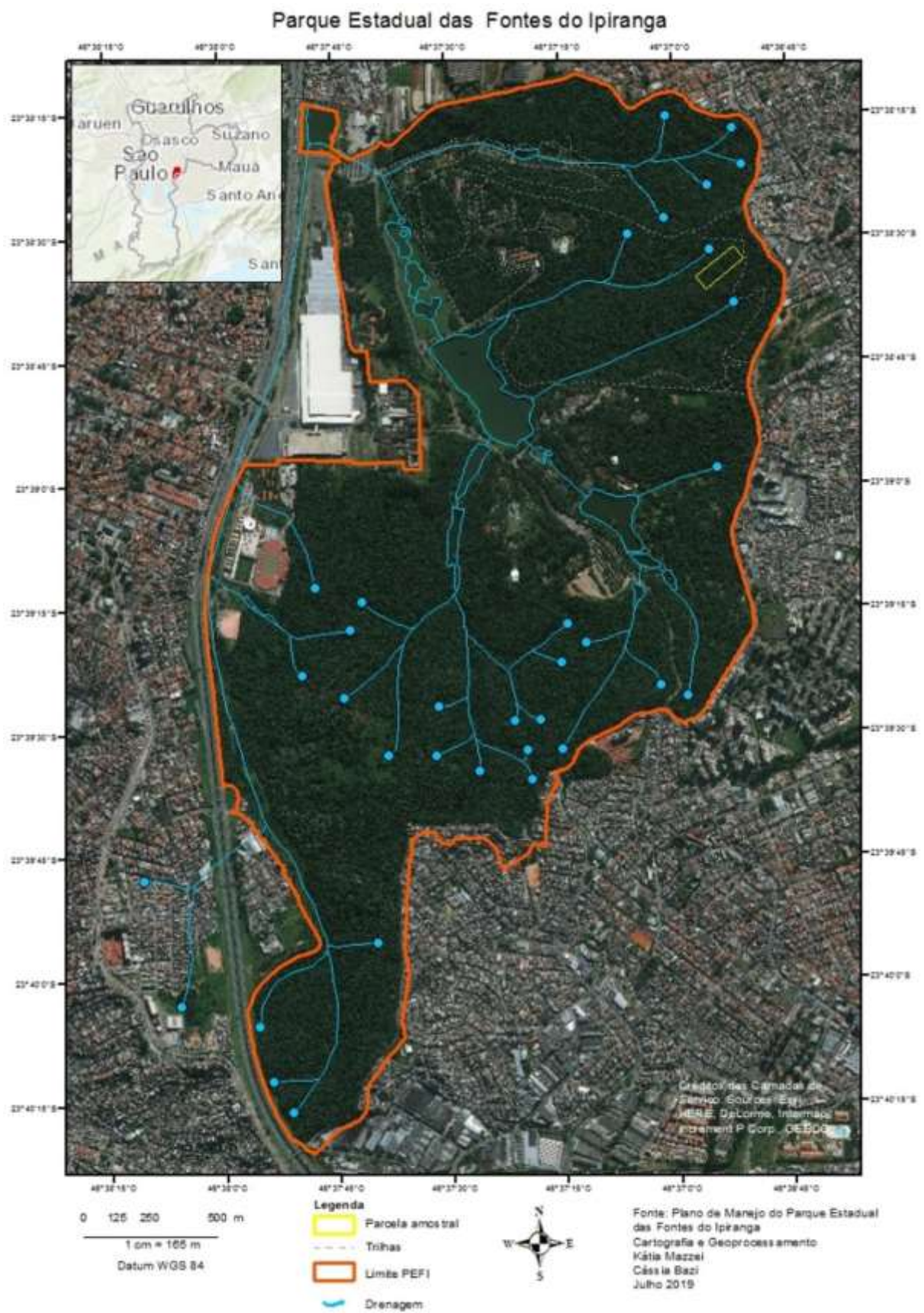


Figura 1.1 Localização do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, na região metropolitana de São Paulo, SP.

3.1.1. Caracterização física e climática do PEFI

O Parque desempenha importante papel no equilíbrio do clima amenizando a temperatura e a qualidade do ar de seu entorno urbanizado (São Paulo, 2006).

Localizado em local de contato entre rochas pré-cambrianas e sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo, foram identificadas rochas do tipo gnáisse e biotita gnáisse de textura fina e coloração vermelho-escuro e muscovita-biotita gnaisse fino, com vênulas de quartzo (Fernandes *et al.* 2002).

O fragmento florestal está inserido na Província do Planalto Atlântico, região de terras altas, Zona do Planalto Paulistano. Apresenta relevos suaves, predominantemente caracterizados por formas onduladas e de topos convexos nas partes elevadas, os quais dividem as águas das sub-bacias do riacho do Ipiranga e superfícies aplanadas com cotas aritméticas abaixo de 800 m, próximas à Bacia Sedimentar de São Paulo, onde estão localizadas grande parte das instituições do PEFI (Fernandes *et al.* 2002).

O solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico e álico, de argiloso (>40% argila) a barrento (<40% argila) com nódulos de ferro dominantes e significativas quantidades de cascalho que variam de 13 a 27% em amostras superficiais e os baixos valores de pH, entre (3,5-4,5), indicam um solo fortemente ácido (Struffaldi-De-Vuono 1985, Gomes 1992, Fernandes *et al.* 2002). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa 2018) os Latossolos apresentam ampla distribuição pelo território brasileiro e são caracterizados pela alta profundidade (>200cm), boa capacidade de retenção de água, baixa diferença de texturas entre os horizontes A e B, quimicamente pobres, ácidos e com baixa retenção de bases (Struffaldi-De-Vuono 1985, Gomes 1992, Gomes & Mantovani 2001, Fernandes *et al.* 2002).

O PEFI possui uma rede hidrográfica dividida em 10 sub-bacias onde estão localizadas as nascentes que constituem as cabeceiras do riacho do Ipiranga. Em seu trajeto, estas

abastecem nove lagos artificiais na área do Parque juntando-se a um reservatório maior sob a Rodovia dos Imigrantes e alongando-se mais 7 km ao longo de duas avenidas tendo sua foz no Rio Tamanduateí (Fernandes *et al.* 2002). As nascentes formadas pelo afloramento do lençol freático dão origem aos 28 pontos de drenagem do PEFI, minimizando o problema das cheias do vale do Riacho do Ipiranga (Pereira *et al.* 2002, São Paulo 2006).

Localizado na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo e dentro da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, o PEFI está localizado em uma região de transição entre climas temperados e tropicais, classificado como clima temperado do tipo Cwb, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 18,7°C e precipitação média anual de 1412,3 mm (1933-2017, Instituto Astronomico e Geofísico 2017).

A área está sob maior influência das massas de ar tropical atlântica, condição que gera diferente dinâmica nas estações do ano: na primavera há maior ocorrência de frentes frias, com ventos que atingem altas velocidades e precipitações frequentes; no verão os valores de temperatura, precipitação e umidade do ar são altos; no outono o ar é quente e úmido próximo à superfície, mas seco em altitudes; no inverno o ar de origem polar atlântica é frio e seco (Santos & Funari, 2002).

Situada no interior do PEFI, a Estação Meteorológica (23°39'W – 46°37'W, 799 m) disponibiliza as observações meteorológicas desde 1932. Em relação à série climatológica histórica de 1933 a 2017 (84 anos, Tabela 1) o período de estudo (2013 a 2018) foi mais chuvoso e quente com amplitude térmica entre a temperatura máxima e a temperatura mínima (10°C), na mesma ordem de grandeza entre os períodos (Tabela 1.1).

Durante o período úmido que corresponde aos meses entre setembro e fevereiro a temperatura variou entre a mínima de 7,4°C e a máxima de 37°C, enquanto na estação seca (de março a agosto), as temperaturas oscilaram entre mínima, 3°C e a máxima em 35°C.

Tabela 1.1 Média das variáveis climáticas (Temperatura, Precipitação e Velocidade do Vento, da série histórica (1933 a 2017) e do período de estudo (2013 a 2018) .

	Série histórica (1933-2017)	Período de estudo (2013 a 2018)	Estação Seca (Mar/13 a Ago/18)	Estação Úmida (Set/13 a Fev/18)
Temperatura (°C)				
Média	18,7	19,8	19,0	20,5
Máxima	24,8	26,2	25,4	27,0
Mínima	14,5	15,5	14,8	16,5
Precipitação (mm) anual	1412,3	1484,6	611,4	873,2
Velocidade do Vento (km/h) Média		5,4	5,1	5,8

A temperatura média anual registrada na estação meteorológica, nos últimos 84 anos, aumentou aproximadamente 2,3 °C. Entre os anos de 2014 e 2015 obtivemos as maiores temperaturas médias já registradas desde 1933, com 8,1% e 9,3% acima da média, respectivamente, com destaque para o ano de 2015 com temperaturas média anual de 20,4 °C e média mínima anual de 16,3 °C como as maiores já registradas desde a série histórica. Entretanto a temperatura média máxima anual de 26,9 °C foi a maior da serie histórica para o ano de 2014. A equação de regressão para o período (1933-2017) mostra um aumento na precipitação total anual de 511,8 mm porém com acentuada diminuição nos dias com chuva (Camargo 2017).

3.2. Histórico do PEFI

O histórico do Parque está associado à preservação de mananciais pela Repartição de Águas do Estado, com o intento de proteger as nascentes dos riachos para captação de água e abastecimento de bairros da zona leste da cidade de São Paulo (Rocha & Cavalheiro 2001). Criado oficialmente em 1969, teve seus limites demarcados por meio do Decreto Estadual nº 204, de 12 de setembro de 1969, período em que se inicia a recuperação da vegetação após a desapropriação de 12 lotes de sitiantes. Esta área compreendia um total de 696,96 hectares e passa então a ser denominada Parque da Água Funda. Devida sua relevância hidrográfica, após 24 anos (1917), foram construídas cinco barragens que represaram os principais córregos formando cinco lagos artificiais no interior do Parque. Contudo, no final da década de 1920 o potencial de reservatório foi comprometido com a poluição de suas águas devido ao aumento da urbanização do entorno e a área passou aos cuidados da Seção de Botânica do Instituto Biológico (Barbosa *et al.* 2002; Rocha & Cavalheiro 2001).

Com a proposta de receber visitas públicas e estabelecer produção e exposição de plantas ornamentais, a partir de 1928 criou-se o Jardim Botânico e o Orquidário Público (Rocha & Cavalheiro 2001). Entre os anos de 1938 a 1942 foram instaladas as áreas administrativas do Jardim Botânico; o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG); o Departamento de Produção Animal (DPA); a Liga das Senhoras Católicas e a Secretaria de Justiça e Negócios do Interior (Peccinini 2000).

O Parque tornou-se uma área de Preservação Permanente a partir da publicação da Lei 10.353, de 17 de janeiro de 1969, e em 12 de agosto do mesmo ano passou a ser chamado de Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) com o Decreto nº 52.281. Assim foram definidas as principais zonas de uso: a Reserva Biológica, visando a proteção das nascentes do Rio Ipiranga; as áreas florestadas do Instituto de Botânica e do Parque Zoológico de São Paulo, destinadas à trabalhos científicos e recreação, e; a área livre, marcada pelo desmatamento total.

Na mesma época, deu-se início à construção da Rodovia dos Imigrantes nos perímetros do Parque, além da instalação da sede da Secretaria de Agricultura e Abastecimento no interior do PEFI (São Paulo 1969).

A fim de propor medidas visando a preservação, manutenção e vigilância do PEFI, em 21 de julho de 1993, pelo Decreto nº 37.080, foi criado um grupo de trabalho que posteriormente estabeleceu-se como Conselho de Defesa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (CONDEPEFI) através do Decreto Estadual nº 43.342, de 22 de Julho de 1998.

Recentemente, por meio da Lei 14.944, de 9 de Janeiro de 2013, o PEFI teve seus limites alterados com a desafetação do Recinto de Exposições “Sálvio Pacheco de Almeida Prado”, a Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento, a Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo - CODASP, e dependências do Instituto Geológico, para fins de instalação de Centro de Exposições (São Paulo 2013). Em seus limites atuais encontram-se estabelecidas como unidades administrativas: o Instituto de Botânica (IBT) com o Jardim Botânico da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA); a Fundação Parque Zoológico de São Paulo; o Zoo Safari (SIMA); o Centro de Atenção Integrada à Saúde Mental (CAISM) da Secretaria da Saúde; o Centro Paraolímpico Brasileiro (CPB) da Secretaria de Estado dos Direitos da Pessoa com Deficiência, o Parque de Ciência e Tecnologia/Cientec da USP; a 97ª Delegacia de Polícia da Polícia Civil e a 2ª Companhia do 1º Batalhão de Policiamento Ambiental. Além disso, o Parque é cortado por uma avenida de trânsito relativamente intenso e pela Rodovia dos Imigrantes.

3.3. Caracterização da vegetação do PEFI

O Parque é um importante remanescente de floresta urbana de Planalto da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), onde a vegetação original era formada por florestas subtropicais de planalto que incluíam araucárias e campos cerrados (Hueck 1956). A cobertura vegetal atual do PEFI resulta da ocupação agrícola e urbana e do uso dos recursos naturais abrigados pelos biomas aqui existentes (São Paulo 2006). É a terceira maior reserva de mata nativa do município de São Paulo e encontra-se inserido no Domínio da Mata Atlântica, reconhecido pela UNESCO como um dos biomas mais ricos em diversidade (São Paulo 2006).

A localização urbana do PEFI produziu efeitos negativos sobre a vegetação, de forma que este fragmento esteve sujeito a diversos tensores de origem antrópica como efeito de ilha de calor, diminuição da área de entorno, exploração de madeira e plantas ornamentais, caça e fogo como eventos esporádicos que ocorreram nos seus limites (Gomes *et al.* 2002, 2003).

O PEFI é uma ilha florestal, que ao longo de 41 anos (1953 a 1994) perdeu 27% de sua floresta nativa devido à obras viárias e avanço da urbanização, com descaracterização de sua paisagem natural (Pivello & Peccinini 2002, Barros *et al.* 2002).

Sua cobertura florestal natural, três anos anteriores à criação oficial do Parque, correspondia a 70% de sua área, com 27% dos terrenos modificados por interferência humana; 4,6% de reflorestamentos; 2,6% bosques heterogêneos e jardins e áreas descobertas e edificações com 20% (Figura 1.2) (São Paulo 2006).

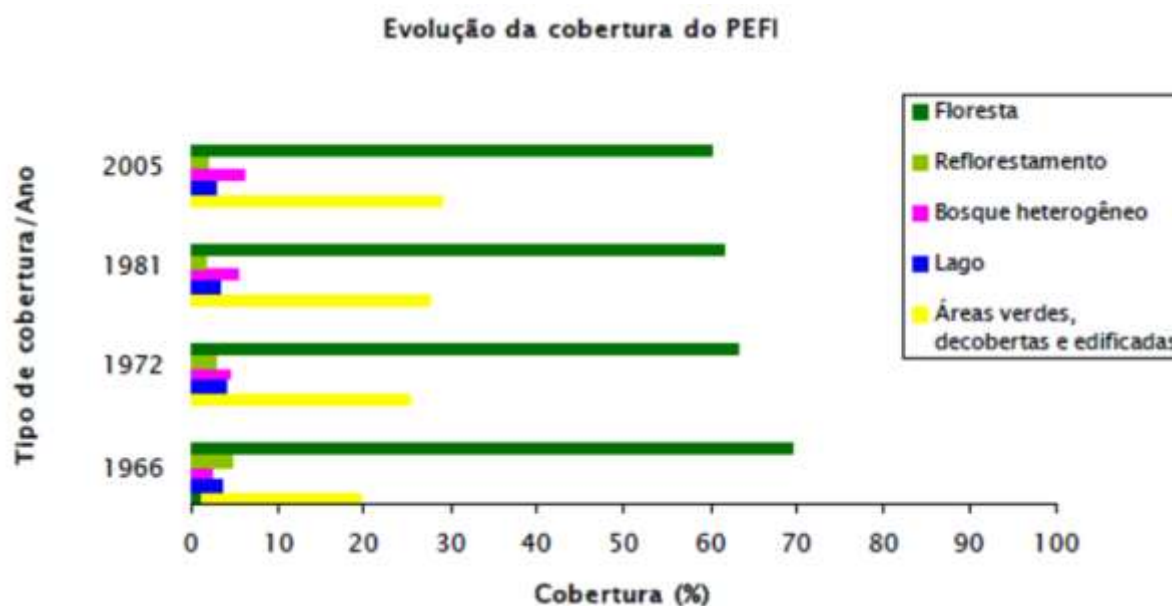


Figura 1.2 Variação temporal no tipo de cobertura do solo do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), São Paulo, SP. Fonte: Plano de Manejo (São Paulo 2006).

A redução da cobertura vegetal original das florestas Atlânticas brasileiras e substituição por formações secundárias levantam dúvidas sobre a vegetação original de diversos fragmentos (Catharino & Aragaki, 2006). Trabalhos de análise de similaridade florística na RMSP mostram que as florestas dessa região se assemelham a diferentes formações ou fisionomias, sendo algumas consideradas como florestas de transição (Barreto e Catharino 2015). Dessa forma, a formação florestal do PEFI pode ser considerada como floresta de transição, visto que contempla similaridade florística, à nível de espécie, entre a Floresta Atlântica Ombrófila e a Floresta Atlântica Semidecídua, com claro predomínio da primeira (Oliveira-Filho & Fontes 2000, Pivello & Peccinini, 2002, Barros *et al.* 2002).

As mudanças estruturais e fisionômicas das florestas do PEFI (entre 1953 e 1994) foram caracterizadas de acordo com interpretações de imagens de satélite e fotografias aéreas pancromáticas tiradas em sobrevôo. Foram identificados cinco tipos florestais considerando aspectos florísticos e estruturais da vegetação, descritos a seguir como: 1) Floresta com dossel heterogêneo e porte alto; 2) Floresta com dossel heterogêneo e porte baixo; 3) Floresta com

dossel homogêneo densa; 4) Floresta com dossel homogêneo esparsa e 5) Floresta com “dossel” descontínuo/degradada (Pivello & Peccinini 2002).

A comparação dos tipos florestais revelou grande semelhança entre a floresta com dossel heterogêneo e porte alto e a floresta com dossel homogêneo densa e secundariamente à floresta com dossel heterogêneo esparsa. Por outro lado a floresta com dossel heterogêneo e e porte baixo e a floresta com dossel descontínuo/degradada são semelhantes e distintas das outras três. As áreas consideradas mais preservadas e com maior número de espécies foram a floresta com dossel homogêneo densa, floresta com dossel heterogêneo e porte alto e floresta com dossel heterogêneo esparsa (Figura 1.3) (Pivello & Peccinini 2002).

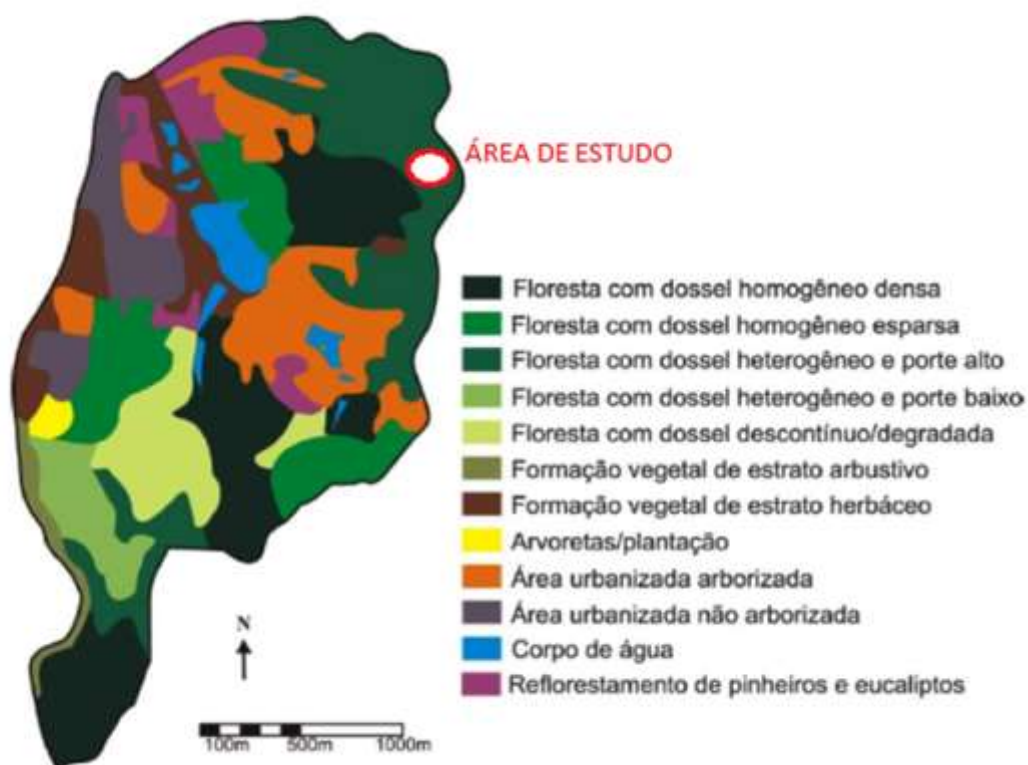


Figura 1.3 Mapa das formações vegetais e uso das terras do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, em 1994. Destaque em vermelho para a área de estudo (Fonte: Pivello & Peccinini 2002, modificado).

Em meados da década de 1930 a vegetação local era constituída por capoeirões com idade entre 30 e 100 anos, portanto, a floresta do PEFI possui vegetação secundária em longo

processo de regeneração, formada por um mosaico de diferentes fases sucessionais. Muitos remanescentes de vegetação primitiva resistiram, fato que pode ser confirmado pela presença, em alguns trechos do Parque, de grande variedade de epífitas, exemplares de árvores de tamanho avantajado e orquídeas incomuns à florestas secundárias (Pivello & Peccinini, 2002, Barros *et al.* 2002).

Levantamentos da Flora Fanerogâmica realizados entre os anos de 1981 a 2001 no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, incluíram cerca de 1200 espécies, destas 36 na categoria ameaçadas de extinção (Barros *et al.* 2002). Inventários recentes aumentaram este contingente quando somadas as espécies de Criptógamos nativas e outras ameaçadas de extinção (p.ex. *Dicksonia sellowiana* Hook.), encontradas no PEFI (Prado 2004, Hirai *et al.* 2016). Dentre as briófitas, listadas em 266 espécies destacando-se alguns registros inéditos para São Paulo (p.ex. *Brachythecium plumosum* (Hedw.) Schimp., *Lepidopilidium plebejum* (Müll. Hal.) Sehnem, *Riccia enyae* Jovet-Ast) e 16 endêmicas do Brasil (Visnardi 2016).

3.4. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no interior da Zona Primitiva do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), área do Instituto de Botânica de SP (Figura 1.4). O trecho situado a 150 metros do perímetro a leste do Parque (limite com a Avenida Cursino), foi escolhido com base nos estudos de Pivello e Peccinini (2002) que o classificou como floresta com dossel heterogêneo e porte alto de formação vegetal secundária onde aparentemente não houve alteração de ocupação e uso do solo desde 1953, mantendo-se assim na mesma categoria inserida.

Trabalhos recentes sobre a dinâmica da comunidade vegetal confirmam que trata-se de um trecho de floresta madura (Davison 2006, 2009, Kondrat 2014), com baixa perturbação corroborados por trabalhos de produção e decomposição de serapilheira e ciclagem de nutrientes (Moraes 2002, Santos 2014, Vieira 2015, Bazi & Gomes 2015, 2016, 2017). O solo

da área de estudo possui acidez bastante alta (pH entre 3,2 e 3,6) porém foi observado por Santos (2012) que após 20 anos da última amostragem (De Vuono *et al.* 1988) houve um incremento considerável de matéria orgânica no solo, associado ao desenvolvimento sucessional da floresta e aos processos de produção de serapilheira (Santos 2012).

Abriga também um considerável número de espécies ameaçadas (p.ex. *Euterpe edulis* Mart.; *Ocotea catharinensis* Mez), raras (p.ex. *Gonatogyne brasiliensis* (Baill.) Müll.Arg) e é importante fonte de propágulos (Kondrat 2014). Dessa forma, esta área pode representar o trecho de mata no PEFI em melhor estado de conservação devido ao aspecto fisionômico e estrutural da vegetação (Pivello & Peccinini, 2002).

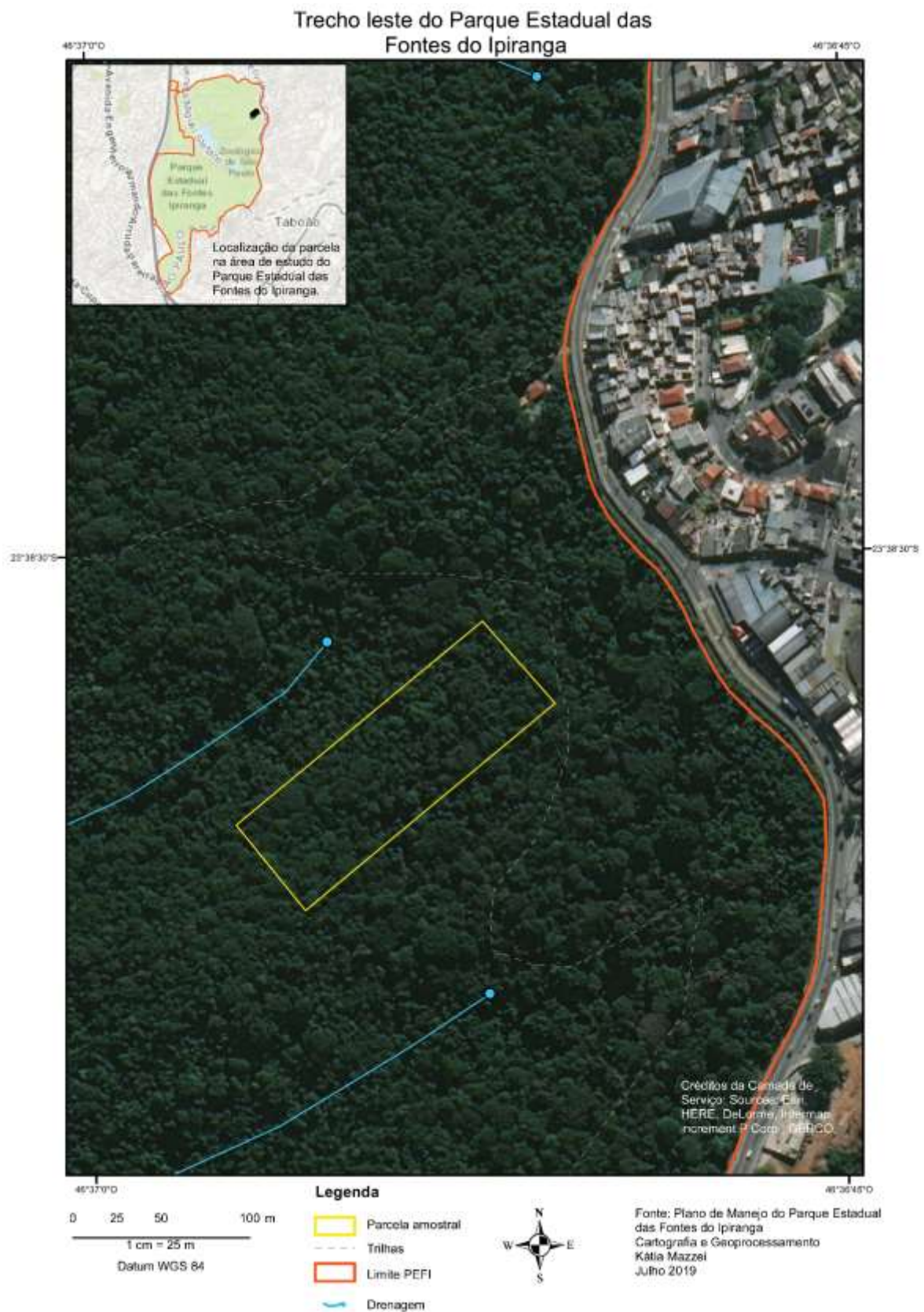


Figura 1.4 Mapa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga e localização da parcela indicando a área de estudo, acima à esquerda, e área ampliada indicando a localização da área de estudo (retângulo amarelo), no Instituto de Botânica, SP.

