



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/02.01.02.45-TDI

**DINÂMICA DE RAÍZES FINAS EM RELAÇÃO À  
DISPONIBILIDADE SAZONAL DE NUTRIENTES E DE  
DIFERENTES NÍVEIS DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM  
FLORESTAS TROPICAIS**

Lucinéia da Silva Sousa Mendes

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pela Dra. Maria Cristina Forti, aprovada em 20 de fevereiro de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3QFCPPL>>

INPE  
São José dos Campos  
2018

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

**Membros:**

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/02.01.02.45-TDI

**DINÂMICA DE RAÍZES FINAS EM RELAÇÃO À  
DISPONIBILIDADE SAZONAL DE NUTRIENTES E DE  
DIFERENTES NÍVEIS DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM  
FLORESTAS TROPICAIS**

Lucinéia da Silva Sousa Mendes

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pela Dra. Maria Cristina Forti, aprovada em 20 de fevereiro de 2018.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3QFCPPL>

INPE  
São José dos Campos  
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Mendes, Lucinéia da Silva Sousa.

M522d Dinâmica de raízes finas em relação à disponibilidade sazonal de nutrientes e de diferentes níveis de deposição úmida em florestas tropicais / Lucinéia da Silva Sousa Mendes. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xxxii + 156 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/02.01.02.45-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientadora : Dra. Maria Cristina Forti.

1. Raízes finas. 2. Decomposição de raízes. 3. Biomassa abaixo do solo. 4. Floresta tropical. 5. Núcleo de crescimento. I.Título.

CDU 631.81:630\*228

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Lucinéia da Silva Sousa Mendes**


Título: "DINÂMICA DE RAÍZES FINAS EM RELAÇÃO À DISPONIBILIDADE SAZONAL DE NUTRIENTES E DE DIFERENTES NÍVEIS DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM FLORESTAS TROPICAIS".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Doutor(a)** em **Ciência do Sistema Terrestre**


Dr. Plínio Carlos Alvalá

  
\_\_\_\_\_  
Presidente / INPE / SJCampos - SP  
 Participação por Vídeo - Conferência

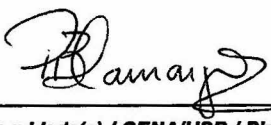
Dra. Maria Cristina Forti

  
\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP  
 Participação por Vídeo - Conferência

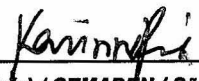
Dr. Jorge Alberto Bustamante Becerra

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP  
 Participação por Vídeo - Conferência

Dr. Plínio Barbosa de Camargo

  
\_\_\_\_\_  
Convidado(a) / CENA/USP / Piracicaba - SP  
 Participação por Vídeo - Conferência

Dra. Karinne Reis Deusdará Leal

  
\_\_\_\_\_  
Convidado(a) / CEMADEN / São José dos Campos - SP  
 Participação por Vídeo - Conferência

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 20 de fevereiro de 2018



### *Ir Além*

*Eu posso ir além, além na caridade, além no perdão, na generosidade, além da compaixão, eu posso me abaixar e amar quem está no chão.*

*Se me pedirem mil passos dois mil eu darei, se me tomarem a capa, o manto entregarei, se me ferirem um lado, a outra face oferecerei.*

*Posso alcançar minhas vitórias sem ferir ninguém, fazer quem está ao meu lado prosperar também, eu sei que o amor me faz ir muito além, eu posso ir além..*

*(Eros Bondini)*

*“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós.*

*“Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós”.*

*(Antoine de Saint-Exupéry)*





*A minha querida avó*

*María Fortunata (in memoriam) por ter me ensinado a gostar das plantas, a respeitar a floresta e a natureza. O que fez despertar em mim o interesse em conhecer a Amazônia (graduação), o Cerrado (mestrado) e agora a Mata Atlântica (doutorado).*

*Dedico*

*A Deus,*

*A minha família e a meu Fernando*

*Ofereço.*



## AGRADECIMENTOS

Durante este tempo em que fiz esta pesquisa foram uma árdua jornada de desafio, construção e amadurecimento. Nenhum empreendimento é realizado de forma fácil e sem esforço. A conclusão de uma tese reflete sobre nossas próprias expectativas, inseguranças e perseverança. Entretanto, o caminho percorrido para se aprender a lidar com elas não é ou pelo menos não deveria ser um caminho solitário. No meu caso esse caminho foi sempre acompanhado de pessoas que me deram suporte e incentivo a persistir na intensa convicção de enfrentar e vencer as dificuldades em vez de desistir de tudo.

Agradeço a Deus, por alimentar meu espírito me proporcionando equilíbrio e paz, e aprender que sem estas duas condições seria impossível lidar com as adversidades da vida e valorizar os bons momentos.

A meu esposo Fernando Mendes que me acompanha desde o início dessa jornada, que atravessou comigo essa fase de doutorado, e que cuidou de tudo e de nós dois nestes últimos anos, que trouxe calma e música em todos os momentos e teve a experiência de ser casado com uma doutoranda. Muito obrigada meu amor!

A minha família, por acharem um pouco complexo o que faço, ainda assim, me dão incentivo, apoio, refúgio, por me surpreenderem quando eu menos espero. Por não entenderem minha ausência e ainda assim tentarem me resgatar dela. Por ser a base para a formação contínua do meu caráter.

Agradeço a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Cristina Forti, pela oportunidade dada, por toda dedicação, ensinamentos (aqui estendidos não só pra vida profissional mas, também pra vida pessoal), sugestões, contribuições e principalmente pela ajuda na redação e correções desta tese. Minha estima e gratidão por você Cris, obrigada!

Agradeço ao meu orientador Prof.<sup>o</sup> Dr. Jean Ometto, pela confiança, pelos ensinamentos, por me mostrar a ciência de forma mais agradável e por me ajudar a conduzir com leveza as “surpresas” desta pesquisa, mas, acima de tudo por me mostrar que a simplicidade e a igualdade são valores importantes para vida profissional e pessoal.

Aos professores Dr. Plínio Camargo (CENA), Dr. Plínio Alvalá (CCST), Dr. Jorge Bustamante (CCST) e Dra. Karinne Reis (CEMADEN), por aceitarem compor minha banca examinadora e colaborar com esta pesquisa.

Aos demais professores da pós por participarem direta ou indiretamente da minha formação. À Angela Harada e Mariana Santos (PG-CST) pela dedicação e suporte durante o curso. À bibliotecária Simone Del Ducca e a querida Marilucia Melo pelo profissionalismo, atenção e cuidado no atendimento das minhas solicitações. Obrigada!