3.5. Procedimentos Metodológicos

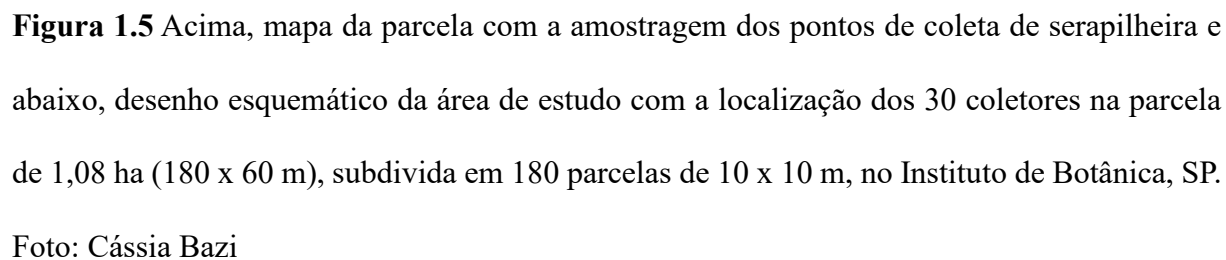
3.5.1. Estudo da produção de serapilheira

Inicialmente, a área de estudo foi instalada para realização de levantamentos florísticos-estruturais em 2006, onde foi adotado o protocolo amostral proposto por Gentry (1982), com a instalação de um conjunto de 10 transecções de 2 x 50 m, perpendiculares à uma linha de 200 m (Davison 2006, 2009, Kondrat 2014,). Na mesma área foi implantada uma parcela de (1,08 ha) (180 x 60 m) subdividida em 108 parcelas de 10 x 10 m, onde foram distribuídos aleatoriamente 30 coletores nos quais iniciaram estudos de produção de e decomposição de serapilheira e ciclagem de nutrientes (Santos 2014, Bazi & Gomes 2014, Bazi & Gomes 2015, Vieira 2015, Bazi & Gomes 2016).

Para continuação dos estudos sobre a produção e decomposição de serapilheira na floresta do PEFI, utilizou-se a mesma área inicialmente instalada em 2006. Na parcela de 180 x 60 metros, foram utilizados 30 coletores circulares devidamente enumerados, medindo 0,5 m² de área e fundo em tela de náilon com 1 mm² de malha e altura a 1 m acima da superfície do solo a fim de evitar contato com o piso florestal e animais (Figura 1.5).

O material dos coletores vem sendo recolhido mensalmente desde outubro de 2008, dando prosseguimento às coletas iniciadas por Santos (2014) e finalizadas em setembro de 2012. Mensalmente, a serapilheira removida dos coletores foi acondicionada em sacos devidamente etiquetados e enumerados, levadas para laboratório, previamente seca a ar e triada nas frações: folhas, partes lenhosas (foram pesados todos os galhos caídos nos coletores), flor, fruto/semente e miscelânea.

A partir do 5º mês de abril de 2015, foram ranqueados dez coletores, com base em dados de 92 meses de coleta, como os mais representativos em termos de produção para continuação da triagem em frações (folhas, partes lenhosas, flor, fruto/semente e miscelânea). Para obtenção destes dados, os coletores foram ordenados da maior produção para a menor produção e tirada a mediana do 1º ao 3º coletor, depois do 4º ao 5º coletor e assim sucessivamente. Dos outros



3.5.2. *Estudo da serapilheira acumulada*

Na mesma área experimental, a partir de junho de 2014 foram tomadas trimestralmente 30 amostras aleatórias de serapilheira acumulada sobre solo, a um metro de distância de cada um dos 30 coletores, utilizando-se uma circunferência de molde vazada de 0,0707 m² onde foi retirado todo o material contido na parte interior (Figura 1.6). Sempre se evitou locais já coletados anteriormente de passagem.

O material da coleta foi acondicionado em sacos devidamente etiquetados e enumerados, levados ao laboratório para secagem a ar e peneirado para retirada do solo, raízes e fungos aderidos às amostras. A seguir, foi triado nas frações, folhas, partes lenhosas (foram considerados todos os galhos coletados) e miscelânea, secos em estufa a 60°C até peso constante aferido em balança semi-analítica (0,01 g). Os resultados foram expressos em Kg.ha⁻¹.



Figura 1.6 Coleta da serapilheira acumulada sobre o solo. À esquerda, antes da coleta e à direita depois da coleta, na área do Instituto de Botânica de SP. Foto: Cássia Bazi, 2017

3.5.3. Estimativa da decomposição da serapilheira

O coeficiente de decomposição (K) foi obtido de acordo com método proposto por Olson (1963), o qual faz referência à razão instantânea da decomposição do material, pressupõem um ecossistema na condição de equilíbrio dinâmico e é calculado conforme a equação:

$$K = \frac{L}{X_{ss}}$$

Onde: K = taxa instantânea de decomposição,

L = quantidade de serapilheira produzida anualmente ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$),

X_{ss} = média anual de serapilheira acumulada sobre o solo ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$),

A partir do valor K, calculou-se o tempo médio de renovação da serapilheira acumulada sobre o piso florestal, estimada em anos, pela equação $1/K$.

3.6. Análise de Dados

Foram calculados os valores médios mensais e anuais e respectivos erros padrão do total e frações das serapilheiras produzida e acumulada, bem como a porcentagem de contribuição de cada fração destes compartimentos (Lopes *et al.* 2002).

Para averiguar a autocorrelação espacial entre os coletores e, em caso significativo a violação do pressuposto da independência entre estes, analisamos correlogramas gerados pelo índice I de Moran com a respectiva significância do índice de autocorrelação espacial conforme Legendre e Legendre (2012). Com base no resultado as unidades amostrais cuja distância fosse inferior à distância mínima crítica foram fundidas antes dos testes de significância com a respectiva redução dos graus de liberdade.

As diferenças entre a produção mensal e anual de serapilheira e de serapilheira acumulada sobre o solo foram verificadas por testes de comparações (análise de variância ANOVA de medidas repetidas e teste *t* de Student) (Zar 1999). Foi verificada a homogeneidade das variâncias (teste de Levene) e a distribuição de normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk). Os dados que não foram homocedásticos ou não apresentaram distribuição normal foram log-transformados ou transformados pelo método de Box-Cox (Sokal & Rohlf 1995). Em caso dos pressupostos para estes testes não tenham sido satisfeitos foram utilizados testes não-paramétricos equivalentes.

Para avaliar o grau de relação entre fatores climáticos (temperaturas média, mínima e máxima, precipitação pluviométrica e velocidade do vento média e máxima) e a produção total de serapilheira e suas frações (folhas, partes lenhosas, flor, fruto/semente) ao longo dos cinco anos (janeiro/2013 a dezembro/2018) foram realizadas regressões lineares múltiplas.

4. Resultados

4.1. Produção de serapilheira

A média anual de serapilheira produzida na floresta do PEFI durante o período de janeiro/2013 a dezembro/18, foi de $9397 \pm 486 \text{ Kg.ha}^{-1}$ (Tabela 1.3). Houve diferenças estatísticas significativas entre os anos (teste ANOVA de fator repetido $F = 2,606$, $p < 0,05$) (Figura 1.7).

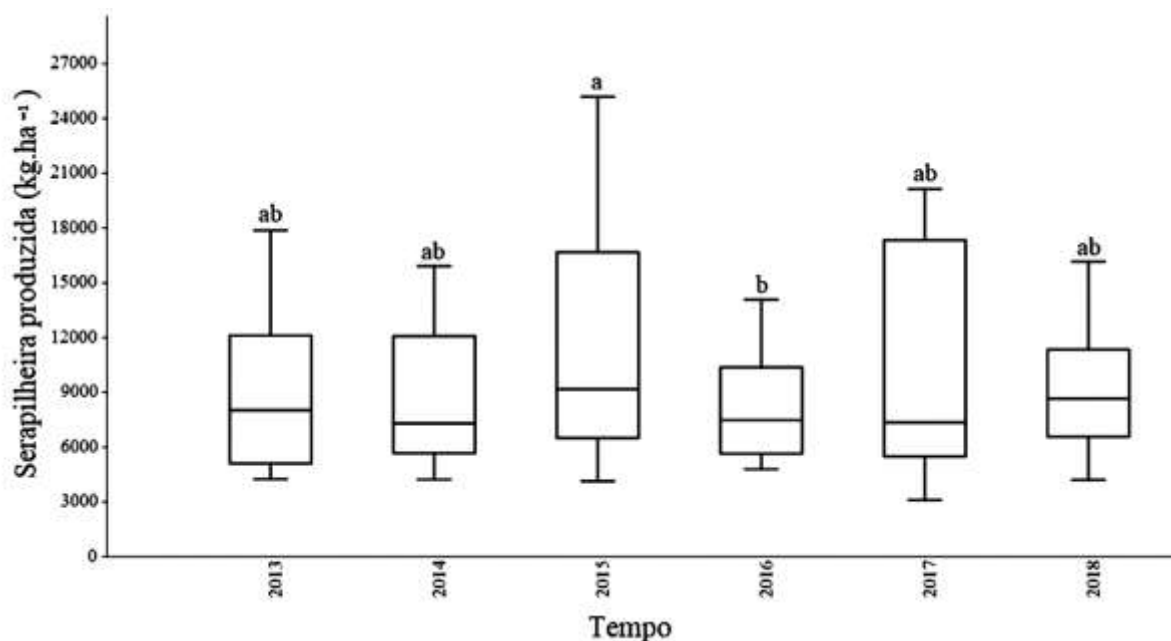


Figura 1.7 Variação da produção mensal de serapilheira em cada ano de estudo (Kg.ha^{-1} , $n=30$) na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP.

O padrão heterogêneo na dinâmica da produção mensal resultou em diferenças estatísticas significativas na queda do material vegetal (teste Kruskal-Wallis, $H_c=54,93$ $p < 0,001$), tendo janeiro apresentado alta variação, da ordem de 340 kg.ha^{-1} a 2221 kg.ha^{-1} (Figura 1.8).

Ao averiguarmos a autocorrelação espacial entre os coletores, a análise de dependência espacial mostrou que mesmo estando em parcelas vizinhas (10 m) as amostras são espacialmente independentes.

Ao longo do período de estudo a produção da serapilheira foi sazonal. Os picos de

maior produção ocorreram entre os meses de setembro a fevereiro, no período de maior regime pluviométrico, diminuindo no final da estação chuvosa onde a menor produção foi registrada entre os meses de março a agosto. Dessa forma, pode-se observar que a menor produção ocorreu no início do período mais seco do ano com aumento nos meses finais, atingindo valores elevados durante os meses mais chuvosos do verão (Figura 1.7).

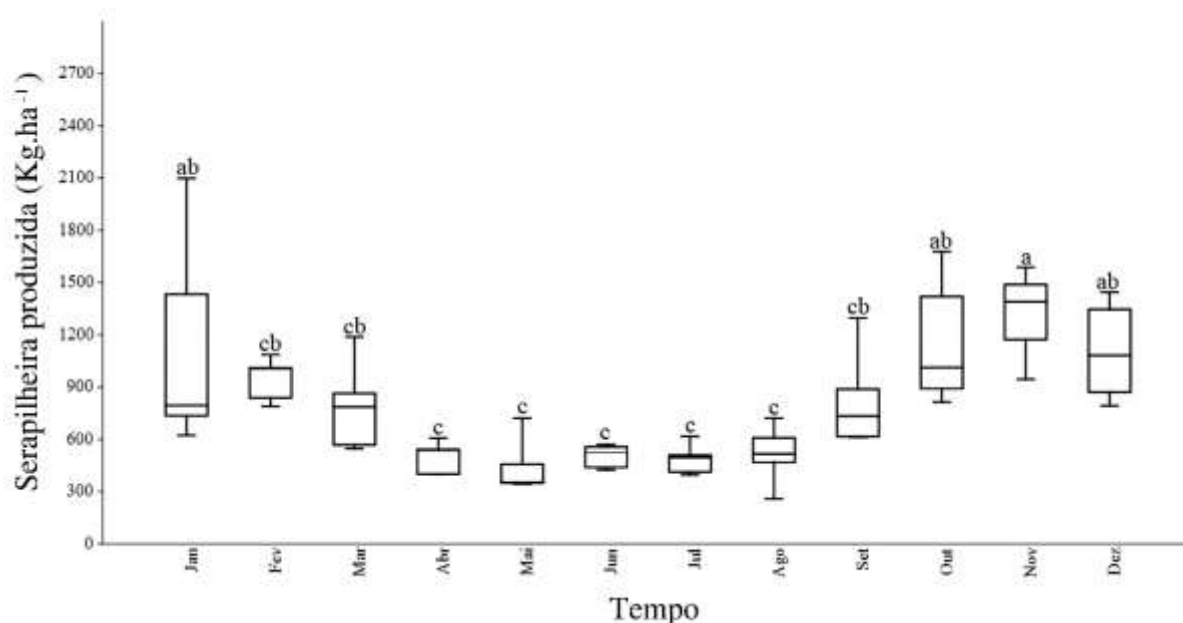


Figura 1.8 Produção mensal da serapilheira (Kg.ha⁻¹) durante os anos de estudo n=30 (2013 a 2018) na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

Os anos de 2015 e 2017 apresentaram média de produção mais elevada em relação aos demais anos de estudo (Tabela 1.2) e estiveram associados aos maiores regimes pluviométricos do período, porém o ano de 2015 sucedeu a um extremo regime de seca ocorrido ao longo do ano de 2014, podendo ter afetado a senescência do material vegetal (Tabela 1.3).

A fração folhas foi a que mais contribuiu para o enriquecimento do piso florestal, com produção anual média de 5920 ± 318 kg.ha⁻¹ e determinou a curva de deposição anual com porcentagens de até 62% da serapilheira total (Tabela 1.2) e assim como a fração partes lenhosas apresentou constância na produção durante todo o período (Figura 1.9).

Tabela 1.2 Produção anual total (Kg.ha⁻¹) e das frações da serapilheira na área do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), São Paulo. Média $\pm$ erro padrão (% do total), n= 12.

Ano	Folhas	Partes lenhosas	Flores	Fruto/Semente	Miscelânea	Total
2013	5.133 $\pm$ 206 (63,0)	1.499 $\pm$ 175 (17,0)	123 $\pm$ 42 (1,5)	376 $\pm$ 96 (4,6)	302 $\pm$ 53 (3,7)	8.130 $\pm$ 360 (100)
2014	5.821 $\pm$ 218 (66,0)	1.921 $\pm$ 191 (21,0)	211 $\pm$ 42 (2,4)	199 $\pm$ 40 (2,2)	616 $\pm$ 96 (7,0)	8.772 $\pm$ 388 (100)
2015	6.662 $\pm$ 354 (58,0)	4.177 $\pm$ 904 (36,0)	69 $\pm$ 26 (0,6)	474 $\pm$ 157 (4,1)	700 $\pm$ 129 (6,1)	11.459 $\pm$ 644 (100)
2016	5.176 $\pm$ 297 (62,0)	1.691 $\pm$ 327 (20,0)	60 $\pm$ 29 (0,7)	273 $\pm$ 181 (3,2)	515 $\pm$ 119 (6,2)	8.298 $\pm$ 418 (100)
2017	6.804 $\pm$ 512 (62,0)	2.995 $\pm$ 431 (27,0)	345 $\pm$ 93 (3,1)	340 $\pm$ 96 (3,1)	785 $\pm$ 105 (7,2)	10.872 $\pm$ 619 (100)
2018	5.437 $\pm$ 324 (61,0)	3.330 $\pm$ 594 (37,0)	158 $\pm$ 57 (1,7)	305 $\pm$ 68 (3,4)	841 $\pm$ 77 (9,5)	8.850 $\pm$ 587 (100)
Média	5.920 $\pm$ 318 (62,0)	2.457 $\pm$ 406 (26,0)	162 $\pm$ 47 (1,7)	333 $\pm$ 115 (3,5)	584 $\pm$ 103 (6,2)	9.397 $\pm$ 486 (100)

A queda das frações foliares apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os meses (teste ANOVA de fator repetido, $F = 0,643$, $p < 0,05$), com maior produção no verão, entre os meses de outubro a fevereiro, com picos em novembro/2013, 2014, 2016; outubro/2015 e 2017 e dezembro/2018, coincidindo com meses chuvosos e altas temperaturas. O período de menor produção ocorreu no inverno, entre os meses de março a agosto, com baixos picos em maio/2013, 2014, 2015 e 2018; julho/2016 e agosto/2017, coincidindo com baixas temperaturas e precipitação (Figura 1.9).

Tabela 1.3 Média das variáveis climáticas correspondentes ao período de estudo (2013 a 2018), no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

Anos	Precipitação (mm)	Temp Média (°C)	Temp Máx (°C)	Temp Mín (°C)	Veloc Méd Vento (Km.h ⁻¹)	Veloc Máx Vento (Km.h ⁻¹)
2013	1603,4	19,3	25,2	15,2	5,4	10,5
2014	1096,4	20,1	26,8	15,6	5,3	10,4
2015	1873,6	20,3	26,8	16,2	5,4	10,6
2016	1510,0	19,5	26,1	15,3	5,4	10,4
2017	1672,3	19,7	26,3	15,4	5,6	10,6
2018	1152,0	19,6	26,0	15,6	5,4	10,3

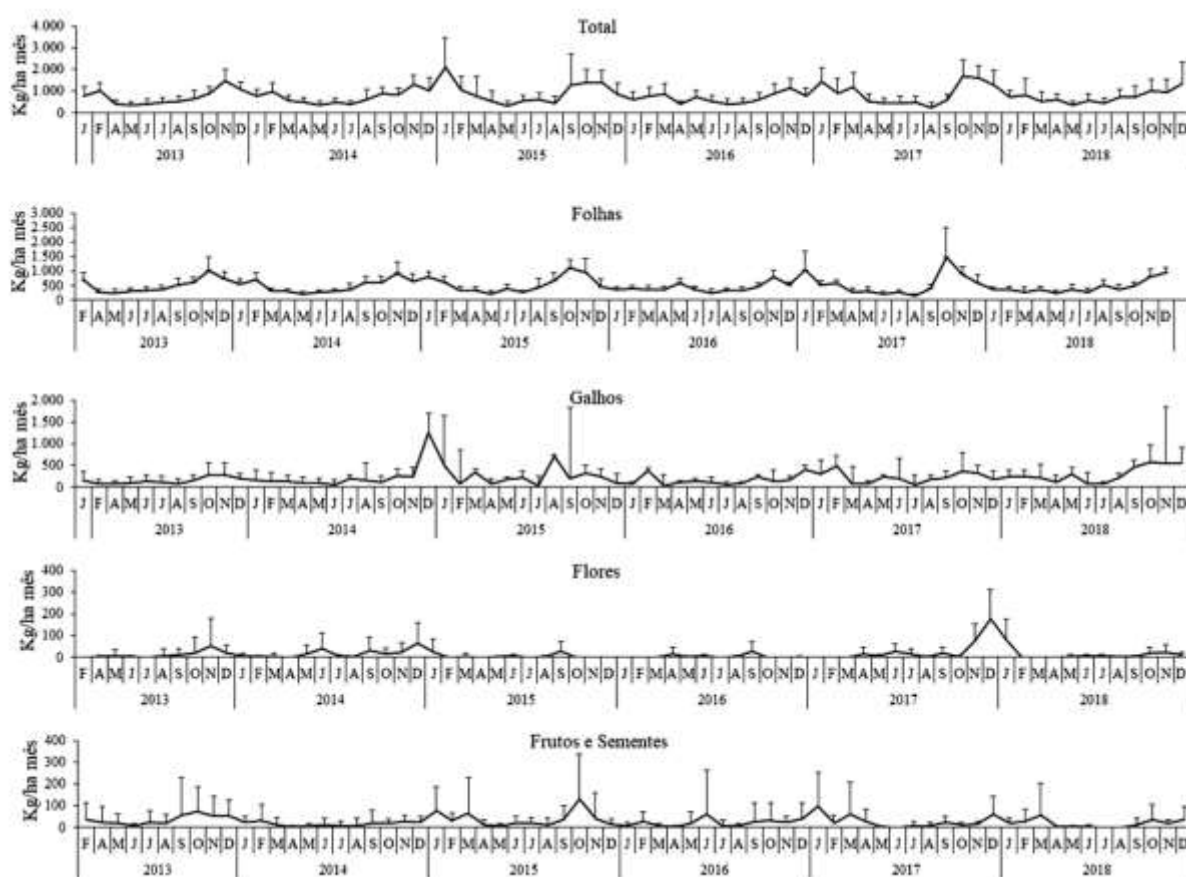
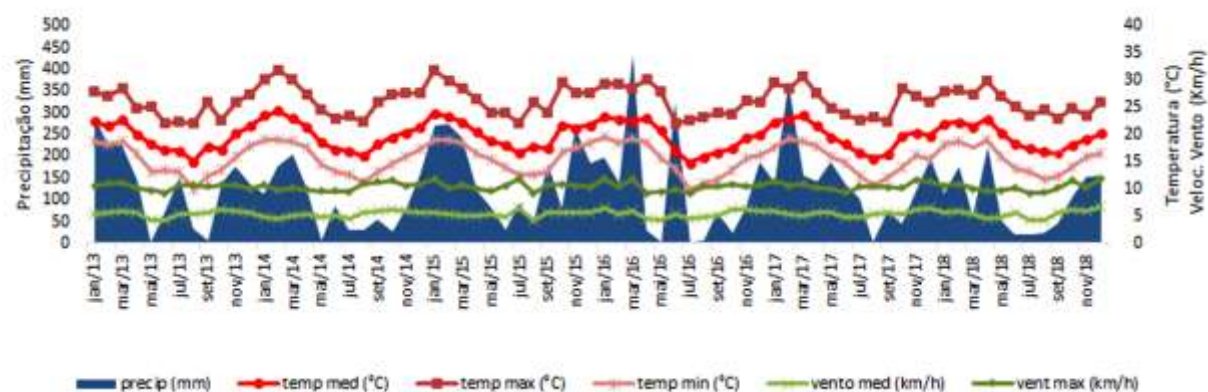


Figura 1.9 Perfil das variáveis climáticas e temporais (2013 a 2018) da deposição total e frações da serapilheira produzida entre os meses, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

A contribuição média de partes lenhosas foi de $2.457 \pm 406 \text{ Kg.ha}^{-1}$ (Tabela 2.1), sendo a segunda fração em importância, com diferenças estatísticas significativas na queda do material entre os meses estudados (teste Kruskal-Wallis, $H_c=31,46$, $p<0,001$). A queda de galhos teve a maior média mensal em janeiro/2015 com $1.263 \pm 399 \text{ Kg.ha}^{-1}$ e a menor de $35 \pm 13 \text{ kg.ha}^{-1}$ em agosto/2015. Durante o ano de 2015, a queda de galhos em alguns coletores foi atípica, com alta produção no verão, nos meses de janeiro com variações de 1.744 kg.ha^{-1} a 3.277 kg.ha^{-1} , em fevereiro com queda de 2.681 kg.ha^{-1} e em setembro com 5.329 kg.ha^{-1} , relacionados à altas rajadas de vento e precipitação acima da média climatológica (Figura 1.9).

A contribuição média anual da fração flores foi de $162 \pm 47 \text{ kg.ha}^{-1}$. A maior produção ocorreu em dezembro/2017, com queda elevada de $175,54 \pm 61 \text{ kg.ha}^{-1}$ e variou significativamente entre os meses (teste Kruskal-Wallis, $H_c=24,49$, $p<0,05$), com 0% na queda do material nos meses de fevereiro/2013, 2016 e 2017, março/2017, bem como abril e outubro/2015 e 2017. Dessa forma, a produção de flores denota um padrão heterogêneo nas fases fenológicas das espécies presentes na floresta do PEFL. Apesar da elevada variação na produção, de $60 \pm 29 \text{ kg.ha}^{-1}$ no ano de 2016 para $345 \pm 93 \text{ kg.ha}^{-1}$ no ano de 2017, não foi verificada diferenças estatisticamente significativas entre os anos (Tabela 1.2) (Figura 1.9).

A fração frutos e sementes contribuiu com uma média de produção anual de $333 \pm 115 \text{ kg.ha}^{-1}$, com maior queda no ano de 2015, registrando $474 \pm 157 \text{ kg.ha}^{-1}$. A produção de frutos e sementes teve o maior pico em outubro de 2015, com $132,76 \text{ kg.ha}^{-1}$. Assim como para fração flores, observamos grande variação na queda desta fração ao longo do período, com diferenças significativas entre os meses (teste Kruskal-Wallis, $H_c=29,35$, $p<0,001$). Os menores picos de produção ocorreram nos meses de junho de 2017 ($0,60 \text{ kg.ha}^{-1}$) e agosto de 2018 ($0,46 \text{ kg.ha}^{-1}$) (Figura 9.1). Ao longo dos anos a queda de frutos e sementes não teve variações significativas (teste Kruskal-Wallis, $H_c=10,55$, $p>0,05$) apesar das contribuições percentuais que variarem de 2,2% a 4,6% (Figura 1.9).

As diferenças da produção entre os meses podem ser observadas dentro do mesmo

período como também entre os períodos, seco e úmido. Durante os anos de 2013, 2015 e 2017 os picos de produção ocorreram em outubro enquanto que no período de transição entre dezembro e janeiro, a produção foi mais baixa, correspondendo a períodos de picos de produção nos mesmos meses durante os anos de 2014, 2016 e 2018. Durante os meses mais secos a produção teve um padrão mais homogêneo entre os anos de 2013 e 2014. Em março, no início da estação seca, houve pico na produção nos anos de 2015, 2016 e 2017. Maio só teve pico de produção durante a estação seca, no ano de 2016 (Figura 1.10).