Aos professores, Dr. Eduardo Mafra (UEA) e Dr. Ananias Cruz (UEA), por gentilmente aceitarem revisar e corrigir o texto desta tese.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) e ao Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias (LAQUATEC), pela infra-estrutura e apoio logísticos nos campos. Em especial ao técnico-químico Carlos Daniel Meneghetti pelos ensinamentos no laboratório e apoio nos meus campos e pela amizade conquistada. Ao José Roberto Chagas, Welison Andrade (grande parceiro de campo), José Carlos dos Santos (URCP), Kelly Ribeiro, Herbert Leite, Stéphane Crispim, Mariana Almeida, Estefânia Marques, Carolina Kako, Cesar Calistro, Murilo Ruv e Rafael Silva pela ajuda nos campos e no laboratório e pela amizade conquistada.

Ao Parque Estadual Serra do Mar – Núcleo Cunha Indaiá – PESM-Cn, pela permissão da pesquisa, infra-estrutura e apoio nos campos. Em especial aos técnicos, João Batista Amaro dos Santos e ao Vanderlei Cesar Pereira pelo profissionalismo, comprometimento, seriedade e bom humor que fazia toda a diferença em meio à labuta.

Ao Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), pela permissão desta pesquisa. Em especial ao professor Dr. Eduardo Gomes por me ajudar na escolha das áreas adequadas para esta pesquisa e pelas discussões de ecologia de campo. Agradeço à professora Dra. Sílvia Ribeiro de Souza por conceder um de seus bolsistas para as coletas de amostras de chuva do primeiro ano deste estudo.

Sou grata à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de doutorado (Edital nº 005/2012). Ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, proc.2012/06416-1) e ao Nnet – Nitrogen Cycling in Latin America: Drivers, Impacts and Vulnerabilities (CRN 3005-2) por todo suporte e apoio dado a esta pesquisa.

Ao Laboratório de plantas e solos da Universidade de Taubaté, nas pessoas do professor Dr. Julio Cesar Raposo e professor Dr. João Luiz Gadiolli por me receberem tão bem, pelo empréstimo dos materiais de preparo e triagem de tecido vegetal, pelas discussões estatísticas e químicas de minhas amostras de raízes e solo.

Aos colegas da turma de 2013, Ana Gabriela, Dra. Ana Paula Paes, Dra. Carla Prieto, Christianne Riquetti, Dra. Elisangela Broedel, Dra. Graciela Tejada, Jaidson Becker, Lira Luz Benites, Dra. Luciene Gomes, Sandro Veiga e Dr. Victor Nascimento, agradeço pelo convívio, pela partilha de nossas expectativas, frustrações e realizações.

À Patrícia Goés, minha querida amiga e psicóloga de longas datas, sou grata pela sua amizade e apoio nos bons e principalmente naqueles momentos mais difíceis.

À amiga Anahi Sobral, Dr. Sérgio Santos, Jaidson Becker e Raquel Melo, por Deus ter providenciado pessoas como vocês em meio à caminhada.

À Prof<sup>a</sup> Dra. Cristiane Ferreira (UnB) pelo incentivo e motivação, que me fez aceitar o desafio de realizar este doutorado e, à dona Fátima por ter me acolhido em sua casa lá no começo de tudo em 2013.

Ao NEPBIO nas pessoas do Dr. Eráclito Neto, Dra. Marcela Miranda e Dr. Felipe Pacheco, pelo apoio, trocas de experiências, motivações, mas, pelo melhor de tudo, pela amizade de vocês.

Estendo estes agradecimentos àqueles que, eventualmente, deixei de mencionar, pelo apoio igualmente valioso. Muito obrigada!



## RESUMO

Os estudos sobre a Produtividade de Raízes (PR) em relação à disponibilidade de nutrientes no solo e na atmosfera associados às condições meteorológicas contribuem para o aperfeiçoamento das estimativas regionais de produtividade primária em Florestas Tropicais. Investigações sobre PR possuem um importante papel na compreensão da relação entre clima e processos biológicos. Nesse contexto, a pesquisa em questão tem por objetivo investigar a dinâmica de raízes finas ( $\varnothing \leq 2$  mm), identificar e relacionar os principais fatores que controlam a produção, a taxa de decomposição, a disponibilidade de carbono e nutrientes e deposição úmida em três sítios florestais em diferentes estádios sucessionais na Mata Atlântica, que foram: Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha Indaiá (PESM-Cn), área de referência e, minimamente antropizada; Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), área inserida na Região Metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP), altamente impactada e a Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista (URCP), área em recuperação, considerada rural. Foi utilizada a técnica de núcleo de crescimento (*ingrowth*), sacolas de decomposição (*litter bags*) e coletores de chuva tipo “bulk” para medir respectivamente, produção, decomposição e deposição atmosférica. Além disso, foi analisada a composição química dos nutrientes contidos nos solos, raízes e água de chuva a fim de identificar se este é um dos fatores que influenciam na dinâmica de raízes. Os resultados sugerem que as concentrações de nutrientes disponíveis no solo variaram em função das diferentes idades sucessionais dos sítios, e do nível de perturbação e cobertura vegetal e apresentaram a seguinte ordem: PESM-Cn>PEFI>URCP. O sítio em estágio inicial de sucessão, URCP, apresentou maior valor de biomassa total de raízes finas (BRF)( $0,384 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) quando comparado com o PEFI ( $0,253 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e PESM-Cn ( $0,262 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Em relação à taxa de decomposição de raízes ( $k$ ), foram observados maiores valores durante a estação chuvosa de 2015 para a URCP ( $0,0129$ ), PESM-Cn ( $0,0106$ ) e para o PEFI ( $0,0075$ ). Dentre os fatores que se destacaram como controladores da dinâmica de raízes finas em cada sítio estudado estão: a qualidade química do solo, textura e pH do solo, umidade e precipitação pluviométrica. Constatou-se que a variação na dinâmica de raízes finas é influenciada pela quantidade de precipitação, e não pela disponibilidade de nutrientes presentes na deposição atmosférica, exceto no PESM-Cn onde ocorre alta deposição de  $\text{NO}_3^-$  e no PEFI onde ocorre deposição de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e COD. A maior proporção de biomassa aérea (BA) foi encontrado no PESM-Cn ( $60,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), seguido pelo PEFI ( $27,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e URCP ( $19,08 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Como esperado, a variação de BRF nos sítios estudados é menor do que a BA, porque a radicular tende a se ajustar ao nível de água e nutrientes, já a parte aérea variou com o estágio sucessional. Este estudo forneceu, pela primeira vez, uma análise temporal e espacial de decomposição de raízes finas na Mata Atlântica e ressalta a necessidade de avaliar aspectos da produção de raízes em escala de paisagem e durante períodos mais extensos de tempo, para que sejam produzidos dados mais robustos sobre dinâmica de raízes finas na Mata Atlântica. Os resultados deste

estudo serão úteis para balanços de carbono e nutrientes nos compartimentos solo-planta-atmosfera, modelagem ambiental e estudos de ecossistemas.

**Palavras-chave:** Raízes finas. Decomposição de raízes. Biomassa abaixo do solo. Floresta tropical. Núcleo de crescimento.



# FINE ROOT DYNAMICS IN RELATION TO THE SAZONAL AVAILABILITY OF NUTRIENTS AND OF DIFFERENT LEVELS OF HUMID DEPOSITION IN TROPICAL FOREST

## ABSTRACT

Studies on roots productivity in relation to the availability of nutrients in the soil and in the atmosphere associated with meteorological conditions contribute to the improvement of the regional estimates of primary productivity in Tropical Forests. Root productivity research has an important role in understanding the relationship between climate and biological processes. In this context, the present research aims to investigate the dynamics of fine roots ( $\varnothing \leq 2$  mm), to identify and relate the main factors controlling production, rate of decomposition, availability of carbon and nutrients and wet deposition in three forest sites in different successional stages in the Atlantic Forest, which are: Serra do Mar State Park - Cunha Indaiá Nucleus (PESM-Cn), area of reference and, minimally anthropized; Ipiranga State Park (PEFI), a region within the Metropolitan Area of São Paulo (RMSP), highly impacted, and the National Institute for Space Research (INPE) Regional Unit of Cachoeira Paulista (URCP), a recovering area considered rural. The ingrowth technique, litter bags and bulk collectors were used to measure, respectively, production, decomposition and atmospheric deposition. In addition, the chemical composition of nutrients contained in soils, roots and rainwater in order to identify if this is one of the factors that influence in the dynamics of roots. The results suggest that the nutrient concentrations available in the soil varied according to the different successional ages of the sites and the level of disturbance and vegetation cover. They presented the following order: PESM-Cn > PEFI > URCP. The initial succession stage site, URCP, presented higher value of total fine root biomass (BRF) ( $0.384 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) when compared to PEFI ( $0.253 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) and PESM-Cn ( $0.262 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). In relation to the root decomposition rate (k), higher values were observed during the rainy season of 2015 for URCP (0.0129), PESM-Cn (0.0106) and PEFI (0.0075). Among the factors that stood out as controllers of the dynamics of fine roots in each site studied are: soil chemical quality, soil texture and pH, humidity and rainfall. It was verified that the variation in the dynamics of fine roots is influenced by the amount of precipitation and not by the availability of nutrients present in the atmospheric deposition, except in the PESM-Cn where high deposition of  $\text{NO}_3^-$  occurs and in the PEFI where  $\text{NH}_4^+$  deposition occurs,  $\text{NO}_3^-$  and COD. It was verified that the variation in the dynamics of fine roots is influenced by the amount of precipitation, and not by the availability of nutrients presented in the atmospheric deposition. The highest proportion of aerial biomass (BA), was found in PESM-Cn ( $60.75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), followed by PEFI ( $27.39 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) and URCP ( $19.08 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). As expected, the BRF variation in the studied sites is lower than the BA because the root tends to adjust to the water and nutrients level, while the aerial part varied with the successional stage. This study provided, for the first time, a temporal and spatial analysis of fine root decomposition in the Atlantic Forest and emphasizes the need to evaluate aspects of the root production at the landscape scale and for further periods of time, in order to produce more data on the dynamics of fine roots in the Atlantic Forest. The results of this study will be useful for carbon and

nutrient balances in the soil-plant-atmosphere compartments, environmental modeling and ecosystem studies.

**Key-words:** Fine roots. Decomposition of roots. Biomass below ground. Tropical forest. Ingrowth core.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1	Localização geográfica das áreas de estudo..... 16
Figura 2.2	Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – PEFI (área escura) com o marcador em amarelo indicando o ponto central da área de estudo (23°38'24.77"S e 46°37'5.48"W)..... 17
Figura 2.3	Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista-URCP, com o marcador em amarelo indicando o ponto central da área de estudo (22°41'33.8"S e 44°59'46.6"W)..... 19
Figura 2.4	Parque Estadual da Serra do Mar – núcleo Cunha Indaiá – PESM-Cn, com o marcador em amarelo indicando o ponto central da área de estudo (23°14'.14.04"S e 45°1'3.87"W).....21
Figura 2.5	Esquema da distribuição dos núcleos de crescimento e das sacolas de decomposição nos transectos.....24
Figura 2.6	Esquema apresentando a instalação de um núcleo de crescimento de raízes no solo.....25
Figura 2.7	Cronograma de retirada de raízes de um determinado número de núcleos (20 cm de profundidade).....26
Figura 2.8	Sacolas de decomposição, presas à um cano PVC, sendo enterradas à 5 cm de profundidade.....27
Figura 2.9	Cronograma para estabelecimento e retirada de raízes em decomposição ( 5 cm de profundidade).....27
Figura 2.10	Identificação das plantas com placas de alumínio para medida de diâmetro acima do peito (DAP).....29
Figura 2.11	Coletor de água de chuva tipo “bulk” instalado no campo durante os anos de 2015 e 2016.....35
Figura 3.1	Precipitação total (mm) e temperatura média do ar (°C) dos sítios estudados, no período de abril de 2014 à fevereiro de 2016: (a) PEFI; (b) URCP e; (c) PESM-Cn. As hachuras correspondem aos meses de instalação (hachura larga) e coletas de raízes finas (hachuras estreitas). Fonte: IAG/USP, Instituto Florestal de São Paulo e SINDA/INPE.....44