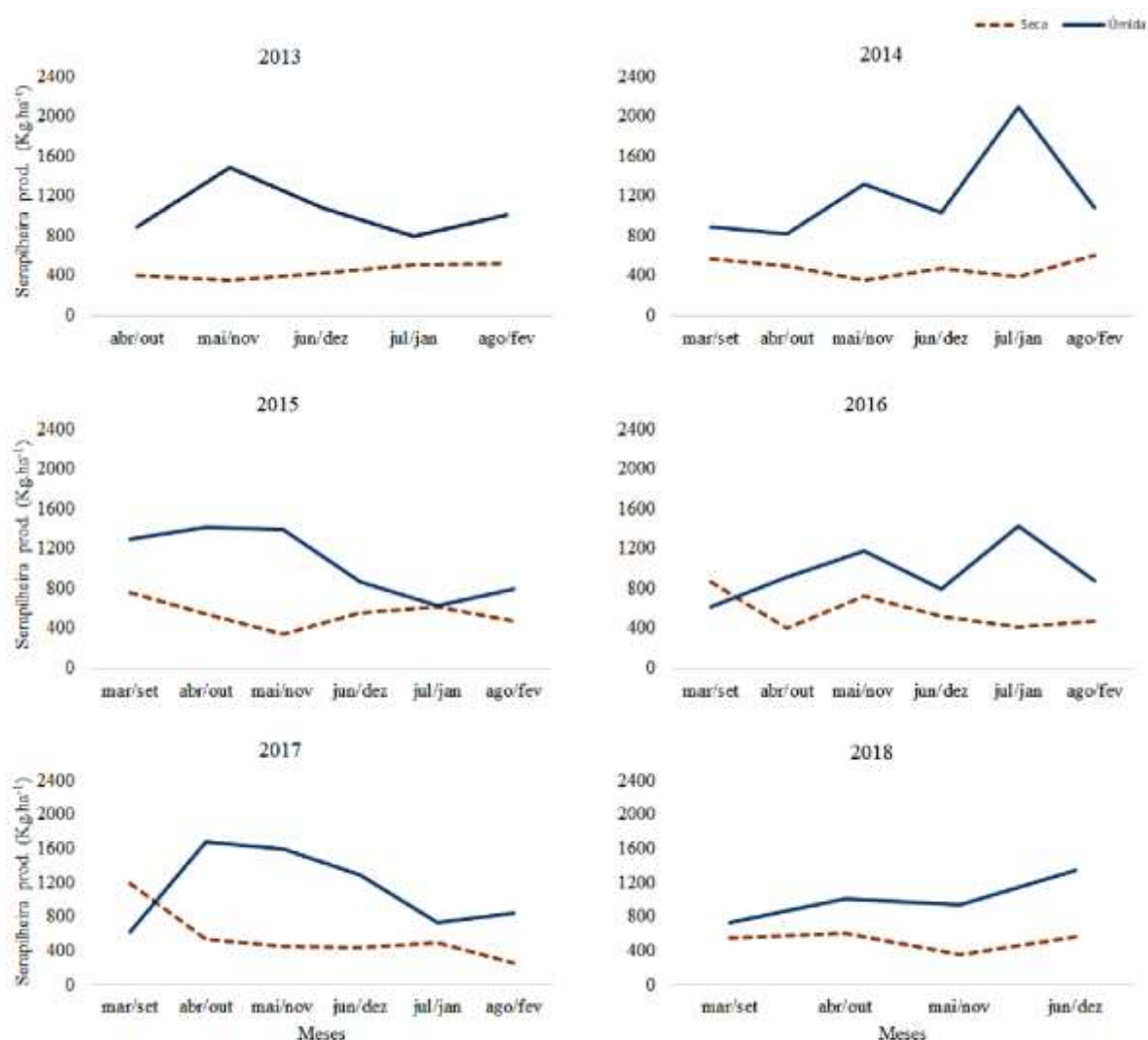


Figura 1.10 Produção de serapilheira (Kg.ha⁻¹) nas estações seca (março a agosto) e úmida (setembro a fevereiro) entre 2013 e 2018, na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga.

De modo geral todas as frações analisadas apresentaram correlação significativa com

as variáveis climáticas analisadas. Ao analisarmos simultaneamente a produção total de serapilheira e frações com as variáveis climáticas: temperatura (média, máxima e mínima), precipitação e velocidade do vento (média e máxima), durante o período de estudo, a temperatura foi a variável que teve correlação positiva com a queda de todas as frações e do total de serapilheira.

A produção de serapilheira total teve correlação significativa com a velocidade média do vento (Regressão Múltipla, $t = 8,993$, $p < 0,001$), a precipitação (Regressão Múltipla, $t = 7,496$, $p < 0,001$), e as temperaturas média (Regressão Múltipla, $t = 6,186$, $p < 0,001$), máxima (Regressão Múltipla, $t = 7,012$, $p < 0,001$) e mínima (Regressão Múltipla, $t = 9,525$, $p < 0,001$). O padrão sazonal de produção total de serapilheira está associado aos maiores picos de queda do material nos meses mais úmidos e com temperatura elevada, como por exemplo em novembro de 2013 quando houve queda total de 1489 kg.ha^{-1} , com temperatura média máxima de 26°C , velocidade do vento de até 10 km.h^{-1} e 176 mm de precipitação. Em janeiro de 2015 a média de produção também foi alta e pode estar associada à chuva elevada (271 mm), temperatura máxima de 31°C e rajadas de vento de 11 km.h^{-1} , típicos da estação do verão. Por outro lado, os menores valores de queda do material estão associados aos meses mais secos como maio/2013 que teve produção de 353 Kg.ha^{-1} e precipitação de $4,5 \text{ mm}$ no período e agosto/2017 com produção de 259 kg.ha^{-1} e precipitação de $1,4 \text{ mm}$ no período em campo.

A queda de folhas teve correlação positiva com a temperatura média (Regressão Múltipla, $t = 4,914$, $p < 0,001$) e máxima (Regressão Múltipla, $t = 8,190$, $p < 0,001$), a velocidade do vento média (Regressão Múltipla, $t = 7,789$, $p < 0,001$) e máxima ($t = 2,620$, $p < 0,001$) e com a precipitação ($t = -3,693$, $p < 0,001$). A alta produção (1484 kg.ha^{-1}) registrada outubro/2017 esteve associada à baixa pluviosidade mensal ($45,5 \text{ mm}$), porém a temperatura média máxima durante o período chegou a $28,5^{\circ}\text{C}$ com rajadas de vento de $10,2 \text{ km.h}^{-1}$. O mesmo ocorreu em outubro/2015 onde a produção foi a mais alta deste ano e esteve associada a baixo pluviosidade ($79,9 \text{ mm}$), porém com ocorrência de temperatura de 29°C e rajadas de

vento de 10 km.h^{-1} . Em agosto/2017 ocorreu a menor queda de folhas (161 kg.ha^{-1}) com pouca ($1,4 \text{ mm}$) e com temperatura média de 15°C , máxima chegando a 23°C e rajadas máximas de vento de $10,5 \text{ km.h}^{-1}$.

A temperatura máxima (Regressão Múltipla, $t = 2,668$, $p < 0,01$) e velocidade máxima do vento (Regressão Múltipla, $t = 5,085$, $p < 0,001$) exerceram influência significativamente positiva sobre a queda do material lenhoso. A maior produção de galhos ocorreu em janeiro/2015, com média mensal de $1263 \pm 399 \text{ kg.ha}^{-1}$ com queda nos coletores que variaram de 237 kg.ha^{-1} a 3.377 kg.ha^{-1} . Este mês esteve associado a rajadas de vento de $11,9 \text{ km.h}^{-1}$ e temperatura máxima mensal de 31°C . Em setembro de 2015 obteve-se em um dos coletores a queda de 5.329 kg.ha^{-1} de galhos, podendo ser relacionado à maior velocidade média do vento de $10,8 \text{ km.h}^{-1}$. Os episódios atípicos de alta queda de galhos durante os meses resultaram em $4.177 \pm 399 \text{ kg.ha}^{-1}$ de produção total desta fração para o ano de 2015, com alta precipitação anual, em relação às demais médias anuais do período de estudo (Figura 1.9).

A produção de flores correlacionou-se positivamente com a temperatura média (Regressão múltipla, $t = 3,799$, $p < 0,001$) e mínima (Regressão Múltipla, $t = 3,907$, $p < 0,001$), a precipitação (Regressão Múltipla, $t = -2,821$, $p < 0,001$) e a velocidade média do vento (Regressão Múltipla, $t = 4,350$, $p < 0,001$). O pico de produção em dezembro/17 (175 kg.ha^{-1}) esteve associado a temperaturas que variaram de 15°C a 19°C , rajadas de vento de $11,3 \text{ km.h}^{-1}$ e precipitação mensal de 196 mm . As menores produções dessa fração não estão associadas apenas aos meses mais secos ou mais chuvosos. Nos anos de 2016 e 2017, em fevereiro, a produção foi de 0% . Nos meses de março, abril, julho e agosto, a queda de flores variou de 0 kg.ha^{-1} a $0,84 \text{ kg.ha}^{-1}$. Entretanto, observou-se que a produção foi maior nos meses da primavera e do início do verão com drástica diminuição no período do inverno.

A queda de frutos e sementes teve correlação significativa com a temperatura média (Regressão Múltipla, $t = -2,333$, $p < 0,05$) e mínima (Regressão Múltipla, $t = 2,069$, $p < 0,001$). A maior produção ocorreu em outubro/2015 (132 kg.ha^{-1}) que apesar de ser considerado mês

da estação úmida, não teve níveis tão altos de precipitação (79,7 mm). Dessa forma, a produção esteve associada à temperatura mínima e média mensal que variou de 16°C a 21°C, respectivamente durante o período. Os meses de menores quedas de frutos e sementes ocorreram em junho/2017 (0,6 kg.ha⁻¹), associados à temperaturas mínimas e médias mensais de 14°C a 18°C, respectivamente. A produção desta fração durante o período de estudo, esteve, desse modo associada aos meses com altas temperaturas típicos da estação do verão, início do outono, com produção diminuindo no final do outono, início do inverno, meses mais frios e com baixa pluviosidade.

4.2. Serapilheira acumulada

O estoque médio anual de serapilheira acumulada durante o período de junho/2014 a dezembro/2018 foi de $6.761 \pm 370 \text{ kg.ha}^{-1}$. Houve diferenças estatísticas significativas entre os anos (ANOVA, $F=30,9$, $p < 0,001$) (Figura 1.11).

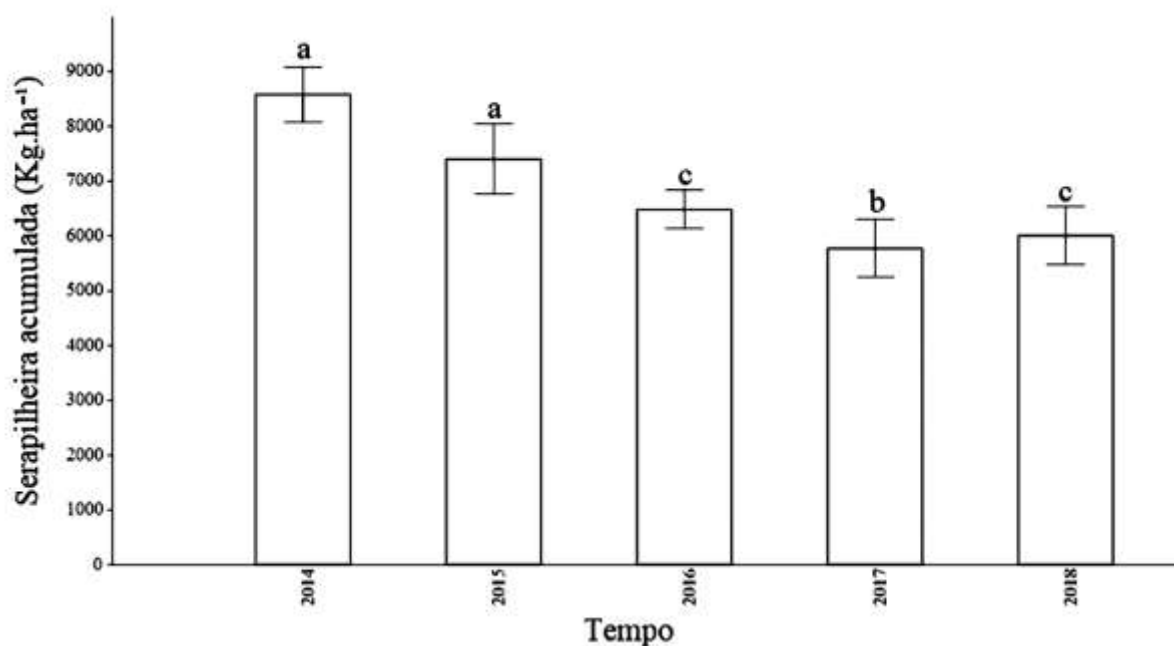


Figura 1.11 Média anual da serapilheira acumulada (kg.ha^{-1}) no período de junho/2014 a dezembro/2018, na floresta do PEFI, SP.

De modo geral, as maiores médias de serapilheira acumulada ocorreram durante os meses mais quentes e de maior pluviosidade, na estação úmida (setembro e dezembro), e diminuíram no período do outono, início do inverno, durante a estação seca (março e junho), onde as temperaturas são mais amenas e a pluviosidade diminui.

Comparando as médias mensais da serapilheira produzida com a serapilheira acumulada, obtivemos correlação estatística significativa entre os dois estoques (Regressão Linear, $r^2 = 0,11$, $p < 0,001$). A serapilheira acumulada apresentou padrão sazonal ao longo do período estudado.

Houve grande variação espacial na maioria dos meses no acúmulo da serapilheira, com diferenças estatísticas significativas (ANOVA, $F = 49,83$ $p < 0,001$). A maior variação ocorreu em junho/2014, durante o período mais seco, com material acumulado ao longo da área de estudo entre 3.680 kg.ha^{-1} e $22.507 \text{ kg.ha}^{-1}$, (Figura 1.12).

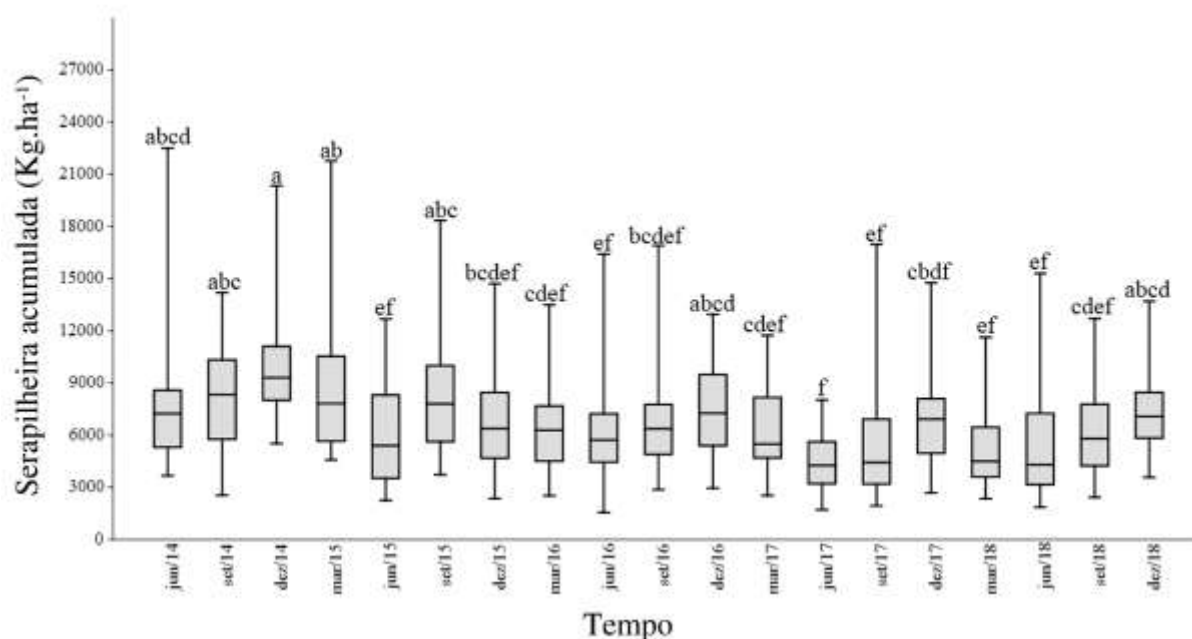


Figura 1.12 Variação mensal do estoque de serapilheira acumulada entre os anos de 2014 a 2018, na área do Instituto de Botânica, SP.

O estoque médio de serapilheira sobre o solo foi o mais alto no ano de 2014, período em que também houve o maior acúmulo mensal em dezembro deste mesmo ano, com média de 9.942 kg.ha^{-1} . O maior acúmulo de serapilheira coincidiu com um ano seco, com índices pluviométricos 13% abaixo da média climatológica ($1.402,8 \text{ mm}$) e temperatura média das máximas de até 27°C durante o período. Neste ano o total de chuvas acumuladas no período de estudo foi de 1.096mm .

Durante o ano de 2015, o maior acúmulo de serapilheira que ocorreu em março, com média de 8.784 kg.ha^{-1} , coincidiu com alta produção de folhas e galhos durante os dois meses que antecederam a coleta da serapilheira acumulada. As chuvas, temperatura e o vento

apresentaram médias elevadas nesse período (Figura 1.13).

Em 2017 obtivemos a menor média anual de serapilheira acumulada (Figura 1.11), principalmente no mês de junho com média de 4.547 kg.ha^{-1} , que sucedeu a meses de baixa produção de serapilheira. Neste ano, a precipitação anual foi da ordem de 17% acima da média climatológica (1.412,3 mm), com temperatura média das máximas de 28°C e total de chuvas 1.672 mm. A maior média mensal do ano de 2017 foi obtida em dezembro (7.352 kg.ha^{-1}), durante as chuvas de verão (Figura 1.12).

Ao analisarmos simultaneamente a serapilheira acumulada com as variáveis climáticas: temperatura média, velocidade média do vento e a precipitação, obtivemos correlação significativa positiva com a velocidade do vento (Regressão Múltipla, $t = 3,74$, $p < 0,0001$).

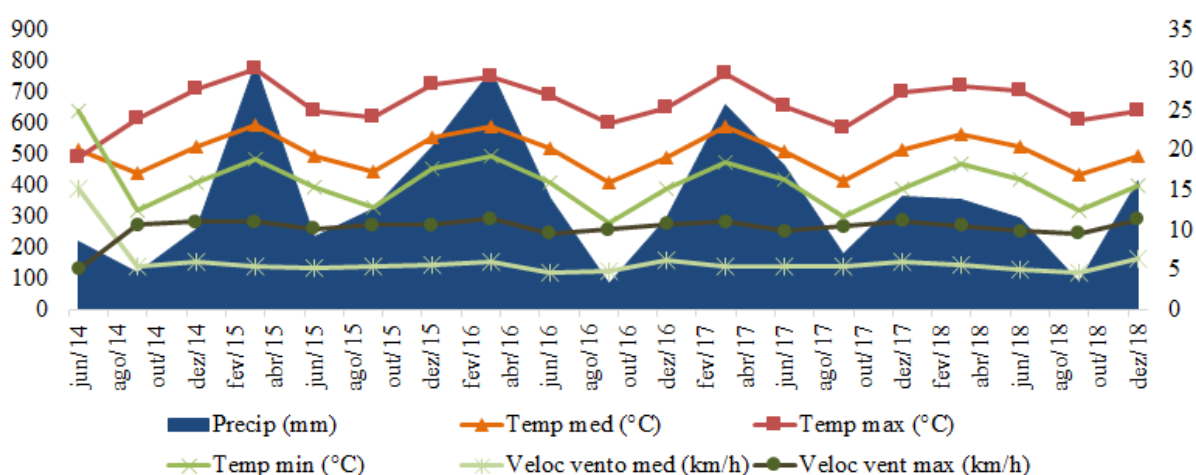


Figura 1.13 Variáveis climáticas referentes ao período de junho/2014 a dezembro/2018, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

4.3. Decomposição

A taxa média de decomposição da serapilheira acumulada foi alta ($k = 1,47$) sendo necessários menos de um (1) ano para a renovação do material na floresta do PEFI (Tabela 1.5).

O período mais longo para que a serapilheira acumulada se renove, de 354 dias está associado ao ano mais seco (2014), em que ocorreu o maior acúmulo do material no solo. O período mínimo de 200 dias refere-se ao ano de 2017, quando foi registrado o menor acúmulo da serapilheira e esteve associado a maior volume de chuva e temperaturas elevadas (Tabela 1.5).

Obtivemos um tempo de renovação da serapilheira acumulada na floresta do PEFI inferior a um ano (Tabela 1.4).

Tabela 1.4 Estimativa anual da serapilheira acumulada, quociente de decomposição e tempo médio de renovação do estoque de serapilheira na floresta do PEFI, SP.

Período	Serapilheira acumulada (Kg.ha ⁻¹)	Quociente de decomposição (k)	Tempo de renovação (anos)	Tempo de renovação (dias)
2014	8.582±514	1,02	0,97	354
2015	7.405±453	1,56	0,63	230
2016	6.486±311	1,29	0,77	281
2017	5.777±280	1,79	0,55	200
2018	6.009±294	1,68	0,59	215
Média	6761±370	1,47	0,70	256

5. Discussão

5.1. Serapilheira produzida

A produção de serapilheira na floresta do PEFI, manteve-se relativamente constante entre os anos. Esse padrão indica que o fragmento se mantém estável, o que pôde ser observado pela amostragem contínua de longo prazo da produção e frações da serapilheira e as interações com as variáveis ambientais.

A localização desta Unidade de Conservação em meio à matriz antrópica parece não afetar a produção da serapilheira como também seu acúmulo sobre o solo. Este resultado indica a importância de amostragens contínuas e estudos de longa duração (Luizão e Schubart 1987, Luizão 1989, Vasconcelos e Luizão 2004, Zhou *et al.* 2007, Ukonmaanaho *et al.* 2008, Sayer & Tanner 2010) para avaliar de forma consistente a dinâmica da floresta.

Os eventos climáticos atípicos, principalmente o registro de períodos de seca durante o ano de 2014 e aumento da temperatura podem ter refletido na alta produção total e frações do ano de 2015, uma vez que a seca é um fator limitante da produção em florestas tropicais com períodos de seca definidos (Zhang *et al.* 2014). Durante o ano de 2015 as altas taxas de produção total e das frações chamou atenção por destacar-se entre os demais anos, resultado que sugeriu uma relação com o déficit hídrico do ano anterior, com a senescência e rebrota de folhas em resposta ao aumento da precipitação. Em estações secas geralmente ocorre maior abscisão das folhas devido ao estresse hídrico, como um mecanismo para garantir a retranslocação dos nutrientes que serão investidos em outros processos, como no esforço reprodutivo e rebrota de folhas (Aidar & Joly 2003, Zhang *et al.* 2014).

O valor de produção encontrado neste estudo foi semelhante ao de outras florestas brasileiras (Tabela 1.6) e está de acordo com o observado na literatura para florestas tropicais (Williams-Linera & Tolome, 1996, Schlatter *et al.* 2006, Chave *et al.* 2009, Zhang *et al.* 2014, Martinelli *et al.* 2017).) Os dois únicos lugares com produção maior do que o encontrado neste estudo, quando comparados com outras florestas brasileiras, foram em Florestas Semidecíduas

(Tabela 1.5). Foi também o mais alto comparado a outros estudos no próprio PEFI (Teixeira *et al.* 1992, Moraes 2002, Santos 2014).

Diferenças anuais e mensais na produção total de serapilheira, com como de suas frações descreve o caráter variado desse processo, em que devem ser consideradas as interações com fatores climáticos e edáficos, onde se observam maior produção em Floresta Atlântica, quando comparada à Floresta de Restinga com solo de baixa fertilidade (Moraes *et al.* 1999); nos períodos de seca (Cianciaruso 2006); nos estágios sucessionais avançados (Chave *et al.* 2009) e diminuição quando submetidos à tensões de origem antrópica (Domingos *et al.* 2000, Lopes *et al.* 2009), com o aumento da elevação, sugerindo também que a altitude possa desempenhar um papel importante na dinâmica de produção da serapilheira (Zhou *et al.* 2007). Dessa forma, os processos de produção da serapilheira estão associados a padrões variáveis que ocorrem no tempo e no espaço.

Tabela 1.5 Produção total de serapilheira (kg.ha⁻¹) de formações florestais brasileiras.

Local	Formação vegetal	Produção (kg.ha ⁻¹)	Autores
São Paulo, SP	Mata Atlântica	9.387	este estudo
Botucatu, SP	Floresta Estacional Semidecídua	10.646	Vital <i>et al.</i> 2003
Viçosa-MG	Floresta Estacional Semidecídua	10.165	Arato <i>et al.</i> 2003
São Paulo, SP	Mata Atlântica/PEFI	9.300	Moraes 2002
Sergipe	Floresta Atlântica	8.600	White <i>et al.</i> 2013
Região Costeira, BR	Floresta Atlântica	8.000	Martinelli <i>et al.</i> 2017
Paraná	Floresta Ombrófila Mista	7.993	Figueiredo Filho <i>et al.</i> 2003
São Paulo, SP	Mata Atlântica/PEFI	7.288	Teixeira 1992
Paranapiacá, SP	Mata Atlântica	7.007	Domingos <i>et al.</i> 1997
Pinhal Grande, RS	Floresta de Araucária	6.960	Schumaker <i>et al.</i> 2003
São Paulo – SP	Atlântica(perturb)	6.837	Santos (2014)
Luis Antônio, SP	Cerradão	5.647	Cianciaruso, <i>et al.</i> 2006
Ilha do Cardoso	Restinga	3.900	Moraes <i>et al.</i> 1999
Rio Grande do Norte	Caatinga	3.673	Lopes <i>et al.</i> 2015

A serapilheira produzida entre os anos de 2013 a 2018 mostrou uma variabilidade sazonal, com produção ao longo de todo o ano, com queda máxima nas estações da primavera

e verão, quando as chuvas são mais intensas e as temperaturas mais altas (Moraes 2002).

A produção de serapilheira na floresta do PEFI, semelhante ao longo dos anos, também foi observada para algumas florestas tropicais, que ao atingirem o clímax, a produção permaneceu relativamente constante (Zhou *et al.* 2007). Os períodos de maior queda de folhas podem ser comparados ao que ocorre em muitas florestas tropicais, onde a maior produção da serapilheira esteve relacionada aos períodos de radiação abundante, com a senescência de folhas maduras e o aparecimento de novas folhas (Zhang *et al.* 2014). Em locais mais secos, por exemplo, os picos de produção são observados na estação seca com declínio na estação chuvosa, já em regiões mais úmidas são observadas poucas variações anuais com produção mais uniforme durante o ano todo (Santiago e Mulkey 2005).

A correlação positiva entre produção total da serapilheira e precipitação observada, indica que essa variável atue na dinâmica de produção, uma vez que foi observado em florestas tropicais correlação com a produção da serapilheira, indicando que essa variável exerce o controle do crescimento da vegetação através do conteúdo de água e umidade no solo (Zhou *et al.* 2007). A diminuição da produção de serapilheira na época seca observada em nossos resultados, estão de acordo com trabalhos realizados em Floresta Estacional Decídua, onde as menores taxas de produção foram observadas em períodos de baixa precipitação (Pezzato & Wisniewski 2006), enquanto que as maiores médias foram observadas na primavera, entre os meses de agosto a novembro, quando a precipitação é abundante e a temperatura média mensal é elevada (Cunha *et al.* 1993, Pezzato & Wisniewski 2006). Na maioria das florestas temperadas decíduas, a produção mostra um padrão mais homogêneo, com as baixas temperaturas como fator limitante da produção e picos no outono devido a diminuição da radiação solar (Zhang *et al.* 2014).

Ao correlacionarmos a produção da serapilheira com os fatores climáticos, observamos que esse componente pode estar fortemente relacionado aos mecanismos fisiológicos da vegetação, como por exemplo, à fenologia das espécies e às mudanças nas

variáveis ambientais, frequentemente determinados pela influência do clima regional (Zhang *et al.* 2014).

Em florestas maduras geralmente com ampla cobertura do dossel, a produção da serapilheira é mais alta quando comparadas às florestas secundárias, essa forma o estágio de sucessão impacta nos mecanismos de produção da serapilheira (Martinelli *et al.* 2007, Chave *et al.* 2009). Dessa forma, a produção média de serapilheira encontrada neste estudo, sugere estar associada a um estágio maduro de desenvolvimento da floresta do PEFI (ou secundário tardio).

Além disso, importantes fatores que podem ter contribuído para as diferenças na produção entre os anos foram as oscilações das chuvas no período de estudo, de 1096 mm em 2014 para 1.873 mm em 2015, diminuindo novamente em 2018 chegando a 1.152 mm, e às altas temperaturas, uma vez que esta variável foi positivamente correlacionada com todas as frações e total de serapilheira produzida. Em florestas com período seco definido, a vegetação tende a perder suas folhas e aumentar a produção na época de restrição hídrica às plantas, onde frequentemente se observa relação negativa com a precipitação (Cianciaruso & Delitti 2006), por outro lado, em floresta Atlântica de encosta, por exemplo, à medida em que a restrição hídrica se torna menor, a produção da serapilheira tende a aumentar no período chuvoso (Moraes *et al.* 1999, Martinelli *et al.* 2017). Apesar disso, é comum para florestas tropicais fracas correlações entre a produção e a precipitação e/ou temperatura média anual, efeito que pode ser mascarado pela capacidade das espécies em perder ou reter as suas folhas (Chave *et al.* 2009, Martinelli *et al.* 2017). As variações na produção de serapilheira entre os anos pode ter ocorrido em resposta à flutuações climáticas estacionais como médias de chuva abaixo da média climatológica e altas temperaturas (Schlatter *et al.* 2006).

Os resultados encontrados na floresta do PEFI ($9.397 \pm 486 \text{ kg.ha}^{-1}$) comparados aos de Teixeira (1992) que obteve $7.288,12 \text{ Kg.ha}^{-1}$, Moraes (2002) em estudo realizado por 4 anos próximo à área de estudo (9.241 ± 247) e Santos 2014 ($8.271 \pm 717 \text{ kg.ha}^{-1}$) na mesma área de estudo mostram que a produção da floresta, após 26 anos da primeira amostragem, tem

aumentado apesar das interferências antrópicas às quais está constantemente submetida e à ameaça ao aumento de espécies exóticas na área de estudo (Petri 2017).

As variações na produção da serapilheira fornecem ao sistema distintas contribuições com a queda de folhas, galhos, flores e frutos/sementes. Em floresta subtropical por exemplo, a produção de flores e frutos está associada à comunidade clímax e contribui para o enriquecimento do piso florestal durante o período de abril a setembro, período em que estão positivamente correlacionadas com a temperatura (Zhou *et al.* 2007).

A contribuição de folhas obedeceu a um padrão sazonal observado também por outros autores, ocorrendo principalmente entre os meses de setembro ao final de março, aumentando juntamente com o aumento de chuvas e altas temperaturas (Figueiredo Filho *et al.* 2003, Moraes *et al.* 1999). Este componente da serapilheira varia entre 50-70% da proporção total em formações florestais, e representa uma importante fonte de retorno de nutrientes para o solo (Moraes 2002, Araújo & Haridassan 2007, Chave *et al.* 2009, Williams-Linera 2012). Após monitoramento de 62 áreas em diferentes florestas tropicais pelo globo, Vitousek (1984) destacou que a fração folhas corresponde a 70% do peso total da serapilheira, proporção semelhante a encontrada neste trabalho. No presente estudo, esta fração foi responsável pelo padrão sazonal observado na queda total, e esteve correlacionada com todas as variáveis climáticas analisadas.

Os galhos são o segundo componente mais importante da serapilheira e sua deposição pode ocorrer por um fenômeno denominado auto *clear-cut* por decorrência de alta densidade, onde a ocorrência de ventos fortes contribuem com a deposição dessa fração (Lebret *et al.* 2001). A queda de partes lenhosas esteve relacionada as fortes rajadas de ventos, durante os anos de 2015 e 2017, que chegaram a 54 km.h⁻¹. Os ventos, associados à tempestades, exercem grande força mecânica na queda de galhos, folhas e partes reprodutivas e podem provocar quedas aleatórias de galhos ao longo dos anos (Moraes 2002, White *et al.* 2013) como também em períodos de chuvas forte após estações secas (Vidal *et al.* 2007). Mesmo que tivéssemos

excluído os maiores galhos caídos durante o ano de 2015, a produção desta fração ainda seria alta, pois este evento ocorreu ao longo de vários meses.

Ao analisarmos as correlações entre as variáveis climáticas e as frações da serapilheira, a temperatura se correlacionou com a queda de todas as frações e do total da serapilheira, padrão observado também em outras florestas tropicais onde as temperaturas média e máxima influenciam significativamente a produção, porém de formas diferentes, entre as comunidades vegetais (Zhou *et al.* 2007). Comparando espécies dominantes de clima temperado e tropical existentes em uma floresta baixo montana no México, as altas temperaturas estiveram positivamente correlacionadas com as espécies tropicais mas a maior contribuição da serapilheira esteve associada às espécies holárticas e ao clima local (Williams-Linera & Tolome 1996). Esse resultado indica as afinidades fitogeográficas da comunidade vegetal naquela floresta e pode corroborar nossos resultados com a influência da temperatura na produção da serapilheira na floresta do PEFL.

A fração de flores contribuiu com pequena porcentagem na produção total da serapilheira. As maiores produções de flores são correlacionadas às florestas em estágio clímax e refletem à mudanças na composição das espécies ao longo dos estágios sucessionais, visto que em estágios iniciais as plantas são mais jovens (Zhou *et al.* 2007, Martinelli *et al.* 2017). Esta fração foi positivamente correlacionada com a precipitação, temperatura média, temperatura mínima e velocidade do vento e contribuiu com maior produção nos períodos mais úmidos do ano. Nos meses de novembro e dezembro de 2017 obtivemos uma quantidade atípica de produção de flores. A alta variação espacial e temporal para a fração flores, reflete a variabilidade da composição florística encontrada em florestas tropicais (Cunha *et al.* 1993). Por exemplo, em floresta tropical no nordeste, a fração flores foi negativamente correlacionada com a precipitação, sugerindo maior produção de estruturas florais na estação mais seca do ano (White *et al.* 2013).

As variações da queda de frutos e sementes foram irregulares durante os meses, mas

podemos observar um padrão sazonal de produção entre os meses de setembro a março. Em florestas estacionais semidecíduas, os picos de produção de frutos carnosos ocorrem em agosto e setembro (Arato *et al.* 2003), já em Cerradão, a produção é alta nos meses de setembro e dezembro (Cianciaruso *et al.* 2006). Apesar de não termos encontrado correlação positiva com a precipitação, a produção de frutos/sementes foi mais alta nos meses mais úmidos e temperatura mais alta. Frequentemente as maiores produções de partes reprodutivas são correlacionadas a estágios sucessionais avançados, em florestas tropicais (Martinelli *et al.* 2017). Sugerimos que os valores discrepantes na produção de frutos e sementes em outubro/2015 e janeiro/2017 possam ser explicados pela presença de algumas Lianas que produzem frutos grandes e pesados exatamente nessa época do ano (especialmente *Strychnos nigricans* - Loganiaceae).

5.2. Serapilheira acumulada

A taxa de decomposição da serapilheira acumulada sobre o solo ($K = 1,47$) foi a maior entre os valores obtidos anteriormente na floresta do PEFI ($K = 1,23$; $K = 0,80$ e $k = 0,96$) (Moraes 2002, Santos 2014). Com período inferior a um ano para renovação do material acumulado, o resultado obtido denota alta produção de serapilheira e rápida decomposição do material no piso florestal (Olson 1963, Moraes 2002). Altas taxas de decomposição sugerem um solo fértil com serapilheira de alto valor nutricional, mediada pela composição química, umidade e temperatura do solo favoráveis (Bocock & Gilbert 1957, Hobbie & Vitousek 2000, Zhang *et al.* 2008). A decomposição também é favorecida nos períodos úmidos, quando a atividade dos organismos decompositores intensificam esse processo (Cianciaruso *et al.* 2006, Powers *et al.* 2009).

A quantidade estimada de serapilheira acumulada revelou padrão sazonal, com maior acúmulo durante o período úmido (setembro e dezembro) diminuindo no início dos meses mais secos (março e junho). Assim, a correlação positiva obtida entre a serapilheira acumulada e a

serapilheira produzida, com picos nos períodos mais quentes e úmidos, sugere que o padrão anual de serapilheira na floresta do PEFI ocorra de acordo com as condições climáticas sazonais (Becker *et al.* 2015).

Durante o ano de 2014, período em que a chuva se manteve abaixo da média climatológica, o acúmulo de serapilheira aumentou gradativamente entre os meses, com diminuição da decomposição, acúmulo do material sobre o solo e possível retenção dos nutrientes na serapilheira (Berg & McClaugherty 2014), enquanto que nos anos mais chuvosos o acúmulo da serapilheira foi menor em função da sua decomposição, com diminuição do tempo de renovação do material acumulado (Tabela 1.4). O maior acúmulo de serapilheira durante períodos de menor pluviosidade pode estar relacionado ao estresse hídrico como também às variações na disponibilidade de água (umidade do solo e chuvas) em conjunto com a temperatura alterando os processos fisiológicos da vegetação, diminuindo a decomposição (Valentini *et al.* 2008).

O maior acúmulo da serapilheira entre os meses de setembro e dezembro pode ser devido a maior deposição de partes reprodutivas durante a primavera. Nossos resultados foram semelhantes ao observado por Leitão Filho *et al.* (1993) em floresta secundária madura quando o maior acúmulo da serapilheira ocorreu na primavera e por Dickow (2010) que também observou menor acúmulo da serapilheira no final da estação seca, início da chuvosa. A distribuição heterogênea das espécies arbóreas, diferentes qualidades do substrato relacionado à fenologia das espécies, características da área, como inclinações e até mesmo uma amostragem insuficiente podem refletir as variações da serapilheira acumulada entre os anos (Dickow 2010).

O acúmulo da serapilheira foi próximo aos de outros trabalhos realizados no PEFI, por Moraes (2002) e Santos (2014), ambos com quatro anos de coleta da vegetação e semelhantes aos encontrados em outras florestas tropicais (Varjabedian & Pagano 1988, Lopes *et al.* 1990, Cunha *et al.* 1993, Vital *et al.* 2004, Caldeira 2008) (Tabela 7), por Wieder & Wright (1995)

que obtiveram valores entre 4,80 a 10,05 t.ha⁻¹ na estação seca e 4,31 a 8,99 t.ha⁻¹ na estação úmida, além de mais elevado do que o encontrado em floresta subtropical com valores entre 2,9 a 5,4 t.ha⁻¹ (Lodhiyal & Lodhiyal 2003).

O resultado obtido com o acúmulo da serapilheira pode estar relacionado à resposta fenológica das espécies (Wright & Cornejo 1990) e ao estágio sucessional da floresta (Caldeira *et al.* 2008). Em uma Floresta Ombrofila Densa, por exemplo, entre o estágio inicial e o avançado, a quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo variou de 4,47 Mg.ha⁻¹ a 5,29 Mg.ha⁻¹ (Caldeira *et al.* 2008). Os valores de serapilheira acumulada relatados para florestas em estágio de sucessão avançado estão próximos aos resultados encontrados na floresta do PEFI e na mesma ordem de valores encontrados em Floresta Estacional de estágio secundário, entre 4,2 Mg.ha⁻¹ a 6,0 Mg.ha⁻¹ e alto coeficiente de decomposição ($k = 1,16$) (Cunha e Poggiani 1997).

Os valores da serapilheira acumulada e o quociente de decomposição variam em função dos tipos florestais e ocorrem de acordo com os fatores predominantes ao ecossistema considerado, geralmente com rápida decomposição em florestas mais preservadas (Gooley *et al.* 1978, Santos 2014) diminuindo em ambientes impactados por ações antrópicas (Lopes *et al.* 1990) (Tabela 1.6).

Tabela 1.6 Estoque, taxa de renovação e tempo médio de renovação da serapilheira de algumas formações florestais.

Local	Tipo Vegetacional	Serapilheira acumulada (kg.ha ⁻¹)	Quociente de decomposição (k)	Tempo Médio de Renovação (anos)	Autor
São Paulo - SP	Floresta Atlântica	6.761	1,47	0,70	este estudo
Viçosa-MG	Agrofloresta	8.700	1,17	0,85	Arato <i>et al.</i> (2003)
Blumenau - SC	Atlântica(est.inic)	4.470	-	-	Caldeira <i>et al.</i> (2008)
Blumenau - SC	Atlântica(est.interm.)	5.020	-	-	Caldeira <i>et al.</i> (2008)
Blumenau - SC	Atlântica(est.interm.)	5.280	-	-	Caldeira <i>et al.</i> (2008)
Luiz Antônio-Brasil	Cerrado		0,56	1,78	Cianciaruso <i>et al.</i> (2006)
Brasil-Mogi-Guacu	Ciliar	11.333	0,59	1,69	Deliti (1984)
Brasil-Mogi-Guacu	Cerrado	8.180	0,39	2,54	Deliti (1984)
Panamá-Darien	Tropical úmida	4.555	2,49	0,40	Gooley <i>et al.</i> (1978)
Brasil-Pranapiacaba	Atlântica(mais afetada)	8.174	0,22	4,53	Lopes <i>et al.</i> (1990)
Brasil-Pranapiacaba	Atlântica (menos afetada)	8.989	0,42	2,36	Lopes <i>et al.</i> (1990)
Brasil - SP	Mesófila Secundária	6.655	1,41	0,71	Meguro <i>et al</i> (1979)
São Paulo - SP	Floresta Atlântica	7.680	1,23	0,83	Moraes (2002)
São Paulo - SP	Atlântica(preservada)	10.338	0,8	1.03	Santos (2014)
São Paulo - SP	Atlântica(perturb)	7.090	0,96	1,25	Santos (2014)
Brasil-Guarujá	Floresta Atlântica	10.905	0,72	1,38	Varjabedian & Pagano (1988)
Botucatu - SP	Floresta Est Semidec	6.227	1,71	0,58	Vital <i>et al.</i> (2004)

Em florestas tropicais geralmente a decomposição é maior devido a umidade do solo onde é possível observar que o decaimento de massa aumenta linearmente com a precipitação anual agindo em conjunto com a fauna decompositora do solo (Powers 2009). Por outro lado, a ocorrência de altíssima precipitação (5.000 mm) provoca a saturação do solo e inibição da

decomposição (Schuur 2001, Wieder *et al.* 2009), como também em condições de temperaturas extremamente baixas ou extremamente altas, por exemplo, o processo de decomposição é inibido (Didham 1998).

Com a manipulação de entrada da chuva que cai no chão da floresta, foi possível observar que o estresse hídrico também diminui as taxas de decomposição, e esta aumenta quando expostas aos efeitos da lixiviação das chuvas (Salamanca *et al.* 2003)

Assim como os diversos fatores climáticos, a fragmentação exerce forte influência nos processos de decomposição. Altera as condições microclimáticas, a dinâmica e regeneração da floresta, diminuindo as taxas de decomposição e aumentando a serapilheira acumulada no solo, principalmente pela alteração na entrada de luz, vento e umidade do solo (Palacios-Bianchi 2002). Em áreas degradadas, por exemplo, a produção e decomposição da serapilheira é fundamental para o restabelecimento da fertilidade do solo, haja vista que este componente garante a continuidade do suprimento anual de nutrientes em uma floresta (Cunha *et al.* 1993, Lorenzo *et al.* 2017), portanto a fragmentação pode representar um risco para existência desses ecossistemas.

As variações sazonais das variáveis ambientais influenciam no acúmulo e decomposição da serapilheira sobre o solo. Os meses de maior acúmulo da serapilheira relacionados à temperaturas mais altas reflete a influência desta variável através de um amplo gradiente climático, desde zonas temperadas à boreais (Powers *et al.* 2009). A correlação positiva entre o acúmulo da serapilheira e à velocidade do vento, sugere a queda do material preso às árvores após períodos de chuva ou após rajadas de vento, aumentando esse componente sobre o solo (Lebret *et al.* 2001). As altas temperaturas, umidade disponível no solo e o conteúdo de nutrientes na serapilheira em florestas tropicais, são características que produzem as maiores taxas de decomposição uma vez que agem em conjunto intensificando esse processo (Wieder & Write 1995, Alvarez-Sánchez & Enríquez 1996).

Santos (2014) estudando a serapilheira na mesma área de estudo obteve maior acúmulo

da serapilheira no período úmido e taxa de decomposição mais baixa, influenciando assim no período de residência dos nutrientes, sugerindo um solo de baixa fertilidade.

Os resultados obtidos durante os anos de estudo nos permitiu observar as variações no acúmulo sobre o solo e no tempo de renovação da serapilheira. Após cinco anos desde o último estudo na mesma área, o quociente de decomposição para todos os anos estudados foram altos, segundo o critério de Olson (1963) e o tempo para renovação do material sobre o solo ocorreu em menos de um ano, devido alta produção da serapilheira e rápida decomposição do material acumulado, contribuindo assim com a disponibilidade de nutrientes à vegetação, sugerindo que o ambiente se mantém preservado (Moraes 2002).

CAPÍTULO II

Impacto do pisoteio sobre o acúmulo da serapilheira em floresta Atlântica

1. Introdução

As trilhas formadas por pisoteio ou intencionalmente criadas como meio de contemplação da natureza em Parques ou Unidades de Conservação, pode provocar a degradação dos recursos naturais e alterar a dinâmica da floresta (Goldsmith *et al.* 2006, Eisenlohr *et al.* 2013).

Essas áreas, com forte potencial para pesquisa ecológica constituem uma importante ferramenta no estudo da dinâmica dos ecossistemas florestais (Goldsmith *et al.* 2006, Roncero-Siles 2008). Além disso, as trilhas formadas em áreas preservadas são utilizadas para outros fins, como ecoturismo possibilitando o contato do homem com a natureza (Leung e Marion 1996) e educação ambiental, alertando para o uso consciente desses ecossistemas (Campos & Filletto 2011).

Portanto, a frequência desses eventos, o processo de manutenção das trilhas e a fragilidade da vegetação se tornam fatores determinantes da intensidade do seu impacto sobre a dinâmica da floresta (Eisenlohr *et al.* 2013), haja vista que abrangem os efeitos físicos, ecológicos e estéticos, com os estudos direcionados para os danos ambientais e impactos sociais (Leung & Marion 1996).

As pesquisas ecológicas de longo prazo em florestas de todo o mundo são fundamentais para o conhecimento destes ecossistemas, por isso, a constante presença humana nesses ambientes é recorrente e leva à formação de trilhas não intencionais (Comita & Goldsmith 2008). Devido a isso, estudos são realizados para avaliar os impactos associados às atividades de pesquisadores em parcelas intensamente estudadas (Condit 1995, Malhi *et al.* 2002, Philips *et al.* 2002, Comita & Goldsmith 2008).

É crescente a preocupação com os danos gerados com a abertura de trilhas pelo pisoteio (Cole & Bayfield 1993, Comita & Goldsmith 2008, Roncero-Siles 2008), uma vez que essa prática pode afetar a resiliência da vegetação (Boucher *et al.* 1992, Cole & Bayfield 1993, Roncero-Siles 2008), aumentar os efeitos de borda e a invasão de espécies exóticas (Maciel *et*

al. 2011) e alterar a composição florística e dinâmica da vegetação (Cole & Landres 1996, Villagra 2008, Eisenlohr *et al.* 2009, Hirata *et al.* 2010). Além de provocar processos erosivos, o pisoteio ao longo da trilha causa a compactação e perda do solo (Takahashi *et al.* 2005, Olive & Marion 2009, Figueiredo *et al.* 2010), com a exposição de raízes de árvores, perda ou diminuição da serapilheira acumulada (Passold 2002, Maganhotto *et al.* 2007). Provoca também a fragmentação de micro-habitats, podendo prejudicar a movimentação de pequenos animais como anfíbios, anuros de folhiço e gerar impactos sobre a fauna (Pontes 2006).

Entre as consequências da remoção da serapilheira acumulada, os danos causados à ciclagem de nutrientes é um dos aspectos mais importantes, tendo em vista que o compartimento serapilheira-solo é o local onde ocorrem várias etapas da decomposição da matéria orgânica e devolução dos nutrientes entre o sistema planta solo, afetando principalmente o ciclo do nitrogênio (Sayer e Tanner 2010, Dickow 2010). Portanto, ao retirar a camada de serapilheira do solo a produtividade da floresta pode ser alterada (Sayer e Tanner 2010) uma vez que a diminuição deste componente pode reduzir também a capacidade reprodutiva das espécies (Belnap 1998).

A linha de estudos de deterioração de trilhas considera a própria existência da trilha como forma de impacto em uma paisagem natural e busca avaliar a proliferação destas, provocadas pelo pisoteio dos visitantes (Leung e Marion 1996). A identificação do grau de fragilidade das trilhas pode ser determinada pelas variáveis físicas do solo, declividade e os diferentes tipos de cobertura vegetal (Ross 1993).

Em locais onde o grau de declividade é acentuado são naturalmente suscetíveis à erosão, ocorrendo o escoamento superficial da água da chuva dificultando a absorção pelo solo. Esse processo pode ser acentuado em função do deslocamento e pisoteio de pessoas, dificultando o acúmulo da serapilheira pela remoção da cobertura superficial (Maganhotto *et al.* 2007).

Além disso, o pisoteio destrói plantas por choque mecânico, inibindo o desenvolvimento de espécies não adaptadas a este impacto, muitas vezes com exclusão de raras dando lugar às espécies invasoras, mais resistentes e com alta capacidade reprodutiva (dos Santos 2016).

Portanto, os impactos do pisoteio provocados pelo acesso às trilhas em diversas formações vegetais podem vir a ser o principal fator das alterações sobre a vegetação e o ambiente físico (Cole & Bayfield 1993, Takahashi 1998, Roovers *et al.* 2004, Roncero-Siles 2008).

Tendo em vista a relevância dos efeitos causados pela abertura de trilhas, foram criados sistemas visando ações de planejamento em locais atingidos por pisoteio, como o *Limits of Acceptable Changes – LAC*, que estabelece quatro componentes principais: definição de indicadores de impactos ecológicos e recreativos; estabelecimento de limites máximos aceitáveis de impacto; definição de ações de manejo e monitoramento (Stankey *et al.* 1995).

Considerando a representatividade individual dos indicadores ecológicos, como por exemplo, a porosidade do solo, conteúdo de carbono orgânico e a capacidade de campo, é possível criar ações de manejo para o monitoramento de áreas impactadas, subsidiando futuras decisões de manejo (Takahashi 2005). Assim como a produção e o acúmulo da serapilheira, que foram adequados para avaliar os impactos florestais sofridos pela remoção deste componente sobre o solo (Sayer & Tanner 2010, Maganhotto *et al.* 2007, Feng *et al.* 2019).

Os impactos causados por pisoteio também podem ser medidos com o emprego de indicadores ecológicos através de uma metodologia que investiga a vulnerabilidade das diferentes espécies vegetais, como por exemplo, a capacidade de resistência e de regeneração das espécies após um determinado período de tempo (Cole & Bayfield 1993, Roncero-Siles 2008).

Dessa forma, a capacidade de resistência da vegetação, pode ser medida por um indicador de resistência (I_{50}), definido como o número de passadas (pisoteios) necessárias para

redução de 50% do sub-bosque (Cole & Bayfield 1993). A capacidade de resistência varia em função do tipo de ecossistema, sendo reportados valores de I_{50} na literatura desde 17 passadas em bosque de eucalipto na Austrália, 25 em comunidades alpinas, 200 ou 500 passadas em comunidades com espécies mais resistentes ou até 1.475 passadas em pradarias subtropicais (Cole & Bayfield 1993).

Os efeitos do pisoteio humano investigados em três áreas em uma Floresta Atlântica, produziu relações não lineares quanto aos níveis de impactos e a resposta da vegetação e mesmo que, para cada fragmento analisado foram obtidos distintos resultados, duas áreas mostraram-se poucos resistentes e resilientes ao pisoteio, com pouca ou nenhuma recuperação e uma delas mostrou resistência intermédia e alta resiliência, com recuperação após um ano (Roncero-Siles 2008). Portanto, de acordo com suas características morfológicas, a vegetação apresenta diferentes níveis de resistência para tolerar os impactos causados pelo pisoteio, os quais podem ser reduzidos entre as comunidades vegetais mais tolerantes (Cole & Monz 2002).

Em intensidades de pisoteio relativamente altas, ocorre a perda da serapilheira e exposição do solo (Cole 1978), com diminuição da cobertura vegetal, principalmente durante o inverno, estação com déficit hídrico do solo, mostrando menor resistência e recuperação mais lenta nesse período (Roncero-Siles 2008, Teixeira *et al.* 2013).

A vegetação de sub-bosque contribui fortemente com o ecossistema devido à sua alta taxa de rotatividade, dessa forma sua diminuição por pisoteio ou por ações antropogênicas pode afetar a ciclagem dos nutrientes, reduzir a umidade do solo e alterar a produtividade da floresta (Feng *et al.* 2019).

As avaliações dos impactos causados por pisoteio nas trilhas formadas em parcelas permanentes estão focadas principalmente em analisar a compactação do solo (Olive & Marion 2009, Figueiredo *et al.* 2010), alterações florísticas da vegetação e diversidade da comunidade herbácea (Hirata *et al.* 2010, Eisenlohr *et al.* 2011, Maciel *et al.* 2011), resiliência de espécies,

redução da cobertura vegetal, biomassa e disseminação de exóticas (Roncero-Siles 2008, Marion *et al.* 2016), fatores que alteram a dinâmica do ecossistema.

Uma vez que os recursos mais procurados no campo por pesquisadores ou visitantes é a vegetação, surge a necessidade de identificar os processos biológicos como resultado da degradação dessas áreas e desenvolver métodos de gestão adequados (Liddle 1975).

2. Objetivo

Devido ao escasso conhecimento sobre os impactos do pisoteio causados no acúmulo da serapilheira sobre o solo, o objetivo deste estudo foi analisar se o acúmulo de serapilheira ao longo de uma trilha (local pisoteado) apresenta diferenças significativas em relação ao local não pisoteado na mesma área.

Desse modo, temos como hipótese principal que:

O pisoteio diminui o acúmulo da serapilheira, que deve ser menor no local pisoteado.