- Figura 3.2 Peso médio remanescente (%) das raízes das diferentes áreas avaliadas, nos diferentes períodos de decomposição (365 dias) nas sacolas de decomposição, corresponde com seus respectivos desvios-padrão representadas pelas barras verticais (a) antes da invasão por animais silvestres e, (b) após invasão por animais silvestres (apenas no PESM-Cn). Os valores são médias de seis repetições (n=6).....60
- Figura 3.3 Evolução temporal da biomassa de raízes finas (BRF) ( $\varnothing \leq 2\text{mm}$ ) em,  $\text{Mg ha}^{-1}$  na profundidade de 0-20 cm, antes da invasão por animais (a) e após a invasão por animais (b) a partir da segunda coleta no PESM-Cn. Os valores são médias de 6 repetições (n=6) e as barras verticais em cinza representam os desvios padrões de cada média.....65
- Figura 3.4 Evolução temporal das relações carbono /nitrogênio (C/N) (a), carbono/fósforo (C/P) (b) e carbono/enxofre (C/S) (c) para os três sítios de estudo (PEFI,URCP e PESM-Cn).....69
- Figura 3.5 Distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro: (a) PEFI; (b) URCP; (c) PESM-Cn e; (d) distribuição de todos os indivíduos ocorrentes no levantamento.....71
- Figura 3.6 Estoque de carbono relativo (%) encontrado nos diferentes compartimentos dos sítios deste estudo.....72
- Figura 3.7 Estoque dos nutrientes: (A)  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ; (B)  $\text{SO}_4^{2-}$ , (C) P, Cu, Fe, Mn e Zn; (D)  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ; (E) Nitrogênio total – NT, em %, encontrado nos diferentes compartimentos no sítio do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). Onde, DA= deposição atmosférica, RP = raiz de produção e RD= raiz em decomposição.....73
- Figura 3.8 Estoque dos nutrientes: (A)  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ; (B)  $\text{SO}_4^{2-}$ , (C) P, Cu, Fe, Mn e Zn; (D)  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ; (E) Nitrogênio total – NT, em %, encontrado nos diferentes compartimentos no sítio da Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista (URCP). Onde, DA= deposição atmosférica, RP = raiz de produção e RD= raiz de decomposição.....75
- Figura 3.9 Estoque dos nutrientes: (A)  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ; (B)  $\text{SO}_4^{2-}$ , (C) P, Cu, Fe, Mn e Zn; (D)  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ; (E) Nitrogênio total – NT, em %, encontrado nos diferentes compartimentos no sítio do Parque Estadual da Serra do Mar-Núcleo Cunha Indaiá (PESM-Cn). Onde, DA= deposição atmosférica, RP = raiz de produção e RD= raiz de decomposição.....77
- Figura 4.1 Produção de biomassa de raízes finas (Rp) em função da disponibilidade de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e carbono orgânico dissolvido (COD),

	em $\text{kg ha}^{-1}$ , nos três sítios de estudo, PEFI (A,D e G), URCP (B,E e H) e PESM-Cn (C,F e I), respectivamente.....	102
Figura 4.2	Correlação entre a precipitação acumulada trimestral em 15 meses de estudo e a produtividade de raízes finas contidas em 20 cm de profundidade nos três sítios de estudo: a) PEFI, b) URCP e c) PESM-Cn.....	104
Figura 4.3	Distribuição da biomassa aérea total em função das classes de diâmetro acima do peito (DAP) em três locais de Mata Atlântica estudados em São Paulo.....	108
Figura 4.4	Estimativa da biomassa nos diferentes compartimentos e épocas de coletas nos sítios de estudo, com dados de biomassa de raízes finas (a) extrapolados para mais dois períodos de coleta (7 e 8) e dados de biomassa aérea (b) extrapolados para três períodos anterior ao início das coletas de raízes (1,2 e 3). Os valores são médias de 6 repetições para raízes (n=6) e média de 63 indivíduos arbóreos para o PEFI (n=63),75 para a URCP (N=75) e 78 para o PESM-Cn.....	110
Figura 4.5	Relação entre a biomassa de raízes finas (BRF) e a biomassa aérea (BA), em $\text{Mg ha}^{-1}$ , nos três sítios florestais de idades sucessionais diferentes e submetidos a diferentes níveis de deposição atmosférica: PEFI (antropizado), URCP (rural) e PESM-Cn (área controle).....	111
Figura 4.6	Desenvolvimento da vegetação no início (a) e final (b) do período seco de 2014 e início (c) e final (d) do período chuvoso de 2015.....	116



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1	Precisão e exatidão do método analítico empregado para a análise química dos principais íons inorgânicos presentes nas amostras de águas deste estudo.....37
Tabela 2.2	Branco de laboratório, analisado para cada período sazonal (nd = não detectado).....38
Tabela 2.3	Amostra de água de chuva sintética (LIS): experimental (analisada junto às amostras de água de chuva) e amostra de referência.....38
Tabela 2.4	Resultados das amostras de branco de campo.....39
Tabela 3.1	Porcentagem da precipitação total (PT) associado aos dados válidos das espécies químicas presentes na água de chuva amostrada, para os períodos chuvoso e secos de 2015 e 2016 nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.....46
Tabela 3.2	Porcentagem da precipitação total (PT) associado aos dados válidos das espécies químicas presentes na água de chuva amostrada, para os mesmo períodos de medições de raízes finas nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.....47
Tabela 3.3	Porcentagem da cobertura de precipitação (PCL), para os períodos chuvoso e secos de 2015 e 2016 nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.....48
Tabela 3.4	Porcentagem da cobertura de precipitação (PCL), para os mesmo períodos de medições de raízes finas nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.....49
Tabela 3.5	Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{gL}^{-1}$ ), do período total coberto por este estudo, dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuva nos sítios estudados.....51
Tabela 3.6	Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 no PEFI. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.....52
Tabela 3.7	Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 na

	URCP. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.....	53
Tabela 3.8	Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 no PESH-Cn. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.....	54
Tabela 3.9	Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 no PESH-Cn. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.....	55
Tabela 3.10	Granulometria e densidade aparente contida no solo até a profundidade de 20 cm nos três sítios de estudo ( $n=6$ ).....	56
Tabela 3.11	Médias e desvios padrão (em parênteses) das variáveis físicas e químicas dos solos florestais determinados no PEFI, URCP e PESH-Cn no período deste estudo (2014-2016) ( $n=6$ ).....	57
Tabela 3.12	Estimativa da produção total, em $\text{Mg ha}^{-1}$ , e taxa de renovação (Tr), em $\text{ano}^{-1}$ , na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes sítios de estudo.....	58
Tabela 3.13	Evolução temporal das taxas instantâneas de decomposição ( $k$ ) das raízes finas e valores de meia-vida (em anos) nas três áreas de estudo (PEFI, URCP e PESH-Cn). Os valores em cada período são médias de seis repetições ( $n=6$ ).....	62
Tabela 3.14	Estoque de carbono na biomassa ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de raízes ( $\leq 2\text{mm}$ ) até 20 cm de profundidade, nos três ambientes estudados (PEFI, URCP e PESH-Cn). Os valores em cada período corresponde a soma de 6 repetições ( $n=36$ ).....	64
Tabela 3.15	Coefficientes de correlações de Pearson ( $r$ ) entre biomassa e decomposição de raízes finas e variáveis edáficas nos três sítios de amostragem.....	67
Tabela 3.16	Biomassa aérea verde ( $\text{BA}_V$ ), biomassa verde de raízes finas ( $\text{BRF}_V$ ), biomassa seca de raízes finas ( $\text{BRF}_S$ ) biomassa total (BT) e relação entre biomassa verde de raízes finas e biomassa aérea ( $\text{BRF}_V:\text{BA}_V$ ), em $\text{Mg ha}^{-1}$ , Carbono Total (CT) em $\text{Mg C ha}^{-1}$ , nos três sítios de estudo.....	70
Tabela 3.17	Teores totais de nutrientes nas raízes de produção (Rp) e decomposição (Rd) nos três sítios deste estudo ( $n=36$ ).....	79
Tabela 4.1	Valores de pH médios obtidos nas chuvas de diferentes localidades.....	84