3. Material e Métodos

3.1. Área de estudo

A área de estudo está descrita no item 3.4 do capítulo 1.

3.2. Procedimento de campo

Utilizamos como indicador ecológico (Merigliano e Krumpe 1987) para avaliação do impacto do pisoteio na parcela, a serapilheira acumulada no local pisoteado e não-pisoteado. Juntamente à esta comparação, estimamos a intensidade de pisoteio na área por meio de trabalhos realizados no mesmo local.

Para determinação do material estocado sobre o solo, em uma área amostral de 1,08 ha (180 x 60 m) (Figura 1.4), sub-dividida em 108 parcelas de 10 x 10 m (Figura 2.2), foi feita coleta de serapilheira acumulada nas trilhas originadas pela passagem de pesquisadores e estudantes. Ao todo foram levantadas 160 mostras de serapilheira acumulada em cada local, de março de 2015 a dezembro de 2018. Trimestralmente foram coletadas 10 amostras de serapilheira acumulada ao longo da trilha, em local pisoteado e em suas adjacências, no local não pisoteado, utilizando-se uma peneira de molde vazada de 0,30 m de diâmetro onde foi retirado todo o material contido na parte interior (Figura 2.1). A definição das medidas de distância para a coleta das amostras foram realizadas com sorteios de 10 números aleatórios de 1 a 180 metros, considerando-se o início da trilha, o ponto mais próximo da via de acesso, como o ponto 0. Os pontos obtidos ao longo da trilha foram localizados com a utilização de fita métrica (Figura 2.2).

Em campo o material coletado foi acondicionado em sacos enumerados, levados ao laboratório para secagem a ar e peneirado para retirada do solo, raízes e fungos aderidos às amostras e secas em estufa a 60°C, até obtenção do peso constante ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) verificado em balança semi-analítica (0,01g).

O pisoteio na área de estudo ocorre desde 2006 quando foi implantada uma parcela para levantamentos florísticos-estruturais com trabalhos de pesquisa na mesma área, atualmente com

14 anos. Antes desta data houve uma passagem breve (menos de um mês) pelo local para o levantamento da vegetação em 1983 (Strufaldi de Vuono 1985) e outra para estudo de produção em 1992 (Moraes 2002). Os trabalhos realizados nos últimos 5 anos permitiram a produção de uma lista (tabela 2.1) que reproduz uma quantidade aproximada de idas a campo, excetuando-se as pesquisas realizadas anteriormente ao período deste estudo. Antes de qualquer trabalho de campo, obrigatoriamente todas as equipes são orientadas sobre os cuidados a serem tomados ao pisotear a área para que o desenvolvimento natural da vegetação não seja prejudicado.

Tabela 2.1 Estimativa de pisoteio ao longo da área de estudo entre os anos de 2014 a 2018, na área do Instituto de Botânica, SP.

Ano	Meses em campo	Idas na semana/mês	Estimativa de idas à área de estudo	Autor
2014-2015	5 meses	2 por semana	45 idas	Mourad e Gomes (2015)
2014-2015	12 meses	1 ao mês	12 idas ao ano	Bazi e Gomes (2015)
2015-2016	12 meses	1 ao mês	12 idas ao ano	Bazi e Gomes (2016)
2015-2016	5 meses	2 por semana	45 idas	Petri e Gomes (2016)
2016-2017	12 meses	1 ao mês	12 idas ao ano	Bazi e Gomes (2017)
2016-2017	24 meses	2 ao mês	48 idas	Biasoli e Gomes (2017)
2017-2018	6 meses	1 a 2 p/sem	35 idas	Florit e Gomes (2018)
2017-2018	12 meses	1 ao mês	12 idas ao ano	Bazi e Gomes (2018)
2014-2018	2 meses p/ ano	5 dias da sem	200 idas	Projeto Institucional (Gomes E. P. C.)

Ao tempo em que são realizados trabalhos de pesquisa no local, formou-se uma trilha não intencional ao longo da parcela, onde é possível observar uma cobertura reduzida da espécie *Calathea cf. monophylla* (Marantaceae), bastante comum e exposição do solo e de raízes em alguns pontos da trilha, principalmente nos primeiros metros do início da mesma.

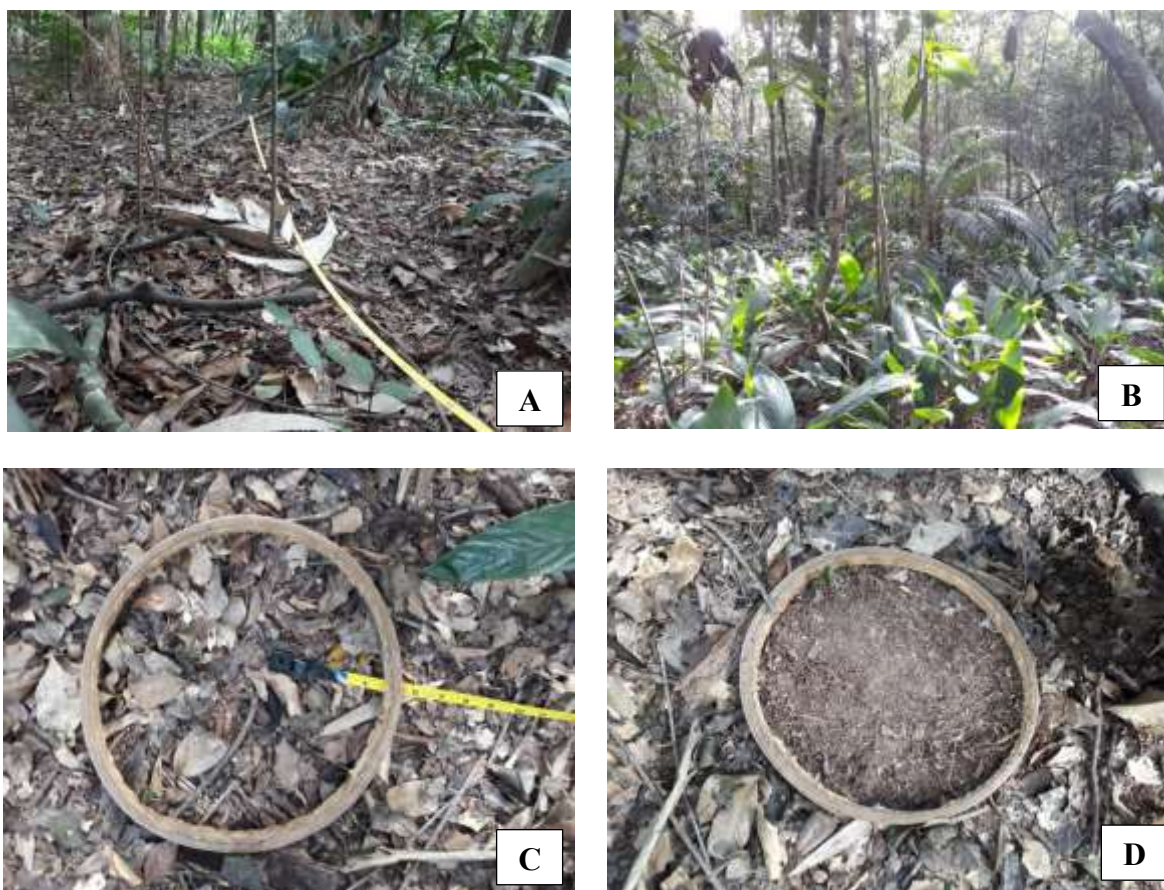


Figura 2.1 Coleta de serapilheira acumulada sobre o solo no local pisoteado (A), não pisoteado (B), antes da coleta das amostras (C) e após a coleta das amostras (D), na área do PEFI.

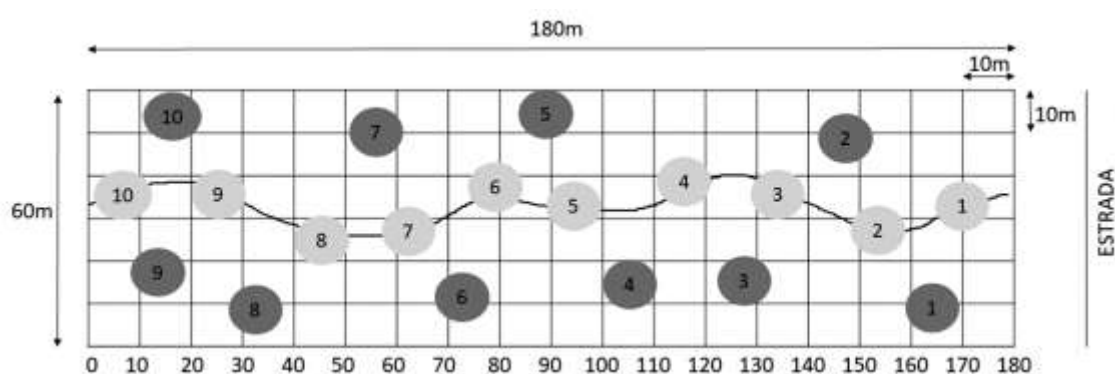


Figura 2.2 Desenho esquemático dos pontos de coleta ao longo da trilha de 1,08 ha (180 x 60 m) na área de estudo no Instituto de Botânica de São Paulo.

3.3. Análise de dados

Foram calculados os valores médios mensais e anuais e os respectivos erros-padrão da massa de serapilheira acumulada no local pisoteado e não pisoteado. Para avaliar se houve diferenças no acúmulo mensal e anual dos estoques sobre o solo em função do pisoteio, foram realizados testes de análise de variância ANOVA de fator repetido (Zar 1999). Quando os pressupostos de normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias não foram observados aplicamos os testes estatísticos não-paramétricos equivalentes (Kruskall-Wallis). Para verificar diferenças no estoque de serapilheira no local pisoteado e não pisoteado, aplicamos o Teste-t de duas amostras. Quando os pressupostos de normalidade não foram atendidos, os dados foram log-transformados e se ainda não atendessem os pressupostos de normalidade, aplicamos o Teste não-paramétrico Wilcoxon. Para verificar se houve correlação entre a distância (0-180 m) e o acúmulo da serapilheira ao longo da trilha, aplicamos o Teste de Correlação de Spearman (D).

4. Resultados

O estoque médio anual de serapilheira acumulada no local não pisoteado foi 6.522 ± 577 kg.ha⁻¹ e no local pisoteado foi 5.987 ± 450 kg.ha⁻¹. Não houve diferença significativa entre os dois estoques (Teste t de Student; $t = -1,42$; $p > 0,05$), apesar de maior acúmulo na primeira (Figura 2.3).

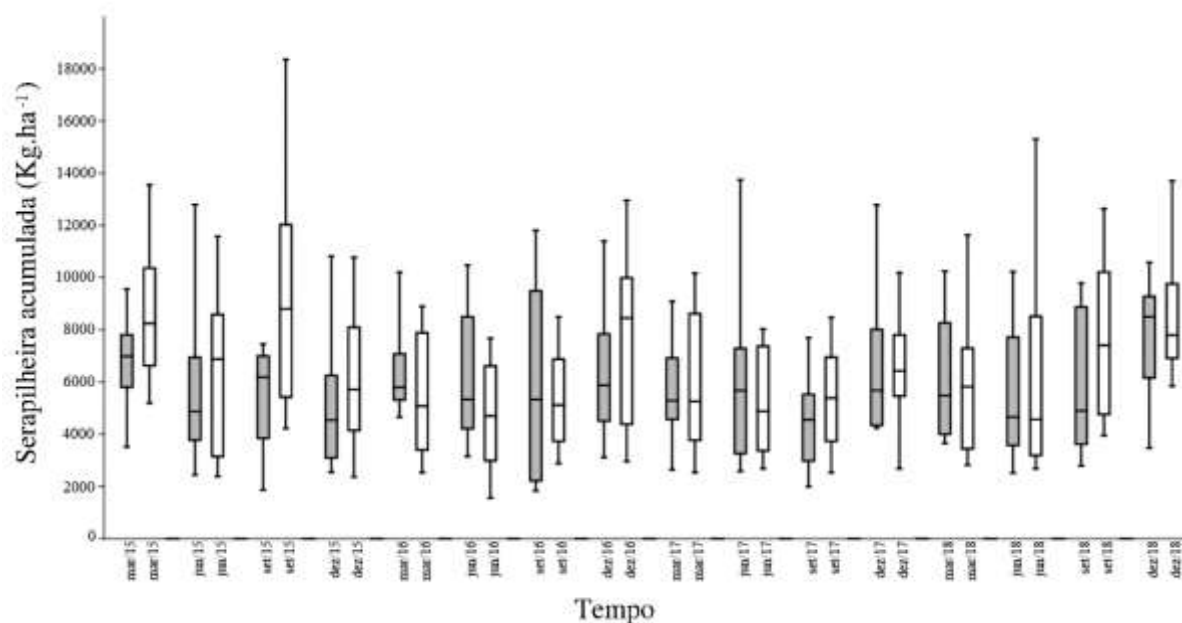


Figura 2.3 Distribuição mensal da serapilheira acumulada no local pisoteado (Boxplot cinza) e não pisoteado (Boxplot branco) (n=10), durante os anos de 2015 a 2018 na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

Ao compararmos ano a ano a serapilheira acumulada entre o local pisoteado e não pisoteado, obtivemos diferença significativa apenas durante o ano de 2015 (Teste t de Student; $t = -2,57$; $p < 0,01$) (Tabela 2.2). Apesar de identificarmos um alto coeficiente de variação ($CV > 30\%$) no local pisoteado, principalmente no ano de 2015, não obtivemos diferença significativa entre os meses (ANOVA fator repetido, $F=1,319$, $p > 0,05$).

Tabela 2.2 Serapilheira acumulada ($\text{Kg.ha}^{-1} \pm$ erro padrão) entre os anos de 2015 a 2018, no local pisoteado e não pisoteado, na área do Instituto de Botânica, SP.

Anos	Local pisoteado	Local não pisoteado
2015	5.783 $\pm$ 435 **	7620 $\pm$ 774
2016	6.135 $\pm$ 479	5763 $\pm$ 538
2017	5.670 $\pm$ 436	5703 $\pm$ 438
2018	6.358 $\pm$ 467	7000 $\pm$ 558
Média	5.987 $\pm$ 454	6522 $\pm$ 577

** indica nível de significância inferior a 0,01 na comparação entre os estoques de serapilheira.

Comparando o acúmulo da serapilheira apenas no local pisoteado entre todos os anos de estudo verificamos que o material estocado não diferiu significativamente (Teste Kruskal-Wallis; $H = 2,045$; $p > 0,05$) (Figura 2.4).

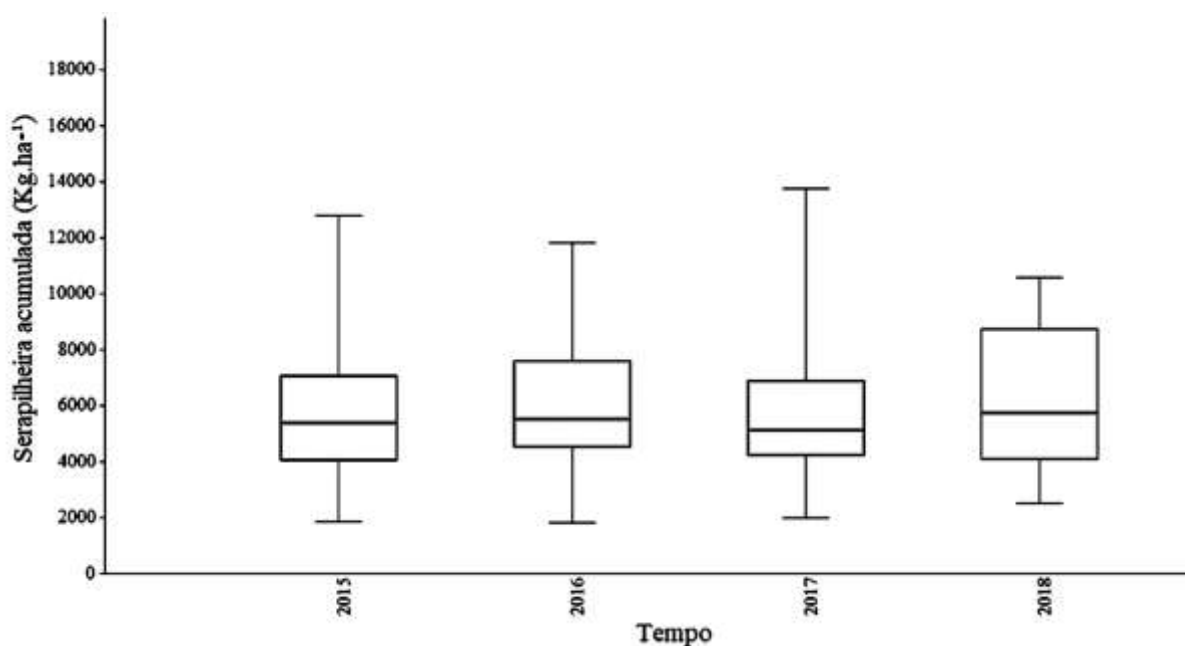


Figura 2.4 Média anual da serapilheira acumulada no local pisoteado (n=10), durante os anos de 2015 a 2018 na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

Houve correlação significativa e positiva entre a quantidade de serapilheira acumulada no local pisoteado e a distância da borda (Correlação de Spearman, $r = 4,5524$; $p < 0,001$) (Figura 2.5).

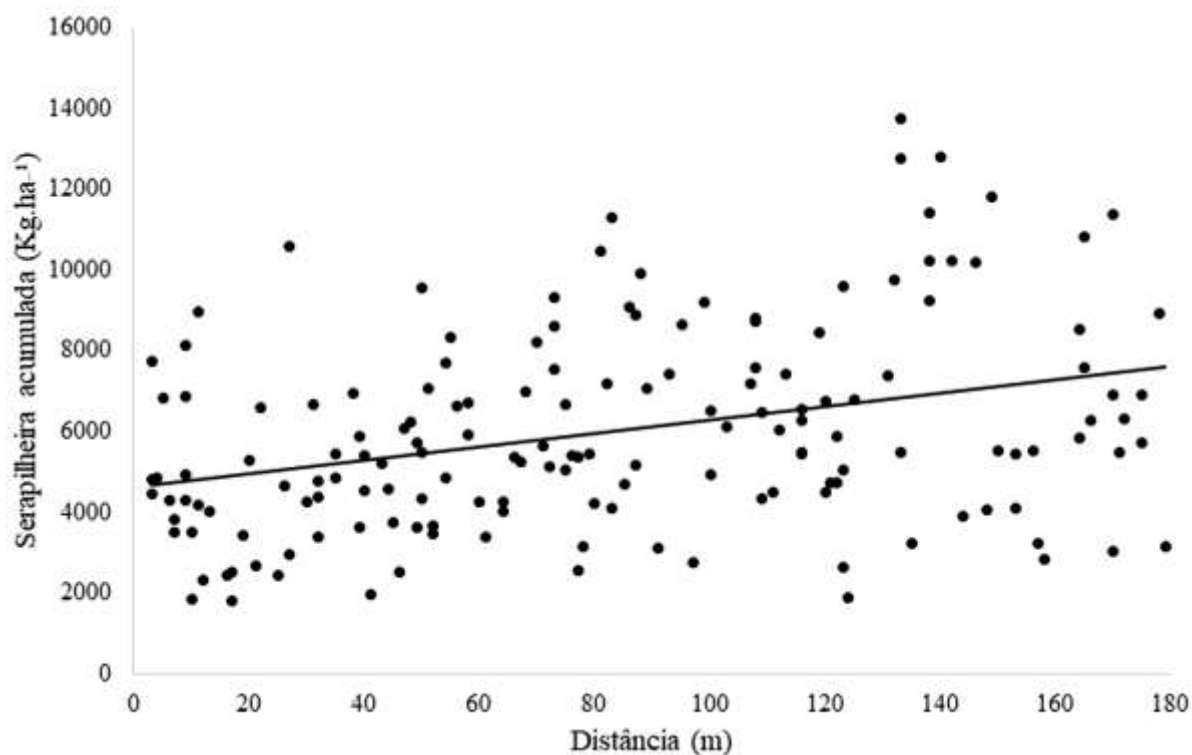


Figura 2.5 Variação da serapilheira acumulada do início da trilha ao interior da floresta entre os anos de 2015 e 2018, na área do Instituto de Botânica, SP.

Portanto, obtivemos o menor acúmulo de serapilheira no início da trilha (Figura 2.5) onde as distâncias ao longo da parcela, pela massa acumulada foram significativamente correlacionadas.

5. Discussão

Após 3 anos e 9 meses de levantamento de dados, observamos que a serapilheira que se acumulava no início da trilha foi significativamente menor quando comparada às coletas realizadas no interior da trilha, resultante dos impactos do pisoteio pelas idas a campo registradas por aproximadamente 4 anos. Podemos observar que o pisoteio na área de estudo provocou impactos negativos no acúmulo da serapilheira com diminuição do seu estoque e exposição do solo em vários pontos da trilha, mas principalmente na entrada da parcela.

A serapilheira acumulada no local pisoteado foi menor quando comparada ao local não pisoteado, porém sem diferenças significativas. Dessa forma, as maiores médias mensais do local não pisoteado mostram que esforços conscientes de assistentes de campo e pesquisadores para evitar danos à vegetação podem mitigar os impactos do pisoteio em parcelas permanentes (Goldsmith *et al.* 2006). Nossas estimativas sobre os impactos do pisoteio, com as maiores médias da serapilheira acumulada no local não pisoteado e pouco acúmulo no início da trilha, pode estar relacionada também aos processos simultâneos de recuperação do ambiente (Chazdon 2003), haja vista que florestas tropicais mostram alta capacidade de resiliência após distúrbios em curtos períodos de tempo (Boucher *et al.* 1991, Guariguata & Ostertag 2001).

As abordagens em torno dos impactos provocados pelo pisoteio devem considerar tempo e espaço para obtenção de estimativas próximas à realidade (Cole & Monz 2002). Mesmo obtendo diferenças significativas na densidade de plântulas até 20 metros de distância de uma trilha em uma parcela permanente, por exemplo, os autores observaram que os efeitos causados pelo pisoteio não foram suficientes para afetar as estimativas da dinâmica de plântulas, ou das espécies menos vulneráveis ao pisoteio (Comita & Goldsmith 2008), no entanto, deve ser considerado que as áreas afetadas constituíam uma pequena parcela do total da área amostrada.

Dessa forma, alguns autores sugerem que o monitoramento de processos ecológicos por longos períodos de tempo possa alterar a dinâmica florestal, sob as diferentes condições

ambientais e os variados protocolos de pesquisa, sendo necessárias frequentes avaliações dessas áreas para detecção de mudanças sutis na dinâmica do ecossistema (Chazdon 2003, Goldsmith *et al.* 2006).

A parcela está localizada em uma área que possui alguns trechos com declives acentuados na direção Sul-Sudeste, onde ocorrem situações esporádicas de exposição do solo, provocada pelo efeito natural da declividade e incapacidade de manutenção da serapilheira nesse trecho. Neste caso, as características da topografia, solo e vegetação podem ser elementos determinantes da degradação do solo, juntamente com a intensidade de uso, provocando aumento da trilha em extensão ou degradação no momento em que visitantes buscam evitar os acessos mais difíceis (Leung & Marion 1996, Marion *et al.* 2016). Assim é possível que os efeitos naturais existentes possam ser acentuados com o deslocamento de pessoas, causando maiores danos à cobertura do solo (Maganhoto *et al.* 2007).

A manutenção no estoque da serapilheira acumulada, observado durante os anos, provavelmente guarda relação com o tipo de formação vegetal da área de estudo, corroborada pela presença de espécies indicadoras de dossel fechado (Davison 2009). De acordo com a hierarquia de graus de proteção do solo pela cobertura vegetal (florestas/matias naturais, florestas cultivadas com biodiversidade), à floresta do PEFI pode ser atribuído grau de proteção muito alto (Ross 1994). As classes de fragilidade do latossolo vermelho amarelo e textura média a argilosa, predominante no PEFI se enquadram no grau de fragilidade baixa (Ross 1994, São Paulo 2006), sugerindo que a área de estudo esteja bem protegida pela vegetação e com boa resistência do solo quanto a compactação. Por outro lado, até mesmo em locais com boa proteção do solo pela vegetação, onde há ocorrência natural de declives, os ambientes estão sujeitos a ter sua integridade fragilizada principalmente pela remoção da serapilheira (Maganhoto *et al.* 2007).

A correlação positiva obtida entre a serapilheira acumulada no local pisoteado com a distância percorrida ao longo da trilha, apontou os efeitos do pisoteio principalmente na entrada

da parcela, com prejuízo no acúmulo da serapilheira. Fator relevante, uma vez que a remoção da serapilheira acumulada pode afetar a dinâmica da floresta de diversas maneiras: diminuição dos teores de nitrogênio orgânico; redução na produtividade da floresta, limitação na ciclagem de nutrientes (Sayer & Tanner 2010) e outros. As trilhas formadas por pisoteio intenso, apresentam solo compactado, menor composição de espécies causando o espaçamento de plantas e diminuição da cobertura vegetal, fatores que podem alterar a biomassa bacteriana e fúngica, os processos de decomposição e comprometer a ciclagem dos nutrientes (Takahashi 1995, Belnap 1998, Cole & Monz 2002).

A diminuição ao longo da trilha na quantidade de *Calathea sp.*, planta herbácea que se associa à cobertura do solo de pequenas clareiras, portanto indicadoras de dossel fechado (Davison 2009), pode estar associada ao pisoteio, onde é possível visualizar a abertura da trilha em condições de ausência dessa vegetação. As reduções na cobertura vegetal estão diretamente associadas à intensidade e anos de pisoteio e variam entre as comunidades vegetais, geralmente com maiores perdas da vegetação menos resistente (Cole & Monz 2002).

Um estudo de monitoramento de parcelas permanentes em uma floresta no Panamá, mostrou que a densidade média de plântulas diminuíram diretamente nas trilhas e aumentaram imediatamente em suas adjacências, efeito que, além da atividade humana, pode ser intensificado nos padrões de movimentação de aves e pequenos mamíferos devido à abertura da trilha (Comita & Goldsmith 2008).

Considerando que a serapilheira acumulada sobre o solo é responsável pela maior parte do fluxo de nutrientes minerais entre planta e solo (Vitousek 1982), mudanças estruturais provocadas pelo pisoteio sobre a vegetação podem alterar significativamente sua dinâmica funcional (Takahashi *et al.* 2005, Comita & Goldsmith 2008). Dessa forma, consideramos não só a diminuição da serapilheira acumulada ao longo da trilha, como também a frequência de visita na área de estudo como indicadores ambientais potenciais para identificação dos processos biológicos resultantes do pisoteio, associando as diferenças bióticas ao fator de

desgaste.

Para avaliar os impactos do pisoteio na trilha (tabela 2.1), tomamos por base um estudo realizado em três Unidades de Conservação, uma delas na floresta do PEFI onde foram considerados os níveis de pisoteio através de passadas consecutivas pela vegetação. Para os níveis baixos de 25 passadas houve redução de aproximadamente 50% da cobertura vegetal; em níveis considerados intermediários, com 75 e 200 passadas ocorreu diminuição acentuada da cobertura vegetal em relação à inicial e maior perda para intensidade muito alta, equivalente a 500 passadas. Após seis meses houve tendência à recuperação para 25 e 75 passadas, mas não para 200 e 500 passadas, com contínua perda da cobertura vegetal. A proporção do solo exposto nas três áreas estudadas esteve relacionada ao nível de intensidade muito alta de 500 passadas, sendo que o PEFI mostrou-se pouco resistente e resiliente ao pisoteio (Roncero-Siles 2008).

Durante o período de estudo, registramos aproximadamente 421 idas a campo com no mínimo duas pessoas por visita. Portanto, os impactos provocados pelo pisoteio teve grande relevância, uma vez que o mesmo local foi percorrido ida e volta no mesmo dia e em alguns trabalhos, mais de uma vez na semana. A exposição de solo, raízes e observação da ausência de *Calathea sp.*, principalmente na entrada da trilha denota os efeitos negativos do pisoteio na área de estudo.

Dessa forma, podemos dizer que a perda de cobertura e exposição do solo observadas no experimento de Roncero-Siles (2008) relacionado às passadas de baixa a alta intensidade, nos oferece algum parâmetro para os impactos observados pelo pisoteio, com a redução da serapilheira e exposição do solo principalmente no início da trilha.

Nossos resultados sugerem que o aumento no fluxo de pessoas em áreas naturais podem provocar impactos negativos sobre a vegetação a longo prazo. Para contribuir com ações que definam o manejo dessas áreas são necessárias pesquisas que forneçam dados quantitativos dos impactos provocados e os mecanismos contribuintes para sua ocorrência. Dessa forma, estudos de longo prazo são fundamentais para implantação de manejo adequado às áreas de

proteção ambiental.

O rodízio de trilhas ou a dispersão do uso é uma estratégia de recuperação, onde os níveis de pisoteio possam ser mantidos baixos (Roncero-Siles 2008). Como definições de ações de manejo para o restabelecimento da serapilheira acumulada ao longo da trilha, alterar o caminho de entrada percorrendo paralelamente à trilha, parece ser uma alternativa eficiente para evitar o pisoteio na área de estudo ou nas proximidades.

CAPÍTULO III

DECOMPOSIÇÃO DE FOLHAS EM FLORESTA URBANA ATLÂNTICA

1. Introdução

Os processos funcionais que ocorrem no solo de sistemas florestais estão diretamente ligados à decomposição da serapilheira, a qual desempenha papel fundamental na ciclagem de nutrientes e transferência de energia entre o sistema solo-planta (Vitousek *et al.* 1986, Sayer e Tanner 2010). Particularmente importante em sistemas com restrição nutricional, a decomposição é um mecanismo essencial para a manutenção de florestas tropicais, sobre solos de baixa fertilidade, que dependem da reciclagem dos detritos orgânicos (Xuluc-Tolosa *et al.* 2003).

A velocidade com que as frações da serapilheira se decompõem depende da estrutura e composição química do material em decomposição, sendo o material foliar o constituinte mais abundante na serapilheira e mais estudado nas comunidades florestais (Cianciaruso *et al.* 2006). As folhas senescentes terão suas frações lábeis decompostas mais rapidamente, em seguida, num processo mais lento, serão decompostos os materiais mais resistentes, processo que depende das condições locais e regionais como o clima, tipo de solo e microorganismos decompositores (Tauk 1990, Sayer e Tanner 2010, Powers *et al.* 2009).

Alguns índices de qualidade da serapilheira como a concentração de lignina, evapotranspiração (Mentemeyer 1978) e composição nutricional (Powers *et al.* 2009) são utilizados como preditores para facilitar a correlação e compreensão do processo de decomposição.

A produção e decomposição da serapilheira estão relacionadas à sazonalidade da precipitação e temperatura (Anderson & Swift 1983), ao déficit hídrico (Cianciaruso *et al.* 2006), à composição química da vegetação, ao estágio sucessional (Xuluc-Tolosa *et al.* 2003) e à composição biológica e química do solo (Bocock & Gilbert 1957). A serapilheira acumulada sobre o solo é constituída principalmente de partes senescentes da vegetação, sendo o componente foliar o mais significativo em quantidade de nutrientes minerais e matéria orgânica

para o solo, mantendo a fertilidade e produtividade da floresta (Meguro *et al.* 1979, Scheer 2007).

Em uma floresta secundária com a ocorrência de espécies pioneiras, intermediárias e tardias, foi observado que a decomposição de folhas de espécies pioneiras decompõe de forma mais rápida nos primeiros meses quando comparadas ao processo de decomposição de folhas de espécies tardias (Xuluc-Tolosa *et al.* 2003). Pelo fato das espécies pioneiras apresentarem decomposição mais rápida (Xuluc-Tolosa *et al.* 2003), seu plantio em áreas de restauração aumenta a produção da serapilheira e é importante para restabelecer a fertilidade do solo (Lorenzo *et al.* 2017).

As taxas de decaimento foliar estão ligadas a uma série de fatores que atuam com diferentes intensidades no processo. As variáveis climáticas podem exercer menor influência quando comparadas à ação da composição química da serapilheira, porém esses fatores podem agir em conjunto determinando a velocidade da decomposição (Alvarez-Sanches e Enríquez 1996). Em estações úmidas e em locais com nutrientes disponíveis, os tecidos foliares com alto teor de nutrientes tendem a decompor mais rapidamente (Vitousek 1998, Alvarez-Sanches e Enríquez 1996), o que também pode ser intensificado de acordo com a palatabilidade das espécies das folhas presentes no solo (Guo e Sims 1999). Esta fração apresenta decomposição mais rápida do que as partes lenhosas que detêm maior quantidade de lignina em seus tecidos, (Anderson e Swift 1983) e ocorre de acordo com as características funcionais da planta, como resistência ao rasgo (força de tensão foliar) e área foliar específica, atributos que também podem controlar o tempo para se decompor (Gurvich *et al.* 2003).

Estudando uma floresta na Jamaica, observaram que quanto maiores os teores de elementos minerais, principalmente as concentrações de nitrogênio (N) e fósforo (P), as taxas de decomposição aumentavam (Tanner 1981, Edwards 1977) e podem variar quando a concentração desses elementos (N e P) nos tecidos foliares age em conjunto com a precipitação e lignina, esta última correlacionada negativamente com as taxas de decomposição (Wieder *et*

al. 2009). Em alguns casos, a concentração inicial de fósforo (P) e compostos fenólicos presentes em espécies vegetais determinaram uma correlação positiva com a velocidade da decomposição (Hoorens *et al.* 2003).

Portanto, as taxas de decomposição variam amplamente entre as espécies vegetais, dessa forma, a coexistência de diferentes espécies oferecem a ocorrência simultânea de distintas taxas de decomposição (Olson, 1963, Hoorens *et al.* 2003). As folhas com maior dureza, por exemplo e grandes quantidades de compostos estruturais e secundários terão decomposição mais lenta se comparadas à folhas com maior palatabilidade e quantidade nutricional (Moretti *et al.* 2007).

As flutuações climáticas que ocorrem entre os anos e as estações, principalmente a precipitação, podem induzir diferenças na perda de massa foliar, porém não é possível afirmar que a constante de decomposição (K) será sempre alta com a maior disponibilidade de água, podendo este fator intensificar, diminuir ou até inibir a decomposição (Alvarez-Sanches e Enríquez 1996, Schuur 2001, Wieder 2009).

O ambiente poderá afetar a decomposição por seu efeito na qualidade da serapilheira, uma vez que a fragmentação do ecossistema provoca mudanças no micro-clima, com a baixa umidade por exemplo, onde ocorre a retenção dos nutrientes pela imobilização por fungos e microorganismos que resulta no acúmulo da serapilheira, diminuindo a disponibilidade à vegetação (Palacios-Bianchi 2002).

As variações nas taxas de decomposição foram observadas também entre as estações seca e chuvosa, associadas à atividade da fauna decompositora do solo, quando, na estação chuvosa as condições ambientais e disponibilidade de recursos contribuem para a presença de organismos decompositores na camada do solo (Swift e Anderson, 1989). A interação ecológica entre a mesofauna e os detritos vegetais mostram que no período úmido, 50% dos invertebrados estão concentrados na camada de serapilheira, determinando assim, aumento das taxas de decomposição (Sayer e Tanner 2010, Trueba *et al.* 1999). Por outro lado, na estação seca ocorre o maior acúmulo da serapilheira pela diminuição das taxas de decomposição como resultado da

inibição da atividade dos organismos presentes no solo responsáveis pela decomposição da serapilheira (Sayer e Tanner 2010, Trueba *et al.* 1999).

As variações climáticas podem influenciar na liberação de compostos químicos presentes na serapilheira e por fim nas taxas de decomposição. A alta concentração de nitrogênio (N) das folhas em estágios iniciais de decomposição, por exemplo, pode ter um efeito estimulante na degradação da holocelulose não-lignificada, aumentando as taxas de decomposição. O manganês (Mn) por sua vez, através da ação da enzima manganês peroxidase (MnP) estimula a degradação da lignina e do tecido lignificado contribuindo nas fases posteriores da decomposição (Aber e Melillo, 1982; Berg e Ekbohm, 1991). A influência da temperatura e evapotranspiração nas concentrações de N e Mn presentes nos tecidos vegetais, pode influenciar os processos de decomposição, uma vez que a concentração de Nitrogênio aumenta e do Manganês diminui com o aumento da temperatura média anual e a evapotranspiração local (Berg 2014).

Um estudo que analisou folhas verdes, folhas de serapilheira e a taxa de decomposição de 818 espécies vegetais com 66 experimentos em seis continentes do planeta, observou que as características relacionadas às estratégias de fixação do carbono e crescimento produzem diferenças nas folhas encontradas em um mesmo ambiente, e concluíram que a composição foliar exerce maior influência nas taxas de decomposição das folhas senescentes do que as variações climáticas globais (Cornwell *et al.* 2008).

Outro fator de influencia nas taxas de decomposição da serapilheira é o tempo de meia-vida, onde foi observado que existe correlação negativa entre o tempo que a folha leva para perder 50% da sua massa e a taxa de decomposição. As folhas que apresentam menor tempo de meia vida investem menos em compostos de defesa decompondo mais rapidamente quando comparadas às folhas com maior tempo de meia vida, com maiores concentrações de

compostos como lignina e taninos que diminuem a palatabilidade e digestibilidade (Lambers *et al.* 1998).

Estudando a decomposição de folhas em floresta semi-decídua, Xuluc-Tolosa e colaboradores (2003) encontraram maiores taxas de decomposição em floresta secundária avançadas do que em florestas mais jovens, em uma floresta secundária espontânea no Rio de Janeiro os autores obtiveram maior decomposição nos locais onde as espécies apresentaram maior concentração de N e P do que na área de sucessão secundária (Lambers *et al.* 2006),

As espécies pioneiras costumam desenvolver-se em áreas com algum tipo de perturbação (Gomes 1998), facilitam o estabelecimento de espécies tardias. Apresentam baixos teores de lignina e compostos fenólicos quando comparadas à espécies de fases de sucessão avançada, maior relação C/N e maiores conteúdos de N, P, Ca, Mg e Na em relação à folhas de espécies secundárias tardia (Dickow 2010)

Por outro lado, em áreas mais preservadas o número de pioneiras diminui (Kondrat 2014). Tendo a presença de espécies pioneiras nativas colonizadoras de clareiras (*Alchornea sidifolia*), nativas de alta representatividade na floresta (*Cupania oblongifolia* e *Calyptranthes grandifolia*) e nativas que mostram comportamento dominante na floresta (*Euterpe edulis*) do PEFI, principalmente nas áreas mais preservadas (Gomes e Mantovani 1992, Gomes 1998, Gomes *et al.* 2002, Davison 2006, 2009, Kondrat 2014) buscamos entender a dinâmica de decomposição de folhas de espécies escolhidas pela representatividade na área de estudo, nas estações seca e chuvosa. As folhas são utilizadas para determinar a decomposição visto que representam uma parte substancial da produção total da serapilheira em termos de biomassa (Xuluc-Tolosa 2003).

2. Objetivos

O objetivo deste estudo foi aferir a taxa de decomposição (k) das folhas de quatro espécies vegetais em diferentes grupos sucessionais nas estações seca e úmida.

Desse modo, temos as seguintes hipóteses:

- A umidade e temperatura tendem a intensificar os processos de decomposição, influenciando nas taxas de perda de massa pela ação de organismos decompositores. Dessa forma, espera-se encontrar a maior perda de massa na estação quente e úmida.
- Espécies de diferentes grupos sucessionais apresentam diferentes taxas de decomposição entre as estações seca e úmida.

3. Material e Métodos

3.1. Área de estudo

A área de estudo está descrita do item 3.4 do capítulo I.

3.2. Procedimento de campo

O experimento foi realizado em dois períodos do ano: estação seca - março/2017 a julho/2017 e estação úmida – outubro/2017 a fevereiro/2018.

Foram selecionadas as espécies arbóreas mais representativas da vegetação do PEFI, com base nos estudos de Gomes e Mantovani (1992), Gomes (1998), Gomes e colaboradores (2002a, b) Davison (2006), Davison (2009), Kondrat (2014), Petri (2017). Foram coletadas folhas senescentes de: *Alchornea sidifolia* Mull. Arg. (Euphorbiaceae), espécie pioneira/secundária inicial, principal espécie colonizadora das clareiras no PEFI (Gomes e Mantovani 1992, Gomes 1998, Gomes et al. 2002, 2003, Davison 2009); *Cupania oblongifolia* Mart. (Sapindaceae), secundária inicial ou tardia (conforme o autor) e frequentemente amostrada por todo PEFI; *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae), secundária tardia de ocorrência expressiva e muitas vezes dominante no segundo extrato arbóreo da floresta, espécie que mais vem recrutando na área (census anuais, Gomes não publicado), e; *Calypttrantes grandifolia* O. Berg (Myrtaceae), correspondente ao estágio secundário tardio e a mais abundante na área de estudo (Kondrat 2014). Todas as folhas foram coletadas em semelhante estado de conservação para garantir a homogeneidade do material (Figura 3.1)

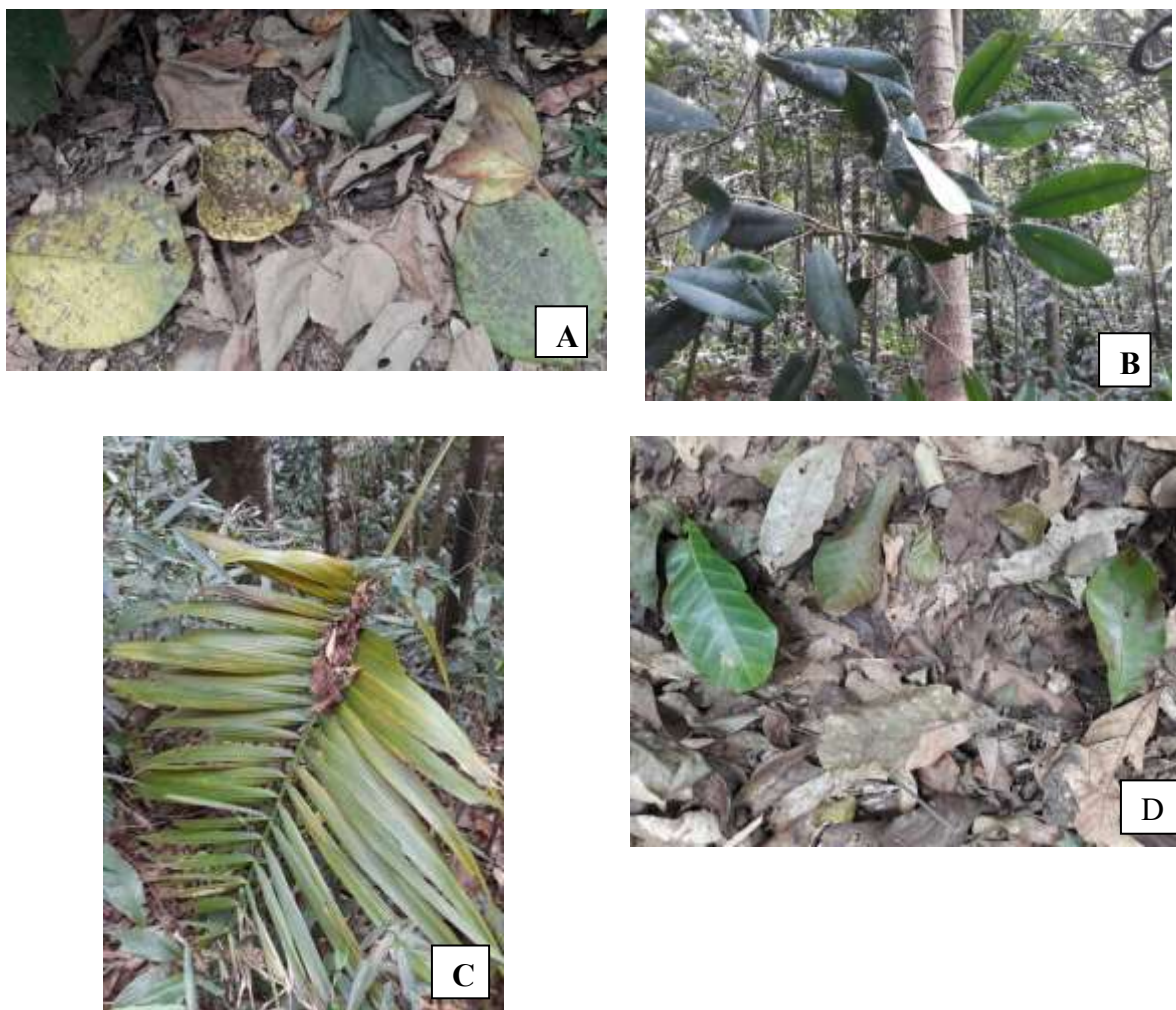


Figura 3.1 Espécies vegetais nativas da Mata Atlântica utilizadas no experimento: (A) *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., (B) *Calyptranthes grandifolia* O. Berg., (C) *Euterpe edulis* Mart. e (D) *Cupania oblongifolia* Mart. (Fotos: Cássia Bazi)

As folhas recém caídas, coletadas 20 dias antes de serem instaladas em campo, foram levadas para laboratório, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa a 60° C até que todas as amostras atingissem o peso constante, livre de umidade. Dez gramas de cada espécie foram acondicionadas em *litterbags*, confeccionados em tela de náilon com malha de 4 mm de abertura e dimensões de 20 x 20 cm. As coletas foram realizadas sistematicamente em intervalos de 30, 60, 90 e 120 dias. Foram confeccionados 160 *litterbags* (4 sps vs 4 datas vs 16 *litterbags*) e distribuídas ao longo da área de estudo (Figura 3.2).

Em cada coleta foram recolhidos 40 *litterbags*. Em campo foi retirado o excesso de raízes, solo, partículas animais e todo material preso às bolsas. O material foi acondicionado em sacos plásticos previamente identificados para evitar perda de partículas das folhas já quebradas. Em laboratório, foi transferido para sacos de papel identificados e levados à estufa a 60°C até obtenção do peso constante, pesados em balança semi-analítica (0,01gr) para obtenção da perda de massa ao longo do tempo.



Figura 3.2 Acima, área de estudo com esquema da disposição dos 16 litterbags (numeração de 1 a 4 em cinza) em cada um dos dez pontos de referência, totalizando 160 litterbags. Abaixo, disposição de uma repetição de litterbags em campo, com os quatro tipos de folhas (1) *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., (2) *Calypttrantes grandifolia* O. Berg., (3) *Euterpe edulis* Mart. e (4) *Cupania oblongifolia* Mart, na área do Instituto de Botânica, SP. (Foto: Cássia Bazi)

3.3. Análise de dados

O método de *litterbags* consiste numa forma de avaliação direta da decomposição por meio de medidas de perda de massa do material ao longo de um intervalo de tempo (Bocock e Gilbert 1957).

Os dados de massa remanescentes das folhas estocadas nos *litterbags* durante o período de 120 dias, foram ajustados ao modelo de decaimento exponencial:

$$M_t = M_o \cdot e^{kt}$$

onde: M_t = massa remanescente do detrito no tempo;

M_o = massa no tempo 0;

k = coeficiente de decaimento exponencial ou decomposição das espécies vegetais expressa pela massa remanescente *versus* o tempo em dias e

t = tempo em dias.

A partir desse modelo exponencial, foi obtido o valor da constante de decomposição (k) para cada período de estudo, que indica a velocidade de decomposição (Petersen e Cummins, 1974). Com base no coeficiente de decaimento diário, as folhas foram classificadas como: $k > 0,01$ = rápidas; $k = 0,05 - 0,001$ = média; $k < 0,005$ = lenta (Baerlocher 2005).

A partir do valor da constante de decomposição (k) foi estimado o tempo de meia vida do material ($t_{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para que metade do material contido nos *litterbags*, a partir do tempo zero se decomponha, por meio da equação (Shanks e Olson 1961):

$$T^{1/2} = -\ln(0,5)/k$$

Para verificar se os dados remanescentes de massa estavam normalmente distribuídos, foi aplicado o teste Shapiro-Wilk. A comparação da curva de decomposição foi realizada ao testarmos se a inclinação e interceptação das retas de regressão diferiam entre os períodos, modelo de regressão linear (teste T sobre o erro-padrão do modelo de regressão, Andrade e Estévez-Pérez 2014). Dessa forma foi possível comparar todo o processo de decomposição

entre as espécies nos período seco e úmido e não apenas o resultado final (120 dias), evitando-se que possíveis diferenças significativas não fossem detectadas.

4. Resultados

4.1. Taxas de Decomposição

No período úmido, aos 120 dias, a perda de massa para as folhas de *Euterpe edulis* foi ($k=0,0037$), seguida de *Cupania oblongifolia* ($k = 0,0034$), *Calypttrantes grandifolia* ($k=0,0027$) e de *Alchornea sidifolia* ($k=0,0024$). No período seco, aos 120 dias, a perda de massa para as folhas das espécies *Cupania oblongifolia* ($k=0,0026$), *Alchornea sidifolia* ($k=0,0025$), *Euterpe edulis* ($k=0,0022$) e de *Calypttrantes grandifolia* ($k=0,0018$). Os resultados do coeficiente de decomposição (k' e k) foram também relacionados em anos (Tabela 3.1) para fins de comparação com outros trabalhos.

As folhas de *Calypttrantes grandifolia*, *Euterpe edulis* e *Cupania oblongifolia* tiveram as menores perdas de massa no período seco, enquanto que *Alchornea sidifolia*, *Calypttrantes grandifolia*, *Euterpe edulis* e *Cupania oblongifolia* tiveram maior decomposição de suas folhas durante o período úmido (Tabela 3.2).

Embora a porcentagem de perda de massa tenha sido maior na estação úmida, as taxas instantâneas de decomposição (k) para as folhas das quatro espécies não diferiram significativamente entre as estações seca (Regressão Linear $F=0,010$, $p>0,05$) e úmida (Regressão Linear, $F=0,043$, $p>0,05$) (Figura 3.3).

Tabela 3.1 Coeficientes de decomposição k' e k de folhas das espécies *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., *Calypttrantes grandifolia* O. Berg., *Euterpe edulis* Mart. e *Cupania oblongifolia* Mart., durante o período seco (P.S.) e período úmido (P.U.), na área do Instituto de Botânica, SP.

Período de decomposição (anos)	K'	K'	K	K
	P.S.	P.U.	P.S.	P.U.
<i>Alchornea sidifolia</i>				
0,082	-0,06	-0,09	0,80	1,19
0,164	-0,15	-0,21	0,93	1,33
0,247	-0,19	-0,18	0,80	0,74
0,329	-0,3	-0,29	0,91	0,88
<i>Calypttrantes grandifolia</i>				
0,082	-0,09	-0,12	1,21	1,52
0,164	-0,17	-0,17	1,04	1,04
0,247	-0,16	-0,19	0,66	0,79
0,329	-0,22	-0,33	0,69	1,01
<i>Euterpe edulis</i>				
0,082	-0,12	-0,18	1,52	2,21
0,164	-0,23	-0,25	1,42	1,57
0,247	-0,24	-0,35	1,005	1,42
0,329	-0,27	-0,44	0,83	1,35
<i>Cupania oblongifolia</i>				
0,082	-0,18	-0,2	2,23	2,48
0,164	-0,25	-0,24	1,54	1,48
0,247	-0,22	-0,32	0,92	1,31
0,329	-0,31	-0,44	0,95	1,24

Não foram encontradas diferenças significativas na perda de massa das folhas das quatro espécies na estação seca: *Alchornea sidifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,471$, $p>0,05$); *Calypttrantes grandifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,486$, $p>0,05$); *Euterpe edulis* (Regressão Linear, $r^2=0,482$, $p>0,05$), e; *Cupania oblongifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,485$, $p>0,05$).

Não foram encontradas diferenças significativas na perda de massa das folhas das quatro espécies na estação úmida: *Alchornea sidifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,478$, $p>0,05$); *Calypttrantes grandifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,475$, $p>0,05$); *Euterpe edulis* (Regressão Linear, $r^2=0,478$, $p>0,05$), e; *Cupania oblongifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,473$, $p>0,05$).

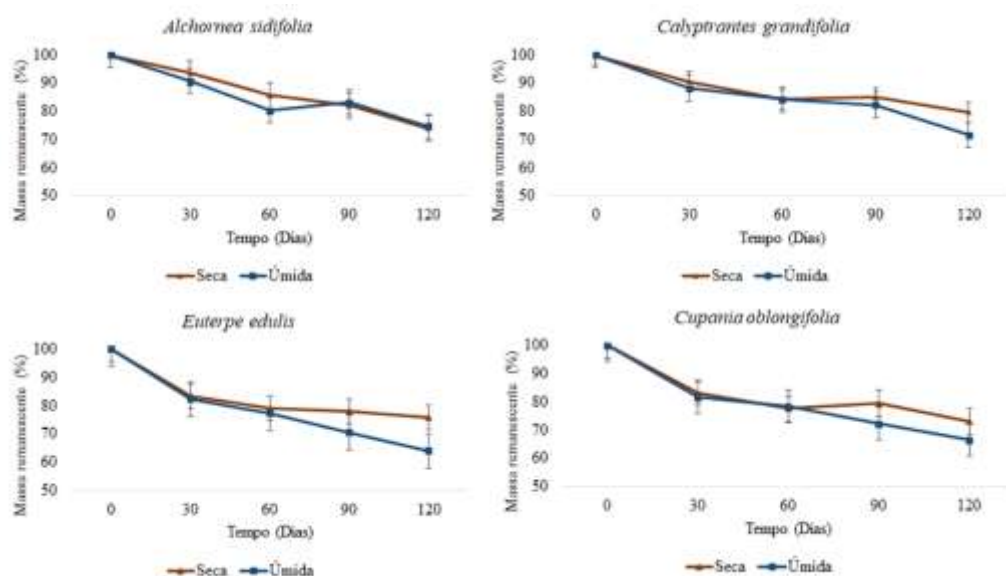


Figura 3.3 Massa remanescente das espécies vegetais *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., *Calytrantes grandifolia* O. Berg., *Euterpe edulis* Mart. e *Cupania oblongifolia* Mart. ao longo de 120 dias nas estações seca e úmida, na área do Instituto de Botânica, SP.