Tabela 4.2	Médias das variáveis físicas e químicas de solos florestais determinados na URCP no período deste estudo (2014-2016) e, em 2007 .....	115
Tabela A.1	Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é admimensional, presentes na água de chuvano sítio do PEFI para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.....	147
Tabela A.2	Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é admimensional, presentes na água de chuvano sítio da URCP para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.....	148
Tabela A.3	Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é admimensional, presentes na água de chuvano sítio do PESM-Cn para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.....	149
Tabela A.4	Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é admimensional, presentes na água de chuvano sítio do PEFI para os mesmos períodos de medições de raízes finas. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.....	150
Tabela A.5	Concentrações medias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é admimensional, presentes na água de chuva no sítio da URCP para os mesmos períodos de medições de raízes finas. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.....	151
Tabela A.6	Concentrações medias ponderadas pelo volume (MPV, em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é admimensional, presentes na água de chuva no sítio do PESM-Cn para os mesmos períodos de medições de raízes finas. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.....	152
Tabela B.1	Matriz de correlação de Pearson (r) da biomassa e decomposição de raízes finas e as variáveis edáficas no sítio do PEFI.....	153
Tabela B.2	Matriz de correlação de Pearson (r) da biomassa e decomposição de raízes finas e as variáveis edáficas no sítio da URCP.....	154

Tabela B.3	Matriz de correlação de Pearson ( $r$ ) da biomassa e decomposição de raízes finas e as variáveis edáficas no sítio do PESH-Cn.....	155
------------	---	-----

## LISTA DE SIGLAS

ACEVP	Associação dos Corredores Ecológicos do Vale do Paraíba
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BA	Biomassa Aérea
BRF	Biomassa de Raízes Finas
CCST	Centro de Ciência do Sistema Terrestre
FAPEAM	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
WMO-GAW	World Meteorological Organization Global Atmosphere Watch
IAG/USP	Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LAQUATEC	Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnológicas
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NIST	National Institute of Standards and Technology
PEFI	Parque Estadual das Fontes do Ipiranga
PESM-Cn	Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha Indaiá
SINDA/INPE	Sistema Integrado de Dados Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
URCP	Unidade Regional (do INPE) de Cachoeira Paulista



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO .....	.1
1.1 Motivação.....	11
1.2 Estrutura da tese .....	12
2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	15
2.1 Áreas de estudo.....	15
2.1.1 Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) .....	16
2.1.2 Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista (URCP) .....	19
2.1.3 Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha Indaiá (PESM-Cn).....	21
2.2 Justificativas do método de amostragem escolhido para determinação da produção de raízes.....	23
2.3 Desenho amostral .....	.23
2.4 Aplicação do método do núcleo de crescimento .....	24
2.5 Amostragens das raízes de decomposição .....	26
2.6 Evolução da cobertura vegetal .....	28
2.7 Amostragem de solos .....	29
2.8 Preparação e análise das amostras de raízes finas.....	30
2.9 Cálculo da produção e estimativa da biomassa de raízes finas .....	31
2.10 Cálculo da taxa de decomposição de raízes .....	32
2.11 Preparações das amostras de solos .....	33
2.11.1 Estoque de carbono no solo .....	.33
2.12 Amostragem, preparo e análises da água de chuva.....	34
2.13 Cálculos das concentrações e deposições através da água de chuva .....	40

2.14	Dados complementares – precipitação e temperatura do ar .....	41
2.15	Análises estatísticas .....	41
3	RESULTADOS.....	43
3.1	Condições climáticas.....	43
3.2	Qualidade dos dados de precipitação e medida aceitável sazonal .....	45
3.3	Características químicas da água de chuva .....	50
3.4	Deposições de espécies químicas através da água de chuva (DA) .....	52
3.5	Solos.....	56
3.6	Raízes finas: produção, renovação e decomposição .....	58
3.6.1	Produção e renovação de raízes finas.....	58
3.6.2	Decomposição de raízes finas e padrões temporais .....	59
3.6.3	Taxas de decomposição .....	61
3.6.4	Estimativa do estoque de carbono, estimado a partir da biomassa de raízes finas e evolução da biomassa de raízes finas .....	63
3.6.5	Correlações entre as características dos solos, biomassa e decomposição de raízes .....	66
3.6.6	Relações C/N, CP e C/S .....	68
3.7	Biomassa aérea.....	70
3.7.1	Distribuição dos indivíduos por classe diamétrica.....	71
3.8	Estoque de carbono e nutrientes nos diversos compartimentos .....	72
4	DISCUSSÃO .....	81
4.1	Características químicas da água de chuva.....	81
4.2	Características edáficas dos solos florestais estudados.....	89
4.3	Raízes finas: biomassa, produção, renovação e decomposição de raízes finas ....	92
4.3.1	Carbono estocado na biomassa de raízes.....	92
4.3.2	Produção e renovação .....	94

4.3.3	Decomposição .....	95
4.3.4	Dinâmica de raízes.....	99
4.4	Fatores que influenciam o crescimento de raízes finas .....	100
4.4.1	Entradas de nutrientes via água de chuvas .....	101
4.4.2	Produtividade de raízes e disponibilidade de água.....	103
4.5	Biomassa aérea.....	105
4.5.1	Estrutura da vegetação .....	106
4.5.2	Influência da deposição atmosférica na comunidade arbórea.....	108
4.5.3	Razão entre a biomassa de raízes finas e a biomassa aérea com base na massa verde ( $BRF_V:BA_V$ ).....	109
4.6	Estoques de carbono e nutrientes nos compartimentos dos sítios estudados.....	117
4.7	Considerações finais.....	118
5	CONCLUSÕES .....	121
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	123





## 1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais estão entre os ecossistemas que mais estocam carbono nas plantas e no solo (MELILLO et al., 1993; MALHI et al., 2011). A capacidade das florestas e do solo em remover carbono da atmosfera e assim regular a emissão de gases de efeito estufa (SCHLESINGER; ANDREWS, 2000; SMITH et al., 2013) é definida como um serviço ecossistêmico de regulação climática. Entende-se como serviços ecossistêmicos, a capacidade dos ecossistemas em prover benefícios e serviços que atendam, direta ou indiretamente, às necessidades humanas (De GROOT, 1992), pois atua na redução dos impactos das mudanças climáticas (CHAPIN et al., 2009). Estas florestas tropicais estão sobre uma região que é caracterizada por possuir um ciclo hidrológico ativo, com alto volume de chuvas e uma grande disponibilidade de energia solar, que são alguns dos fatores-chaves responsáveis por fixá-las nesta região. Elas são responsáveis também, pelo equilíbrio climático em escala global, prestando inúmeros serviços ambientais aos ecossistemas (SHEIL; MURDIYARSO, 2009; MAKARIEVA et al., 2009).

Uma das características importantes das florestas tropicais é que as mesmas possuem uma grande diversidade biológica, tanto em espécies vegetais como animais, e normalmente situam-se sobre solos pobres em nutrientes (JORDAN, 1985; FERNANDES et al., 1997). As limitações do ambiente em que essas florestas se encontram, tais como a disponibilidade de nutrientes no solo ou distribuição sazonal de chuvas e temperatura, no entanto, somadas à influência de distúrbios e nova cobertura vegetal, fazem com que o estoque de carbono acumulados em sua biomassa varie no tempo, espaço e entre as formações vegetais que as compõem (HOUGHTON et al., 2009). A sobrevivência e a produtividade destas florestas devem-se principalmente à sua alta diversidade vegetal, composta por espécies nativas adaptadas às condições climáticas e nutricionais do solo, que, por sua vez, desenvolveram ao longo do tempo mecanismos eficientes de ciclagem de nutrientes (JORDAN, 1985), reciclando rapidamente a matéria orgânica proveniente da decomposição de plantas e animais. Além disso, as chuvas (deposição úmida) e os aerossóis (deposição seca) representam entradas importantes de alguns dos nutrientes essenciais para estas florestas tais como o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) entre outros (LUIZÃO, 2007).

A deposição atmosférica constitui um dos principais mecanismos de ciclagem biogeoquímica e redistribuição dos vários nutrientes em ecossistemas florestais, desempenhando um papel fundamental nos processos biogeoquímicos continentais e costeiros (SOUZA et al., 2006; VALENTE et al., 2016). Por isso, o seu conhecimento qualitativo e quantitativo é essencial para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos dos elementos e da influência antrópica sobre os mesmos (RODRIGUES et al., 2007). As águas da chuva, ao incidirem sobre a cobertura florestal, trazem consigo espécies minerais e orgânicas que se encontram suspensas na atmosfera e, ao atravessar o dossel florestal podem ser absorvidas, resultando numa importante fonte de reposição de nutrientes no solo. Este processo é considerado um dos mais importantes meios de entrada de nutrientes no ecossistema (HAAG, 1985; ARCOVA e CICCIO, 1987).

Caracterizar a composição química da água de chuva permite realizar diagnóstico quantitativo da qualidade da atmosfera de uma determinada região e reflete de maneira global e sob o ponto de vista ambiental, o estado de degradação ou não em que se encontra a atmosfera da região e assim, contribuirá com indicadores de avaliação e monitoramento dessas áreas para os tomadores de decisões, a fim de colaborar para o desenvolvimento de políticas conservacionistas, que são esforços importantíssimos, dado o estágio acelerado de degradação e poluição atmosférica em que se encontram algumas importantes regiões do Brasil. No Estado de São Paulo e em outras regiões do Brasil, por exemplo, não há uma rede de monitoramento de águas de chuva, que analise sua caracterização quanto ao pH e à composição química. Dados sobre a qualidade das águas de chuva são, em geral, obtidos a partir de pesquisas de curta duração de grupos de pesquisas institucionais e universidades (LARA et al., 2001; MELLO, 2001; LEAL et al., 2004; MIGLIAVACCA et al., 2004; FORTI et al., 2005; TRESMONDI et al., 2005) ou da empresa de fiscalização do meio ambiente (CETESB, 2014).

As florestas tropicais são ainda caracterizadas por uma alta taxa de produtividade primária, podendo-se, conseqüentemente, atribuir a elas uma importante fração da produtividade global (GRACE et al., 2001). Essas florestas apresentam uma produtividade primária líquida (PPL) de 17,8 Pg de carbono, aproximadamente 31% da PPL global (FIELD et al., 1998). O conhecimento sobre a produção primária é de

fundamental importância nos estudos de mudanças climáticas e ambientais, por estar diretamente relacionado ao carbono retirado da atmosfera pelos diferentes ecossistemas terrestres (MALHI et al., 2004; PHILLIPS et al., 2009). A produtividade primária, também chamada fotossíntese bruta, corresponde ao rendimento da conversão da energia radiante em substâncias orgânicas em uma determinada área e em um dado intervalo de tempo (ODUM, 1983). A diferença entre a fotossíntese bruta e a respiração autotrófica da vegetação é chamada de produtividade primária líquida (FENG et al., 2007). Estes dois processos são de grande importância no ciclo biogeoquímico do carbono (CAO et al., 2004). Do balanço entre ambos processos, originam-se a produção dos vegetais e o fluxo de energia nos ecossistemas (HABERL e GEISSLER, 2000).

Em função dessa produção, observa-se um aumento no número de estudos e na quantidade de dados de medição da produção primária líquida em florestas tropicais (ARAGÃO et al., 2009; CLARCK et al., 2001; GIRARDIN et al., 2010). Ao mesmo tempo tem ocorrido um grande avanço na Ciência do Sistema Terrestre e, esforços têm sido dedicados para o melhor desenvolvimento de modelos de ecossistemas terrestres, muitas vezes aninhados entre si ou interagindo com modelos climáticos globais, com o objetivo de representar as interações físicas (especialmente energia, água e transferência de momentum) e biogeoquímicas (especialmente o carbono) da biosfera terrestre com a atmosfera (MALHI et al., 2011).

Nesses modelos, em sua forma mais avançada, a biosfera é totalmente acoplada ao clima, de modo que as mudanças na biosfera (como a derrubada de florestas) afetam o clima, o que, por sua vez afeta a biosfera (COX et al., 2000; HUNTINGFORD et al., 2008). A resposta da biosfera ao clima é uma fonte importante de incerteza nas previsões das mudanças climáticas, essas incertezas se estendem também para a faixa de emissões antrópicas de gases de efeito estufa (MALHI et al., 2011).