Não obtivemos diferenças significativas na perda de massa das folhas da espécie *Cupania oblongifolia* entre as estações seca e úmida (Regressão Linear, $r^2=0,485$ e 473 , $p>0,05$), *Calytrantes grandifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,486$ e 475 , $p>0,05$), *Alchornea sidifolia* (Regressão Linear, $r^2=0,481$ e 478 , $p>0,05$) e *Euterpe edulis* (Regressão Linear, $r^2=0,482$ e 478 , $p>0,05$).

Aos 120 dias de permanência do material no piso florestal, as folhas da espécies *Euterpe edulis* havia perdido 36% de material remanescente no período úmido, sendo a maior perda de massa entre as espécies e os períodos. As folhas da espécie *Cupania oblongifolia* teve perda de 34% no mesmo período e foi a segunda maior perda de massa no período úmido. Aos 120 dias as folhas da espécie *Calytrantes grandifolia* havia perdido 29% de massa no período úmido, seguida pela decomposição de 26% das folhas da espécie *Alchornea sidifolia* no mesmo período. As folhas das espécies *Alchornea sidifolia* e *Cupania oblongifolia*, haviam perdido 27% de massa no período seco, enquanto que *Euterpe edulis* teve redução de 24 % de massa foliar e *Calytrantes grandifolia* de 23% (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 Estoque inicial, média da perda de peso e porcentagem de folhas remanescentes das espécies *Alchornea sidifolia* Mull. Arg., *Calypttrantes grandifolia* O. Berg., *Euterpe edulis* Mart. e *Cupania oblongifolia* Mart, $\pm$ erro padrão durante os períodos seco e aos 30, 60 90 e 120 dias na área do Instituto de Botânica, SP.

Período de Decomposição (Dias)		Peso Seco (Gramas) e % de massa remanecente		
<i>Alchornea sidifolia</i>				
	Período Seco		Período Úmido	
0	10000	100%	10000	100%
30	9360±135	93%	9070±137	90%
60	8572±212	85%	8030±363	80%
90	8205±310	82%	8317±161	83%
120	7395±252	73%	7466±265	74%
<i>Calypttrantes grandifolia</i>				
	Período Seco		Período Úmido	
0	10000	100%	10000	100%
30	9052±127	90%	8824±74	88%
60	8422±205	84%	8420±143	84%
90	8487±115	84%	8225±226	82%
120	7967±58	79%	7155±130	71%
<i>Euterpe edulis</i>				
	Período Seco		Período Úmido	
0	10000	100%	10000	100%
30	8821±145	88%	8336±164	83%
60	7911±153	79%	7718±99	77%
90	7800±141	78%	7037±146	70%
120	7595±161	76%	6400±343	64%
<i>Cupania oblongifolia</i>				
	Período Seco		Período Úmido	
0	10000	100%	10000	100%
30	8326±80	83%	8154±124	82%
60	7756±143	78%	7840±214	78%
90	7961±165	80%	7226±245	72%
120	7304±191	73%	6645±143	66%

4.2. Correlação com variáveis climáticas

A perda de massa de folhas durante o período seco das espécies *Alchornea sidifolia* (Regressão múltipla, $t=-0,10$, $p>0,05$), *Calypttrantes grandifolia* (Regressão Múltipla, $t=-0,66$, $p>0,05$), *Euterpe edulis* (Regressão Múltipla, $t=1,41$, $p>0,05$) e *Cupania oblongifolia* (Regressão Múltipla, $t=-1,48$, $p>0,05$) não apresentaram correlação significativa com a precipitação, com total de 485 mm durante o período de estudo (Tabela 3.3).

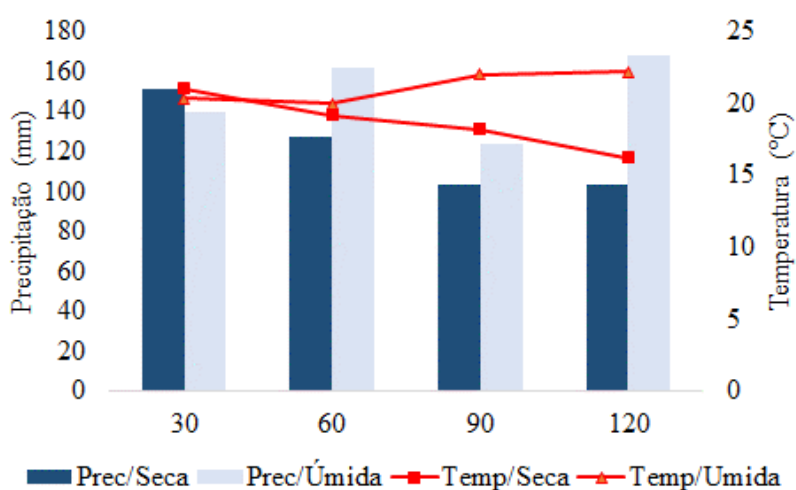


Figura 3.4 Valores mensais de precipitação (mm) e temperatura (°C aos 30, 60, 90 e 120 dias (Março/2017 a Julho/2017) no período seco e (Outubro/2017 a Fevereiro/2018) no período úmido, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga.

Apenas a temperatura influenciou significativamente no decaimento de massa das folhas das espécies *Alchornea sidifolia* (Regressão Múltipla, $t=2,41$, $p<0,05$), *Calypttrantes grandifolia* (Regressão múltipla, $t=2,66$, $p<0,05$) e *Cupania oblongifolia* (Regressão Múltipla, $t=3,08$, $p<0,01$) durante a estação seca, período em que obtivemos 18,5°C. No experimento relacionado à estação úmida, a perda de massa de folhas das espécies *Alchornea sidifolia* (Regressão Múltipla, $t=-3,43$, $p<0,01$), *Calypttrantes grandifolia* (Regressão Múltipla, $t=-5,27$, $p<0,001$), *Euterpe edulis* (Regressão Múltipla, $t=-2,91$, $p<0,01$) e *Cupania oblongifolia* (Regressão Múltipla, $t=-2,51$, $p<0,05$) apresentaram correlação significativa com a

precipitação do período, com total de 593mm, observando que, salvo o mês de novembro que apresentou 46% de chuvas acima da média climatológica, os meses do período úmido foram relativamente secos e com umidade relativa abaixo de 40%, chegando a atingir 10 dias com esta característica (média mensal de 6 dias). As espécies *Alchornea sidifolia* (Regressão Múltipla, $t=-3,01$, $p<0,01$), *Calyptranthes grandifolia* (Regressão Múltipla, $t=-6,74$, $p<0,01$), *Euterpe edulis* (Regressão Múltipla, $t=-6,45$, $p<0,001$) e *Cupania oblongifolia* (Regressão Múltipla, $t=-5,98$, $p<0,001$) tiveram a perda de massa significativamente correlacionadas com a temperatura durante o período úmido, com média de 21°C durante o período (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Variáveis climáticas temperatura (°C) e precipitação (mm) nos experimentos do período seco (março a junho/2017) e período úmido (nov/2017 a fevereiro/2018), na área do Instituto de Botânica, SP.

Período seco		
Dias	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
30	21	151
60	19	127
90	18	104
120	16	103
Média	18,5	(Σ) 485
Período úmido		
Dias	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
30	20	139
60	20	162
90	22	124
120	22	168
Média	21	(Σ) 593

4.3. Tempo de Meia-Vida

Para o tempo de meia vida ($T^{1/2}$) das quatro espécies vegetais estudadas nos dois períodos, observamos que a espécie *Calyptrantes grandifolia* mostrou-se mais resistente à decomposição no período seco, apresentando um $T^{1/2}$ maior que as demais, em torno de 366 dias e 248 dias para perda de 50% de massa foliar no período úmido. De modo geral, foram observados longos períodos de meia vida para as quatro espécies nos dois períodos. *Alchornea sidifolia* leva em torno de 275 dias e 284 dias para perda de 50% de massa foliar no período seco e úmido, respectivamente. Durante o período úmido a espécie *Euterpe edulis* apresentou o menor tempo de meia vida em relação às demais espécies com 186 dias para perda de 50% da massa foliar na estação úmida e 302 dias na estação seca. Cabe ressaltar que o tempo de meia vida para as quatro espécies vegetais foi maior no primeiro período de estudo caracterizado por meses com baixa umidade relativa do ar, apesar de apresentar índice pluviométrico, em alguns meses, maior que a média climatológica. Para a espécie *Cupania oblongifolia* observou-se o menor tempo para perda de 50% do material foliar na estação úmida, de 203 dias e 264 dias na estação seca.

Tabela 3.4. Razão instantânea de decomposição (K), e tempo ($t^{1/2}$) para desaparecimento de 50% do material foliar das espécies selecionadas na área do Instituto de Botânica, SP.

Período de Decomposição (dias)	Espécie	K	$t^{1/2}$	K	$t^{1/2}$
		Período seco	(dias)	Período úmido	(dias)
120	<i>Alchornea sidifolia</i>	0,0025	275	0,0024	284
120	<i>Calyptantes grandifolia</i>	0,0018	366	0,0027	248
120	<i>Euterpe edulis</i>	0,0022	302	0,0037	186
120	<i>Cupania oblongifolia</i>	0,0026	264	0,0034	203

5. Discussão

A decomposição das folhas das espécies *Alchornea sidifolia*, *Calyptantes grandifolia*, *Euterpe edulis* e *Cupania oblongifolia*, pertencentes a diferentes grupos sucessionais, não apresentaram diferenças significativas nas perdas de massa ao longo do tempo. Não foram observadas diferenças significativas no processo de decomposição das folhas entre as estações úmida e seca, uma vez que a temperatura e precipitação foram semelhantes nestes períodos. Porém, no período úmido obtivemos diferença de 10% entre a espécie de maior (*Euterpe edulis*) e menor (*Alchornea sidifolia*) decomposição em apenas quatro meses. No período seco a diferença é menor indicando efeitos mais fortes da qualidade do substrato em condições climáticas favoráveis. O resultado obtido estar associado à estabilização do ambiente de decomposição, ou seja, um efeito combinado entre as condições microclimáticas e as atividades dos organismos decompositores (Vendrami *et al.* 2012). Por outro lado, um período de tempo maior dos *litterbags* no piso florestal poderia resultar em dados diferentes, uma vez que para três das quatro espécies a decomposição na estação úmida foi maior.

As constantes de decomposição (k) encontradas neste trabalho estão de acordo com o trabalho de Paula e colaboradores (2009), que obtiveram os valores de $k=0,0028$ e $k=0,0032$, com perda de metade do material em 247 e 217 dias, respectivamente e as maiores perdas de

massa no período úmido, quando o material encontra-se mais palatável aos decompositores (Sayer *et al.* 2006). Os valores (k) entre 0,69 e 0,95 (Tabela 3.1), obtidos com a decomposição das folhas, estão muito próximos aos encontrados por Scheer (2007), que obteve valores (k) entre 0,68 e 0,95 no trabalho com folhas de texturas coriáceas, as quais apresentam maior dificuldade de umedecimento e são de difícil decomposição. Em zona ripária, com espécies típicas de Floresta Estacional Semidecídua, por exemplo, observaram rápida decomposição da serapilheira acumulada e reaproveitamento dos nutrientes pela vegetação, sendo necessários 150 dias para perda de 50% de massa e 639 para perda de 95% do material vegetal (Vital *et al.* 2004).

A perda de material nos primeiros meses em campo é observada por vários autores que atribuem o processo à alta concentração de nutrientes nos estágios iniciais em campo e principalmente durante períodos quente e úmido (Scheer 2007, Alvarez-Sánchez e Becerra 1996). Foi obtida, por exemplo, 50% de perda de massa em 90 dias da serapilheira acumulada, em solo fértil, e diminuição da decomposição em solo afetado por pastagens, porém com maior decomposição nos primeiros meses em campo (Lorenzo *et al.* 2014).

Das folhas das espécies selecionadas no PEFI, três delas apresentaram taxas de decomposição maiores na estação úmida, sendo necessários de 186 a 248 dias para decomposição de 50% da massa foliar. As perdas de massa ocorrem mais rapidamente em condições de umidade e temperatura, favorecidas pela atividade dos organismos decompositores e artrópodes (Sayer *et al.* 2006), que removem a serapilheira estimulando assim o crescimento de raízes nos tecidos do material em decomposição (Luizão e Schubart 1987).

Os resultados obtidos com a decomposição das folhas das espécies secundárias tardias (*Euterpe edulis* e *Calypttrantes grandifolia*) na estação seca, com cerca um ano para perda de 50% da massa foliar indica um material mais resistente à decomposição, neste período especificamente, (Paula *et al.* 2009) considerando que a taxa decomposição das folhas de *Euterpe edulis* foi a mais alta dentre as demais durante a estação úmida. A serapilheira originada

por espécies de grupo sucessional inicial, geralmente decompõem mais rapidamente por conter alto teor de nitrogênio e também quando submetidas à condições de maior precipitação (Xuluc-Tolosa *et al.* 2003).

Durante a estação seca, a decomposição foi mais lenta para três das quatro espécies de folhas avaliadas. Alguns trabalhos mostram um período de tempo superior a um ano (457 dias) para perda de 50% do material foliar em floresta com estação seca definida (Aidar e Joly 2003). Estes resultados podem estar associados às condições ambientais, quando na estação seca, ocorre o maior acúmulo da serapilheira pela diminuição das taxas de decomposição como resultado da inibição da atividade dos organismos decompositores (Trueba *et al* 1999, Swift e Anderson, 1989).

Considerando que para todas as folhas a constante de decomposição (K) foi $<0,005$, conforme Baerlocher (2005) com base no decaimento diário, aos 120 dias de permanência em campo, o processo de decomposição na floresta do PEFI pode ser classificado como lento.

A perda de massa de folhas das espécies variou entre 21% e 37% no período seco e 26% e 36% no período úmido apresentando baixa amplitude entre alguns dos valores obtidos e nenhuma das folhas das espécies estudadas atingiu 50% de perda de massa durante os dois períodos em campo. Em floresta tropical na Costa Rica, por exemplo, foi observada rápida perda de massa para todas as espécies analisadas, com perdas que variaram de 85% em menos de 200 dias, para menos de 50% em mais do que 230 dias (Wieder *et al.* 2009). A alta variação entre as espécies esteve positivamente correlacionada com a precipitação e associada à solubilidade inicial da concentração de lignina e fosforo (Wieder *et al.* 2009). Geralmente a perda de massa divide-se em duas fases, com perda inicial rápida atribuída aos componentes mais solúveis como açúcares e proteínas e posteriormente à quebra dos componentes mais recalcitrantes como a celulose e lignina (Xu *et al.* 2004).

Em 23 florestas tropicais analisadas por Powers e colaboradores (2009), obtiveram mais de 95% de perda de massa em um ano na maioria das áreas, e estiveram correlacionadas

positivamente com a precipitação anual. Por outro lado, excluindo-se a mesofauna houve redução pela metade das taxas de decomposição sugerindo que a comunidade decompositora desempenha um papel de maior relevância que o clima (Powers *et al.* 2009).

As altas perdas de massa no início do experimento foram frequentemente observadas em florestas tropicais. Analisando cinco espécies representativas da área de estudo em floresta tropical no México, obtiveram perda de massa entre 45% e 95% nos três primeiros meses na estação úmida, sendo que ao final de um ano todas as espécies haviam perdido ao menos 73% de massa (Alvarez-Sánchez e Enríquez 1996). Resultado similar ao encontrado por Powers e colaboradores (2009) em que obtiveram 95% de perda de massa logo no primeiro ano de experimento.

As folhas de *Alchornea sidifolia*, aos 90 dias de coleta, mostraram aumento no peso do material por conta de solo aderido às partes vegetais, o que não foi possível remover pela perda de material.

As correlações positivas com a temperatura na perda de massa das quatro folhas analisadas, sugere que esta variável pode ter sido o fator climático de maior impacto na perda de massa nos dois períodos. Consideramos que o efeito combinado entre precipitação e temperatura tenha colaborado para obtenção das maiores porcentagens de perda de massa no período úmido. É comum observar a rápida perda de massa de até 70% em 30 dias, atribuída às condições climáticas favoráveis dos trópicos, principalmente temperatura e umidade (Vendrami *et al.* 2012).

Conclusão Geral

A produção média anual da serapilheira na floresta do PEFI mantém-se constante. Ao longo dos seis anos de estudo, avaliando a dinâmica de produção e acúmulo da serapilheira, relacionados às variáveis climáticas, podemos observar que apesar dos tensores ambientais a que vem sofrendo, o fragmento não se encontra alterado, com relação a este aspecto.

A produção da serapilheira e suas frações foram constantes ao longo do ano, apenas a fração flores não apresentou produção nos meses de fevereiro/2013, 2016 e 2017, março e abril/2018, e outubro/2015 e 2016. A produção de folhas foi o maior componente total da serapilheira, evidenciando a sua importância na manutenção da umidade do solo e acúmulo de matéria orgânica.

A queda da serapilheira apresentou padrão sazonal com maior produção no período úmido e quente e menor produção nos meses mais frios e secos. Padrão encontrado para grande parte das Florestas Tropicais Úmidas.

A maior produção de folhas ocorre geralmente entre setembro e o início de março, na estação mais úmida e quente do ano e a produção de galhos oscila ao longo dos anos com picos entre setembro e janeiro, muitas vezes associada à fortes rajadas de ventos. A produção de frutos e sementes oscila ao longo do ano mas podemos observar alguns picos em setembro, aumentando em novembro e dezembro na estação quente e úmida.

A temperatura foi correlacionada positivamente com todas as frações podendo ser considerada uma variável importante na dinâmica da serapilheira,

A serapilheira acumulada não mostrou padrão sazonal, porém o maior acúmulo ocorreu na estação úmida. A constante de decomposição foi alta, indicando alta produção e rápida decomposição com renovação do material em menos de um ano.

Os efeitos de eventos climáticos excepcionais provocando períodos de seca extrema e altas temperaturas podem ter colaborado para períodos de produção atípicos durante os anos de estudo, evidenciando a necessidade de um acompanhamento para as questões relacionadas às mudanças climáticas globais e locais.

O delineamento amostral e a escolha das variáveis preditivas podem ter sido adequados para indicar o impacto do pisoteio sobre o acúmulo da serapilheira na área considerada em melhor estado de conservação do PEFI, porém são necessários mais tempo de coleta após o desvio de pessoas na entrada da trilha para validamos esta premissa.

Os impactos das visitas à área de estudo podem ser observados no solo, que sofreu exposição principalmente no início da trilha, onde o tráfego de pesquisadores e alunos é mais intenso, porém, pode ser observada a exposição do solo em alguns trechos no interior da floresta.

A decomposição de folhas de espécies de diferentes grupos sucessionais não apresentaram diferenças significativas na perda de massa entre as estações seca e úmida como também não obtivemos diferenças significativas de perda de massa entre as espécies nos períodos analisados. Resultados que sugerem ser necessário maior tempo do material em campo, uma vez que três das quatro espécies analisadas tiveram a maior perda de massa na estação úmida.

Os resultados obtidos com o estudo de longo prazo dos compartimentos da vegetação foram de grande importância para o conhecimento da dinâmica de produção e decomposição da serapilheira na floresta do PEFI, ao menos no trecho estudado, como também para posteriores definições de ações de manejo que possam ser aplicadas em áreas de restauração ecológica e Unidades de Conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aber, J.D., Melillo, J.M. & McClaugherty, C. A.** 1990. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany*, 68: 2201-2208.
- Aidar, M.P. & Joly, C.A.** 2003. Dinâmica da produção e decomposição da serapilheira do araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth.-Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, São Paulo. *Brazilian Journal of Botany*, 26: 192-202.
- Alvarez-Sanchez, J. & Enriquez, R.B.** 1996. Leaf decomposition in a Mexican Tropical rain forest. *Biotropica*, pp. 657-667.
- Anderson, J.M. & Swift, M.J.** 1983. Decomposition in tropical forest. In: Sutton, S.L., Whitmore, T.C., Chadwick, A.C. (Eds.). *Tropical Rain Forest*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 287-309.
- Andrade, J.M. & M.G. Estévez-Pérez.** 2014. Statistical comparison of the slopes of two regression lines: A tutorial. *Analytica Chimica Acta* 838, 1: 1-12.
- Arato Dias, H., Martins Venâncio, S. & Ferrari Souza, S.H.D.** 2003. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*, 27: 715-721.
- Araújo, J.D. & Haridasan, M.** 2007. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 533-542.
- Backes, A., Prates, F. L. & Viola, M. G.** 2005. Produção de serapilheira em floresta ombrófila mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Bot. Bras*, 19:155-160.
- Barbosa, L.M., Potomati, A. & Peccinini, A.A .** 2002. O PEFI: histórico e legislação. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Org.) *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga:*

- unidade de Conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, pp. 15-28.
- Bäerlocher, F.** 2005. Leaf Mass Loss Estimated by Litter Bag Technique. In: Graça, M.A.S., Bäerlocher, F. and Gessner, M.O., Eds., *Methods to Study Litter Decomposition, a Practical Guide*, Springer, Dordrecht, pp. 37-42.
- Barreto, E. & Catharino, E.L.M.** 2015. Florestas maduras da região metropolitana de São Paulo: diversidade, composição arbórea e variação florística ao longo de um gradiente litoral-interior, Estado de São Paulo, Brasil. *Hoehnea*, 42: 445-469.
- Barros, F., Mamede, M.C.H., Melo, M.M.R.F., Lopes, E.A., Juang-Mendaçolli, S.L., Kirizawa, M., Muniz, C.F.S., Makiko-Watanabe, H., Chiea, S.A.C. & Sant'Anna, T.** 2002. A flora fanerogâmica do PEFI: composição, afinidades e conservação. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo*, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp. 93-110.
- Bazi, C. A. & Gomes, E. P. C.** 2014. Produção de serapilheira em um fragmento urbano de Mata Atlântica. In: *Reunião Anual do Instituto de Botânica, 2014, São Paulo. Anais da 21ª Reunião Anual do Instituto de Botânica*. São Paulo: Instituto de Botânica, pp. 59-69.
- Bazi, C. A. & Gomes, E. P. C.** 2015. Produção de serapilheira no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – PEFI (2014 – 2015). In: *22ª Reunião do Instituto de Botânica, São Paulo*.
- Bazi, C.A. & Gomes, E.P.C.** 2016. Produção de serapilheira no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – PEFI (2015 – 2016). In: *23ª Reunião do Instituto de Botânica, São Paulo*.
- Becker, J., Pabst, H., Mnyonga, J., & Kuzyakov, Y.** 2015. Annual litterfall dynamics and nutrient deposition depending on elevation and land use at Mt. Kilimanjaro. *Biogeosciences*, 12: 5635-5646.
- Belnap, J.** 1998. Choosing indicators of natural resource condition: A case study in Arches National Park, Utah, USA. *Environmental Management*, 2: 635-642.

- Benfield, E.F.** 1997. Comparison of litterfall input to streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 16: 104-108.
- Berg, B.** 2014. Decomposition patterns for foliar litter—a theory for influencing factors. *Soil Biology and Biochemistry*, 78: 222-232.
- Berg, B. & Ekbohm, G.** 1991. Litter mass-loss rates and decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scots pine forest. VII. *Canadian Journal of Botany*, 69: 1449-1456.
- Berg, B., & McClaugherty, C.** 2013. Decomposition as a Process: Some Main Features. *Plant Litter*, p. 11-34.
- Bocock, K.L. & Gilbert, O.J.W.** 1957. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant and Soil*, 9: 179-185.
- Biasoli, S.M., Gomes, E.P.C.** 2017. Acompanhamento fenológico de espécies ameaçadas de extinção no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – PEFI - (2016-2017). In: *Resumos do VII Simpósio de Restauração Ecológica*, Instituto de Botânica, São Paulo, 2017. 1: 129-129.
- Boucher, D.H., Aviles, J., Chepote, R., Gil, O.E.D. & Vilchez, B.** 1991. Recovery of trailsides vegetation from trampling in a tropical rain forest. *Environmental Management* 15: 257-262
- Caldeira, M.V.W., Vitorino, M.D., Schaadt, S.S., Moraes, E. & Balbinot, R.** 2008. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. *Semina: Ciências Agrárias*, 29: 53-68.
- Camargo, R. (Coord.).** 2017. Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG-USP – Seção Técnica do Serviço Meteorológico, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 20: 1-77.

- Campos, R.F. & Filetto, F.** 2011. Análise do perfil, da percepção ambiental e da qualidade da experiência dos visitantes da Serra do Cipó (MG). *Revista Brasileira de Ecoturismo* 4: 69-94
- Catharino, E.L.M. & Aragaki, S.** 2006. A vegetação do município de São Paulo: de Piratininga à metrópole paulistana. In: Malagoli, L. R.; Bajesteiro, F. B.; Whately, M. (orgs.). *Além do concreto: contribuições para a proteção da biodiversidade paulistana*. São Paulo: Instituto Socioambiental, pp. 54-91.
- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L.E., Bonal, D. & Jiménez, E.** 2010. Regional and temporal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences Discussions*, 6.
- Chazdon, R.L.** 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6: 51-71.
- Cianciaruso, M.V., Pires, J.S.R., Delitti, W.B.C. & Silva, E.F.L.P.** 2006. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 20: 49-59.
- Cole, D.N.** 1978. Estimating the susceptibility of wildland vegetation to trailsides alteration. *Journal of Applied Ecology*, pp. 281-286.
- Cole, D.N. & Bayfield, N.G.** 1993. Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures. *Biological conservation*, 63: 209-215.
- Cole, D.N. & Landres, P.B.** 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. *Ecological applications*, 6: 168-184.
- Cole, D.N., & Monz, C.A.** 2002. Trampling disturbance of high-elevation vegetation, Wind River Mountains, Wyoming, USA. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 34: 365-376.

- Comita, L.S. & Goldsmith, G.R.** 2008. Impact of research trails on seedling dynamics in a tropical forest. *Biotropica* 40: 251-254.
- Cornwell, W.K., et al.** 2008. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters*, 11:1065-1071.
- Cuevas, E.** 1995. Biology of the belowground system of tropical dry forest. In: Bullock, S.H., Mooney, H.A., Medina, E. (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press, Cambridge, 450 p.
- Cunha, G.D., Grendene, L.A., Durlo, M.A. & Bressan, D.A.** 1993. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. *Ciência florestal*, 3: 35-64.
- Cunha, G.C.D. & Poggiani, F.** 1997. Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma Floresta Estacional do Rio Grande do Sul.
- da Silva, W.B., Périco, E., Dalzochio, M.S., Santos, M. & Cajaiba, R.L.** 2018. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. *Forest ecology and management*, 429: 189-197.
- Davison, C.P.** 2006. Estrutura e composição da vegetação de sub-bosque em dois trechos de floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo – SP. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Presbiteriana Mackenzie.
- Davison, C.P.** 2009. Estrutura de clareiras e a presença de bambus em um fragmento de Floresta Atlântica, SP, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo, 97p.
- de Souza, P.A., Venturin, N., Griffith, J. J. & Martins, S.V.** 2006. Avaliação do banco de sementes contido na serapilheira de um fragmento florestal visando recuperação de áreas degradadas. *Cerne*, 12: 56-57.