Em um estudo considerando a produtividade primária líquida em florestas da Amazônia, Aragão et al., (2009) reporta uma produtividade primária líquida média de aproximadamente  $26 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , sendo que, as mesmas alocam cerca de 64% da produtividade primária líquida para o componente acima do solo e 36% para a produção sob o solo. Estudos que englobam o processo da produção primária em ecossistemas terrestres, particularmente florestas tropicais, ainda são limitados, devido à escassez de

informações nos diferentes compartimentos, especialmente no solo como é o caso das raízes (JIMÉNEZ et al., 2009). Embora, a Amazônia desempenhe um papel fundamental no equilíbrio da estrutura climática do planeta, particularmente no ciclo do carbono, do nitrogênio e da água, é imprescindível ampliar-se o escopo das pesquisas, desenvolvendo estudos em outros ecossistemas tropicais. A Floresta Tropical Atlântica é considerada um dos principais biomas tropicais do mundo sendo considerada como um importante núcleo de endemismo de espécies vegetais e animais, e um dos 25 “hotspots” de biodiversidade do mundo (LAURANCE, 2009). Neste sentido, quer seja por sua extraordinária complexidade biológica, quer seja pelo fato de restarem apenas cerca de 7% de sua cobertura original (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2013), a Mata Atlântica oferece uma possibilidade ímpar para que seja dado um salto qualitativo no conhecimento do funcionamento das florestas tropicais. Este conhecimento é primordial para o estabelecimento de ações de conservação, manejo e recuperação dessas formações e de indicadores de avaliação e monitoramento dessas áreas.

O funcionamento das florestas tropicais está ligado à qualidade e quantidade de biomassa dos diferentes compartimentos: folha, galhos, troncos, raízes, etc. Destes, a biomassa radicular de uma vegetação compreende todos os órgãos vivos localizados abaixo da superfície do solo, tendo como função fixar a vegetação, capturar e transferir recursos, como água e nutrientes, além de estocar reservas (ADUAN et al., 2003). A quantificação da biomassa radicular é de grande relevância para a compreensão das relações fonte – sumidouro das plantas (MELO; GONÇALVES, 2008). Na literatura científica, alguns autores enfatizaram a necessidade de realização de um número maior de estudos da biomassa radicular, sugerindo, entre outras, a utilização da geometria dos fractais como uma ferramenta promissora para superar a complexidade destes estudos e os problemas técnicos advindos da amostra destrutiva no estudo do sistema radicular (SNOWDON et al., 2000).

Estudos nos quais se avalia a biomassa subterrânea são importantes, pois contribuem para ampliar o conhecimento sobre o funcionamento das florestas tropicais. Algumas estimativas atuais de biomassa florestal contêm incertezas não dimensionadas devido à escassez de dados sobre sistemas radiculares. Incertezas que se devem à carência de dados empíricos sobre sistemas radiculares, que podem representar de 29 a 55% da

biomassa florestal nos trópicos (MOKANY et al., 2005). Modelos de estimativas globais utilizam um valor geral de 20% da parte aérea para quantificar biomassa radicular (CAIRNS et al., 1997; HOUTHTON, 2005) nas florestas tropicais, mas características estruturais e químicas do solo, da serrapilheira e fatores climáticos podem gerar variações importantes nesse valor (SILVER et al., 2005; RASSE et al., 2002).

Parte significativa da biomassa subterrânea são as raízes finas, definidas como aquelas com diâmetro inferior ou igual a 2 mm. Estas raízes compreendem uma proporção de 1 a 8% da biomassa total das árvores (VOGT et al., 1996). As raízes finas possuem grande importância fisiológica para os vegetais, pois além de contribuir com a respiração, elas são os principais órgãos responsáveis pela absorção de água e nutrientes (SILVER; MIYA, 2001). Além de suas funções na estrutura dos vegetais, as raízes finas também exercem funções importantes para o ecossistema, participando dos ciclos biogeoquímicos, como o ciclo da água, do carbono, do fósforo e do nitrogênio (JACKSON, 2000; RUBENS, 2007), contribuindo também para prevenir a erosão do solo (ARREDONDO; JOHNSON, 1999). Por estas razões, as raízes finas são um dos componentes importantes que precisam ser contabilizados, seja por meio do ciclo carbono na vegetação (MAJDI et al., 2007) ou por meio dos modelos de mudanças climáticas globais (ATKINSON, 2000; VARGAS; ALLEN, 2008).

A produção e decomposição das raízes finas são processos importantes que compõem a sua dinâmica, sendo imprescindíveis no fornecimento de nutrientes para as plantas, por meio da reciclagem (GOLLEY, 1978). A decomposição de raízes finas e sua posterior incorporação ao solo representam um dos processos mais importantes na reciclagem de nutrientes, nos solos, geralmente pobres, das florestas tropicais (VASCONCELOS et al., 2008). O processo de decomposição de raízes finas sustenta ciclos de nutrientes, desempenhando um papel essencial, *e.g.*, na regeneração de áreas degradadas (COSTA et al., 2004). O conhecimento desse processo, e a consequente ciclagem de nutrientes minerais e orgânicos é essencial para garantir o sucesso de reflorestamentos. As raízes em decomposição têm importante papel, pela associação com organismos no solo e consequente disponibilização de nutrientes às plantas (HOORENS et al., 2002.; MENEZES et al., 2010). Vários fatores influenciam as taxas de decomposição, tais como temperatura, umidade, aeração, composição química e estrutural da serrapilheira e

deposição atmosférica (ZHANG et al., 2008). Além disso, a variação na composição de macro e microfauna do solo também afeta as taxas de degradação dos diferentes tipos de resíduos (FERNANDES et al., 2006).

Nas florestas tropicais a biomassa e as taxas de produção e decomposição de raízes finas são elevadas (SILVER et al, 2005). Em um estudo realizado durante 7 anos em uma floresta tropical úmida na Costa Rica, para verificar a variação espaço-temporal de raízes finas com diâmetro menor que 5 mm, os autores verificaram que a biomassa de raízes finas decresceu com o aumento da fertilidade do solo e com o conteúdo de água no solo. Além disso, que houve forte variação do estoque de biomassa de raízes finas, mortas e vivas, durante o mesmo período (ESPELETA; CLARCK, 2007). Ainda, segundo os mesmos autores, a biomassa de raízes finas variou diferentemente durante os sete anos do período do estudo, tanto na paisagem, quanto no gradiente topográfico desta floresta. Para eles, este estudo é o primeiro a medir o estoque de raízes finas por um período suficientemente longo, permitindo elucidar a complexidade da variação espaço-temporal na biomassa de raízes finas em florestas tropicais. Na floresta amazônica, as raízes finas representam cerca de 60% do total de carbono encontrado nos primeiros 10 cm de profundidade do solo (SILVER et al., 2000) e cerca de 30% do carbono armazenado pelas raízes até 6 m de profundidade (TRUMBORE et al., 2006). Entretanto, para a Mata Atlântica os valores de produção (a longo prazo) e decomposição de raízes finas ainda não são conhecidos.