- De Vuono, Y.S., Lopes, M.I.M.S. & Domingos, M.** 1988 . Alterações provocadas pela poluição atmosférica na fertilidade do solo da Reserva Biológica do Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil, *Revista Brasileira de Botânica* 11: 95-100
- Dean, W.** 1997. With Broadax and Firebrand: The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest. University of California Press, Berkeley, 484 p.
- Deliti, W.B.C.** 1984. Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na Mata Ciliar, no Campo Cerrado e no Floresta implantada de *Pinus elliotti* Engelm. Var. *elliotti* (Mogi-Guaçu). Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Dickow, K.M.C.** 2010. Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- Dislich, R., Cersósimo, L. & Mantovani, W.** 2001. Análise da estrutura de fragmentos florestais no Planalto Paulistano-SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 24: 321-332.
- Didham, R.K.** 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia*, 116: 397-406.
- Florit, V.T. & Gomes, E.P.C.** 2018. Estimativa da fitomassa epigéia de um trecho de floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo. In: 25^a Reunião Anual do Instituto de Botânica, São Paulo.
- Figueiredo, M. do Amaral, de Assis Brito, Í., de Santana, W. A. & Rocha, C. T. V.** 2010. compactação do solo em trilhas de unidades de conservação (soil compaction in trails of conservation units). *Mercator*, 9: 165-174.
- Domingos, M., Lopes, M.I.M.S. & De Vuono, Y. S.** 2000. Nutrient cycling disturbance in Atlantic Forest affected by air pollution coming from the industrial complexo of Cubatão, Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 23: 77-85.

- Domingos, M., Moraes, R.M., De Vuono, Y.S. & Anselmo, C.E.** 1997. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes em um trecho de Mata Atlântica secundária, na Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 20:91-96.
- Domingos, M., Poggiani, F., De Vuono, Y.S. & Lopes, M.I.M.S.** 1990. Produção de serapilheira na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Hoehnea* 171: 47-58.
- Dos Santos, B. L., Figueiredo, M. A., Campos, A. C., Barbosa, H. S. L. & Teixeira, P. H. S.** 2016 . Estudo do pisoteio experimental na vegetação de borda de trilhas como suporte ao planejamento de atividades geoturísticas nas serras de São José e do Lenheiro, região de São João Del-Rei, MG. In: XVIII Encontro Nacional de Geografos, são Luis, MA.
- Edwards, P.J.** 1977. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. II. The production and disappearance of litter. *Journal of Ecology*, 65: 971-992.
- Eisenlohr, P.V., Melo, M.M.F. & Silva, A.V.** 2009. Trilhas afetam comunidades arbóreas florestais? Dois levantamentos na Floresta Atlântica do sudeste brasileiro. *Hoehnea* 36: 293-302.
- Eisenlohr, P.V., Melo, M.M.F., Silva, M.R., Schmal, P., Ferreira-Junior, W.G., Dias, A.S. & Silva, A.F.** 2011. Floristic variation in a woody plat community along a trail in a Semideciduous Seasonal Forest, Viçosa, Minas Gerais State, Brazil, *Hoehnea* 38: 61-71.
- Eisenlohr, P.V., Meyer, L., Miranda, P.L.S., Rezende, V.L., Sarmento, C.D., Mota, T.J.R.C. & Melo, M.M.F.** 2013. Trilhas e seu papel ecológico: o que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas. *Hoehnea* 40: 407-418.
- Facelli, J.M. & Pickett, S.T.** 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The botanical review*, 57: 1-32.
- Feng, C., Wang, Z., Ma, Y., Fu, S. & Chen, H.Y.** 2019. Increased litterfall contributes to carbon and nitrogen accumulation following cessation of anthropogenic disturbances in degraded forests. *Forest Ecology and Management* 432: 832-839.

- Fernandes, A.J.; Reis, L.A.M. & Carvalho, A.** 2002. Caracterização do meio físico. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Org.): Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: Unidade de Conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp. 49-62.
- Figueiredo-Filho, A.; Moraes, G.F.; Schaaf, L.B. & Figueiredo, D.J.** 2003. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no Sul do Estado do Paraná. *Ciência Florestal* 13:11-18.
- Gentry, A.H.** 1982. Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology* 15:1-84 apud Phillips, O. L e Miller, J. S. 2002. Global patterns of plant diversity: Alwyn H. Gentry's forest transect data set. Missouri Botanical Garden Press, Saint Louis. 319p.
- Gessner, M.O., Swan, C.M., Dang, C.K., McKie, B.G., Bardgett, R.D., Wall, D.H. & Hättenschwiler, S.** 2010. Diversity meets decomposition. *Trends in ecology e evolution*, 25: 372-380.
- Gilman, L.N., Wright, S.D. & Ogden, J.** 2003. Response of forest of tree seedlings to simulate litterfall damage. *Plant Ecology* 169: 53-60.
- Goldsmith, G.R., Comita, L. S., Morefield, L.L., Condit, R. & Hubbell, S.P.** 2006. Long-term research impacts on seedling community structure and composition in a permanent forest plot. *Forest Ecology and Management* 234: 34-39.
- Gomes, E.P.C., Kageyama, P.Y. & Mantovani, W.** 2002. Dinâmica da floresta no PEFI. In: Bicudo, D. C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Orgs.) Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: Unidade de Conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estados de São Paulo, pp.111-132.
- Gomes, E.P.C., Mantovani, W. & Kageyama, P.Y.** 2003. Mortality and recruitment of trees in a secondary montane rain forest in southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63: 47-60.

- Gomes, E.P.C.** 1992. Fitossociologia do componente arbóreo de um trecho de Mata em São Paulo, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo
- Gomes, E.P.C.** 1998. Dinâmica do componente arbóreo de um trecho de mata em São Paulo, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 285p.
- Gomes, E.P.C. & Mantovani, W.** 2001. Size structure in a warm temperate forest tree population in São Paulo, SP, Southeastern Brasil. *Naturalia*, São José do Rio Preto, Rio Claro, 26: 131-158.
- Gooley, F.B.; McGuinnis, J.T.; Clements, R. G.; Child, G.I. & Duever, M.J.** 1975. Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. University of Georgia Press, Athens, 248p.
- Guariguata, M.R. & Ostertag, R.** 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148: 185-206.
- Guo, L.B. & Sims, R.E.H.** 1999. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. *Agriculture, ecosystems & environment*, 75: 133-140.
- Gurvich, D.E., Easdale, T. A. & Pérez-Harguindeguy, N.** 2003. Subtropical montane tree litter decomposition: Links with secondary forest types and species' shade tolerance. *Austral ecology*, 28: 666-673.
- Haase, R.** 1999. Litterfall and nutrient return in seasonally flooded and non-flooded forest of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 129-147.
- Hirai, R.Y., Gissi, D.S. & Prado, J.** 2016. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Brasil. *Pteridophyta*: 22. Thelypteridaceae e lista atualizada dos táxos. *Hoehnea* 43:39-56.

- Hirata, J., Melo, M. & Eisenlohr, P.** 2010. Padrões florísticos do componente arbóreo sob interferência de trilhas de um trecho de Floresta Ombrófila Densa de Transição em São Paulo, SP. Brasil. *Hoehnea* 37: 555-570.
- Hobbie, S.E. & Vitousek, P.M.** 2000. Nutrient limitation of decomposition in Hawaiian forests. *Ecology*, 81: 1867-1877.
- Hoorens, B., Aerts, R. & Stroetenga, M.** 2003. Does initial litter chemistry explain litter mixture effects on decomposition? *Oecologia*, 4: 578-586.
- Hueck, K.** 1956. Mapa fitogeográfico do Estado de São Paulo. *Bol. Paul. Geogr.* 22:19-25
- Knobel, M.G.** 1995. Aspectos da regeneração natural do componente arbóreo-arbustivo de trecho da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica em São Paulo, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 128p.
- Kondrat, H.** 2014. Dinâmica da Comunidade Vegetal de Remanescente de Mata Atlântica na Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Vegetal, Instituto de Botânica, São Paulo, 81p.
- Lambers, H., Chapim, F.S. & Pons, T.L.** 1998. Role in Ecosystem and Global Processes. In: *Plant Physiological Ecology*. Springer, New York, pp. 495-517.
- Lebret, M., Nys, C. & Forgeard, F.** 2001. Litter production in an Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) time sequence. *Annals of forest science*, 58: 755-768.
- Leitão Filho, H.F (coord.).**1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista; Campinas, SP: Editora da Universidade de Campinas, 184p.
- Leung, Y.F. & Marion, J.L.** 1996. Trail degradation as influenced by environmental factors: A state-of-the-knowledge review. *Journal of soil and water conservation*, 5:130-136.

- Liddle, M.J.** 1975. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. *Biological Conservation*, 7:17-36.
- Lodhiyal, N. & Lodhiyal, L.S.** 2003. Biomass and net primary productivity of Bhabar Shisham forests in central Himalaya, India. *Forest Ecology and Management*, 176: 217-235.
- Lopes, M.I.M.S., De Vuono, Y.S. & Domingos, M.** 1990. Serapilheira acumulada na Floresta da Reserva Biológica de Paranaíacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Hoehnea* 17: 59-70.
- Lopes, M.I.M.S., Domingos, M. & De Vuono, Y.S.** 2002. Ciclagem de nutrientes minerais. In: Sylvestre, L.S., Rosa, M.M.T (eds.). *Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica*, Rio de Janeiro: Seropédica, pp.72-103.
- Lopes, M.C.A., Araújo, V.F.P. & Vasconcellos, A.** 2015. The effects of rainfall and vegetation on litterfall production in the semiarid region of northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75: 703-708.
- Lopes, M.I.M.S., Santos, A.R., Moraes, R.M. & Kirizawa, M.** 2002. Ciclagem de nutrientes e alterações no solo induzidos pela poluição atmosférica. In: Lopes, M.I.M.S., Kirizawa, M., Melo, M.M.R.F. (orgs.) *Patrimônio da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranaíacaba: a antiga Estação Biológica do alto da Serra*. São Paulo: Instituto de Botânica, pp. 137-164.
- Longhi, R. V.** 2009. Avaliação da deposição de serapilheira e macronutrientes em três grupos florísticos na floresta ombrófila mista. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Ecologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal. Santa Maria, RS, Brasil.

- Lorenzo, L. & Campagnaro, V.H.** 2017. Litterfall production as a function of planting seedlings system in a two years forest restoration area in the Coastal-Plain of Caraguatatuba, São Paulo, Brazil. *Revista Árvore*, 41.
- Lorenzo, L., Pérez-Harguindeguy, N., Casanoves, F. & de Oliveira, A. A.** 2014. Recovering from forest-to-pasture conversion: leaf decomposition in Central Amazonia, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 30: 93-96.
- Luizao, F.J.** 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian forest. *GeoJournal*, 19: 407-417.
- Luizão, F.J. & Schubart, H.O.R.** 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43: 259-265.
- Luizão, R.C., Luizão, F.J., Paiva, R.Q., Monteiro, T.F., Sousa, L.S. & Kruijt, B.** 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10: 592-600.
- Maciel, L.A., Siles, M.F.R. & Bitencourt, M.D.** 2011. Alterações na vegetação herbácea de floresta ombrófila densa decorrentes do uso em uma trilha turística na Serra do Mar em São Paulo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25: 628-632.
- Maganhotto, R.F., Santos, L.J.C., de Paula S., L.C., Miara, M.A. & dos Santos Junior, J.B.** 2007. Fragilidade de trilhas em áreas naturais protegidas: estudo de caso reserva ecológica Itaytyba-RPPN. *Revista Geografar*, 2:22-41.
- Malhi, Y., Phillips, O.L., Lloyd, J., Baker, T., Wright, J., Almeida, S. & Killeen, T.** 2002. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). *Journal of Vegetation Science* 13: 439-450.
- Marion, J.L., Leung, Y.F., Eagleston, H. & Burroughs, K.** 2016. A review and synthesis of recreation ecology research findings on visitor impacts to wilderness and protected natural areas. *Journal of Forestry* 114: 352-362.

- Martinelli, G. & Moraes, M.A. (orgs.) 2013.** Livro vermelho da flora do Brasil. Andrea Jakobsson e Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1100, pp. 759-818.
- Martinelli, L.A., Lins, S.R. & dos Santos-Silva, J.C.** 2017. Fine litterfall in the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, 49: 443-451.
- Mason, C.F.** 1980. Decomposição. São Paulo: EPU-EDUSP, 63 p.
- Mateus, F.A., Miranda, C.C., Valcarcel, R. & Figueiredo, P.H.A.** 2013. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. *Floresta e Ambiente*, 20: 336-343.
- Meentemeyer, V.** 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*, 59: 465-472.
- Meguro, M., Vinueza, G.N. & Delitti, W.B.C.** 1979. Ciclagem de nutrientes minerais na mata mesófila secundária-São Paulo. I-Produção e conteúdo de nutrientes minerais no folheto. *Boletim de Botânica*, 7: 11-31.
- Melillo, J.M., Aber, J.D. & Muratore, J.F.** 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63: 621-626.
- Merigliano, L. L. & Krumpe, E. E.** 1985. The identification and evaluation of indicators to monitor wilderness conditions: Report to participants of a Delphi study. Moscow, ID: College of Forestry, Wildlife and Range Sciences, Forest, Wildlife and Range Experiment Station.
- Moraes, R.M.** 2002. Ciclagem de nutrientes na floresta do PEFI: produção e decomposição da serrapilheira. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Org.): Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: Unidade de Conservação que resiste à urbanização, pp.133-142.
- Moraes, R.M., Delitti, W.B.C. & De Vuono, Y.S.** 1999. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. *Revista Brasileira de Botânica* 22: 9-16.

- Moretti, M.S., Gonçalves, Jr., J.F., Ligeiro, R. & Callisto, M.** 2007. Invertebrates colonization on native tree leaves in a neotropical stream, Brazil. *International Review of Hydrobiology*, 92, 199-210.
- Mourad, B.M., Gomes, E.P.C.** 2015. Estrutura da vegetação em Floresta Subtropical Atlântica no Parque das Fontes do Ipiranga, SP, Brasil. In: Resumos dos 22^a Reunião Anual do Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo 1: 26-26.
- Nastri, V.D.F., Catharino, E.L.M., Rossi, L., Barbosa, L.M., Pirré, E., Bedinelli, C. & Costa, M.P.** 1992. Estudos fitossociológicos em uma área do Instituto de Botânica de São Paulo utilizados em programas de educação ambiental. *Revista do Instituto Florestal*, 4: 219-225.
- Olive, N.D. & Marion, J. L.** 2009. The influence of use-related, environmental, and managerial factors on soil loss from recreational trails. *Journal of environmental management* 90: 1483-1493.
- Oliveira, R. E.** 1997. Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba-SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Oliveira-Filho, A.T. & Fontes, M.A.L.** 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. *Biotropica*, 32: 793-810.
- Olson, J.S.S** 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- Pagano, S.N.** 1989. Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, São Carlos, 49: 633-639.
- Palacios-Bianchi, P.** 2002. Producción y descomposición de hojarasca en un bosque maulino fragmentado. *Revista Biología Ambiental* (en línea).

- Passold, A.J.** 2002. Seleção de indicadores para o monitoramento do uso público em áreas naturais. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Paudel, E., Dossa, G.G., Xu, J., & Harrison, R.D.** 2015. Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*, 353: 97-106.
- Paula, R.R., Pereira, M.G. & Menezes, L.F.T.** 2009. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na ilha da Marambaia, RJ. *Ciência Florestal*, 19: 139-148.
- Peccinini, A. A.** 2000. Caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga-PEFI: subsídios para a conservação biológica. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Peccinini, A.A. & Pivelo, V.R.** 2002. Histórico do uso das terras e condição da vegetação no PEFI. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Org.): Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: Unidade de Conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. pp. 251-258
- Pereira, S.Y., Reis, L.A.M., Oda, G.H. & Iritani, M.A.** 2002. Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Org.) Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de Conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, pp.63-74.
- Petri, L.** 2017. Plantas exóticas em uma Reserva de Floresta Atlântica urbana. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo.
- Petri, L., Aragaki, S. & Gomes, E.P.C.** 2018. Management priorities for exotic plants in an urban Atlantic Forest reserve. *Acta Botanica Brasilica*, (AHEAD).
- Pezzatto, A.W. & Wisniewski, C.** 2006. Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da Floresta Estacional Semidecidual no oeste do Paraná. *Floresta*, 36: 124-131.

- Phillips, O.L., Malhi, Y., Vinceti, B., Baker, T., Lewis, S.L., Higuchi, N. & Ferreira, L. V.** 2002. Changes in growth of tropical forests: evaluating potential biases. *Ecological Applications* 12: 576-587.
- Pontes, J.A.L. & de Vertebrados, L.D.E.** 2006. Planejamento, manejo de trilhas e impactos na fauna. In: I Congresso Nacional.
- Powers, J.S., Montgomery, R.A., Adair, E.C., Brearley, F., De Walt, S.J., Castanho, C.T. & González-Iturbe, J.A.** 2009. Decomposition in tropical forests: a pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. *Journal of Ecology*, 97: 801-811.
- Prado, J.** 2004. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Pteridophyta*: 17. *Pteridaceae*. *Hoehnea*, 31:39-49.
- Rocha, Y.T. & Cavaleiro, F.** 2001. Aspectos históricos do Jardim Botânico de São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*, 24: 577-586.
- Roncero-Siles, M.F.** 2008. Efeitos do pisoteio humano experimental sobre a vegetação em fragmentos de Floresta Pluvial Tropical Atlântica, São Paulo, Brasil, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Ross, J.L.S.** 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do departamento de geografia*, 8: 63-74.
- Salamanca, E.F., Kaneko, N. & Katagiri, S.** 2003. Rainfall manipulation effects on litter decomposition and the microbial biomass of the forest floor. *Applied Soil Ecology*, 22: 271-281.
- Santiago, L.S. & Mulkey, S. S.** 2005. Leaf productivity along a precipitation gradient in lowland Panama: patterns from leaf to ecosystem. *Trees*, 19: 349-356.

- Santos, A.R.** 2014. Produção, estoque e nutrientes da serapilheira em Floresta Ombrófila Densa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo, 102p.
- Santos, P.M. & Funari, F.L.** 2002. Clima local. In: Bicudo, D. C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (Orgs.) Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: Unidade de Conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estados de São Paulo. pp. 29-48.
- São Paulo.** 1969. Decreto nº 52.281, de 12/08/1969. Cria o Parque Estadual das Fontes do Ipiranga. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 12-VIII-1969.
- São Paulo.** 1969. Lei nº 10.353, de 17/01/1969. Dispõe sobre preservação dos bosques e matas que constituem o Parque da Água Funda, situado nesta Capital. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 18-I-1969, p. 2.
- São Paulo.** 2006. Os elementos naturais e as interferências urbanas. *In*: Santos, R.F. (cord.). Estudo sócio-econômico-ecológico e legislativo para caracterização, zoneamento e implantação do Plano de Manejo do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga e do seu programa eco-desenvolvimento: diagnóstico de Planejamento Ambiental – LAPLA/Planejamento Engenharia Agrícola – PLANTEC, Campinas, p. 257.
- Sardans, J., Rivas-Ubach, A. & Peñuelas, J.** 2011. Factors affecting nutrient concentration and stoichiometry of forest trees in Catalonia (NE Spain). *Forest Ecology and Management*, 262: 2024-2034.
- Sayer, E.J. & Tanner, E.V.** 2010. Experimental investigation of the importance of litterfall in lowland semi-evergreen tropical forest nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 98: 1052-1062.
- Sayer, E.J., Tanner, E.V. & Lacey, A.L.** 2006. Effects of litter manipulation on early-stage decomposition and meso-arthropod abundance in a tropical moist forest. *Forest ecology and management*, 229: 285-293.

- Scheer, M.B.** 2008. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba, PR. Floresta, 38.
- Schlatter, J.E., Gerding, V. & Calderón, S.** 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de Eucalyptus nitens, X Región, Chile. Bosque-Valdivia, 27: 115-125.
- Schuur, E.A.G.** 2001. The effect of water on decomposition dynamics in mesic to wet Hawaiian montane forests ecosystems 4: 259–273.
- Scoriza, R.N., Pereira, M.G., Pereira, G.H.A., Machado, D.L., Silva & E.M.R.** 2012. Métodos para coleta e análise de serapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. Série Técnica Floresta e Ambiente 2: 1-18.
- Shanks, R. & Olson, J.** 1961. First-year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forests. Science, 134:194-195.
- Simonelli, M., Reis, B.N., Harb, T.B. & Correia, G.G.S.** 2011. Produção de serapilheira como bioindicador de restauração no município de Santa Leopoldina, ES. Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental, SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J.** 1995. Biometry. 3ed. New York: W.H. Freeman and Company. 887p.
- SOS Mata Atlântica.** Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, período 2016-2017. Relatório Técnico São Paulo. [acessado em 04 de abril de 2019] Disponível em: <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>
- Souto, P.C.** 2006. Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil. Areia: Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, 150 p.
- Spain, A.V.** 1984. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rain forests. Journal of Ecology, 72: 947-961.

- Stankey, G.H., Cole, D.N., Lucas, R.C., Petersen, M.E. & Frissell, S.S.** 1985. The limits of acceptable change (LAC) system for wilderness planning. General Technical Report INT 176: 1-37.
- Struffaldi-de-Vuono, Y.S.** 1985. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica, São Paulo, SP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Swift, M.J. & Anderson, J.M.,** 1989. Decomposition. In: Lieth, H., Werger, M.J.A. (Eds.), Tropical Rain Forest Ecosystems. Biogeographical and Ecological Studies. Elsevier, Amsterdam, pp. 547-569.
- Tanner, E.V.J.** 1981. The decomposition of leaf litter in Jamaican montane rain forests. *Journal of Ecology*, 69: 263-275.
- Tanus, M.R., Pastore, M. Bianchini, R.S. & Gomes, E.P.C.** 2012. Estrutura e composição de um trecho de Mata Atlântica no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea* 39: 157-168.
- Takahashi, L.Y., Milano, M.S. & Tormena, C.A.** 2005. Indicadores de impacto para monitorar o uso público no Parque Estadual Pico do Marumbi-Paraná. *Revista Árvore*, 29: 159-167.
- Teixeira, C.B., Domingos, M., Rebelo, C.F. & Moraes, R.M.,** 1992. Produção de serapilheira em floresta residual da cidade de São Paulo: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga. *Rev. Instituto Florestal*, SP, 4: 785-789.
- Tauk, S. M.** 2018. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. *Revista Brasileira de Geociências*, 20: 299-301.
- Teixeira, H W., Rocha, L. C., Sena , I. S. & Figueiredo, M.** 2013 Pisoteio experimental na vegetação de borda de uma trilha ecoturística na APA Serra São José – Titadentes – MG – *Revista Eletrônica de Geografia:Research Gate*.

- Trueba, D. P., González, M.M.V., & Aragonés, C.R.** 1999. Comunidades de la mesofauna edáfica en una selva baja inundable de la Reserva de la Biósfera de Sian Kaan, Quintana Roo, México. *Revista Biología Tropical*, 47: 489-492.
- Uhl, C. & Jordan, C.F.** 1984. Succession and Nutrient Dynamics Following Forest Cutting and Burning in Amazonia. *Ecology*, 65: 1476-1490.
- Ukonmaanaho, L., Merilä, P., Nöjd, P. & Nieminen, T.M.** 2008. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland.
- Valentini, C.M.A., Sanches, L., de Paula, S.R., Vourlitis, G.L., de Souza Nogueira, J., Pinto, O.B. & de Almeida Lobo, F.** 2008. Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113 (G1).
- Varjabedian, R. & Pagano, S.N.** 1987. Produção e decomposição de folheto em um trecho de Mata Atlântica de encosta no município do Guarujá, SP. *Acta Botanica Brasilica*, 1: 243-256.
- Vasconcelos, H.L. & Luizão, F.J.** 2004. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14: 884-892.
- Vendrami, J.L., Jurinitz, C.F., Castanho, C.D.T., Lorenzo, L., & Oliveira, A.A.D.** 2012. Litterfall and leaf decomposition in forest fragments under different successional phases on the Atlantic Plateau of the state of Sao Paulo, Brazil. *Biota Neotropica*, 12: 136-143.
- Vidal, M.M.; Pivello, V.R.; Meirelles, S.T. & Metzger, J.P.** 2007. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasil. Bot.* 30: 521-532.
- Vieira, M.O.** 2015. Decomposição da serapilheira em dois trechos de Floresta Atlântica no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, um deles sob influência do bambu

- Aulonemia aristulata* (Döll) MacClure. SP, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo. 101p.
- Visnadi, S.R.** 2015. Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação importante para a proteção da brioflora da Mata Atlântica na cidade de São Paulo, Brasil. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais, 10: 437-469.
- Vital, A.R.T., Guerrini, I.A., Franken, W.K. & Fonseca, R.C.B.** 2004. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. Revista Árvore, pp.793-800.
- Vitousek, P.M.** 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. The American Naturalist, 119: 553-572.
- Vitousek, P.M.** 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. Ecology, 65: 285-298.
- Vitousek, P.M. & Sanford Júnior, R.L.** 1986, Nutrient cycling in most tropical forest. Annual Review of Ecology and Systematics 17: 137-167.
- White, B.L.A., Nascimento, D.L.D., Dantas, T.V.P. & Ribeiro, A.D.S.** 2013. Dynamics of the production and decomposition of litterfall in a brazilian northeastern tropical forest (Serra de Itabaiana National Park, Sergipe State). Acta Scientiarum. Biological Sciences, 35: 195-201.
- Wieder, R.K. & Wright, S.J.** 1995. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado Island, Panama. Ecology, 76: 1971-1979.
- Wieder, W.R., Cleveland, C.C. & Townsend, A.R.** 2009. Controls over leaf litter decomposition in wet tropical forests. Ecology, 90: 3333-3341.
- Williams-Linera, G., Tolome, J., Forest, C., Litterfall, Forest, L.M.** 1996. Litterfall, temperate and tropical dominant trees, and climate in a Mexican lower montane forest. Biotropica, pp. 649-656.

- Wright, S.J. & Cornejo, F.H.** 1990. Seasonal drought and leaf fall in a tropical Forest. *Ecology*, 71: 1165-1175.
- Xu, X., Hirata, E., Enoki, T. & Tokashiki, Y.** 2004. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. *Plant Ecol.* 173:161-170.
- Xuluc-Tolosa, F.J., Vester, H.F.M., Ramirez-Marcial, N., Castellanos-Albores, J. & Lawrence, D.** 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 174: 401-412.
- Zar, J.H.** 1999. Bioestatistical analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 664p.
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W. & Liu, S.** 2014. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, 20: 240-247.
- Zhou, G., Guan, L., Wei, X., Zhang, D., Zhang, Q., Yan, J., & Kong, G.** 2007. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecology*, 188: 77-89.
- Zhu, X., Liu, W., Chen, H., Deng, Y., Chen, C. & Zeng, H.** 2019. Effects of forest transition on litterfall, standing litter and related nutrient returns: Implications for forest management in tropical China. *Geoderma*, 333: 123-134.