Estudos sobre a produção de raízes finas na região Amazônica mostram resultados que divergem quando é considerada a profundidade de medição da raiz. Por exemplo, os valores da produção de raízes finas relatados para duas florestas no Pará, Caxiuanã (METCALFE et al., 2007b) e Tapajós (SILVER et al., 2000). Metcalfe et al. (2007b) mediram a produção de raízes na profundidade de 30 cm em Caxiuanã e, no Tapajós, Silver et al. (2000) mediram a produção na profundidade de 10 cm. Malhi et al. (2009), usando o mesmo método e profundidade, obtiveram valores díspares. Para corrigir essa divergência, usaram perfis a 1 m de profundidade para padronizar os dados. Com esse método, os dados das estimativas de produtividade de raízes finas para os dois sítios (Caxiuanã,  $2,2 \pm 0,6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , Tapajós,  $2,0 \pm 0,3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) não apresentaram diferença significativa. Além da profundidade de coleta, os dados sobre produção de

raiz fina podem depender também do método de amostragem (MAEGHT et al., 2013). Em Caxiuanã, Metcalfe et al. (2007b) usaram o método rizotron e anéis de crescimento interno a 30 cm e no Tapajós, Silver et al. (2000) usaram uma combinação de amostragem sequencial de testemunhos de raiz e entrincheiramento de raiz.

As técnicas mais utilizadas atualmente para o cálculo da produção de raízes são: (i) núcleo sequencial do solo; (ii) núcleo de crescimento e; (iii) minirizotron. A técnica do núcleo sequencial do solo foi uma das primeiras a ser empregada para estimar a produção e mortalidade de raízes finas. O método baseia-se na mudança de biomassa radicular viva e/ou morta que é desenvolvida ao longo do tempo (NADELHOFFER et al., 1985; OSTERTAG, 2001), ou seja, a produção de raízes é estimada através da amostragem das raízes, que é feita várias vezes no mesmo local ao longo do tempo, e por um período sempre maior que um ano (LUKAC, 2012). Por esse método é estabelecida a variação anual e inter-anual na qualidade da biomassa (viva e morta) de raízes presentes no solo (LUKAC, 2012). Entretanto, o método do núcleo sequencial do solo, considera somente a biomassa das raízes e a necromassa. Assim, a validade deste método é discutível pois a produção primária líquida abaixo do solo é superestimada devido à variabilidade amostral e que podem se acumular devido à frequência de coletas no mesmo ponto e ao longo do tempo (MAJDI et al., 2007). O principal problema, que afeta a precisão da determinação do volume da raiz, é a obtenção de estimativas confiáveis para a decomposição de raiz *in situ* (MAJDI et al., 2007). Isso ocorre porque a maioria dos métodos de cálculo utilizados para obter as taxas de renovação, a partir de núcleos sequenciais, dependem de estimativas de massa morta (necromassa). Entretanto, extrair e medir a biomassa radicular morta do solo é difícil, uma vez que a renovação das raízes ocorre continuamente. A renovação de raízes (*turnover*) expressa a substituição de raízes velhas e senescentes por raízes novas, durante o crescimento e desenvolvimento da planta (WEST et al., 2004). Apesar das limitações, o método do núcleo sequencial possui a vantagem de possibilitar a coleta de amostras várias vezes no mesmo ponto amostral, o que torna as estimativas de renovação de raízes mais confiáveis, pois os intervalos mais curtos entre as amostragens reduz as incertezas sobre o método.

Outro método é o do núcleo de crescimento (*ingrowth*), que é um método no qual um núcleo intacto de solo é removido e substituído por um núcleo de volume equivalente de solo, mas, livre de raízes. Esse núcleo é recolocado no solo, porém dentro de uma armadilha (construída de material telado de malha ou tela de diâmetro determinado, instalados em uma profundidade conhecida) que são deixadas no campo por diferentes intervalos de tempo até sua remoção (LUKAC, 2012). O crescimento das raízes nos núcleos é utilizado para estimar a produção de raízes finas no campo, fornecendo estimativas de produção por unidade de área ( $\text{g m}^{-2}$ ) e tempo ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$  ou  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) (VOGT et al., 1998; STEINGROBE et al., 2000; HENDRICKS et al., 2006). Esse método foi introduzido por Flower-Ellis e Persson (1980) e tem sido utilizado em ecossistemas florestais e também em culturas agrícolas. O método serve para medir a produção de raízes finas diretamente por meio da introdução de um “tempo zero” dentro do perfil do solo que define o início do crescimento da raiz. Esse método é especialmente adequado para sistemas com crescimento rápido de raiz como nos trópicos úmidos e pode ser utilizado para avaliar os efeitos das manipulações experimentais sobre a produção de raízes. A maior vantagem do método de núcleo de crescimento é o seu baixo custo e sua relativa simplicidade o que permite um grande número de repetições de amostras e sua aplicação em áreas com alta variabilidade espacial de solos e distribuição de raízes (LUKAC, 2012).

O terceiro método é a técnica dos *minirhizotrons*, que consiste na observação visual da dinâmica de crescimento de raízes através de um tubo transparente inserido no solo. Esse tubo é frequentemente inclinado a  $45^\circ$  em relação à horizontal. Uma grande parte do tubo é inserida no solo, enquanto uma parte externa é coberta por um plástico opaco para evitar a entrada de água de chuva ou invasão de insetos ou outros animais de pequeno porte. As imagens das raízes no *minirhizotrons* (vivas e mortas) são capturadas com auxílio de uma câmara de vídeo acoplada a um endoscópio, permitindo registrar as raízes sequencialmente no tempo e em profundidade. Diferentes *softwares* foram desenvolvidos para análise dessas imagens como o Rhizogen (para plantas agrícolas) e o Raiz (para plantas arbóreas) (HENDRICK; PREGITZER, 1992). Através desse método é estimada a produção do comprimento radicular, sendo necessário aplicar um fator de correção para converter o comprimento de raiz em massa (STEELE et al., 1997).



Demodo semelhante ao método dos núcleos de crescimento, a técnica dos *minirhizontrons* introduz um tempo inicial a partir do qual se observa o crescimento das raízes finas. Durante a última década, essa técnica foi amplamente desenvolvida e, por ser um método não destrutivo, tornou-se o favorito de alguns pesquisadores (LOPEZ et al., 1998; RYTTER, 2001.; TIERNEY; FAHEY, 2002.; HENDRICKS et al., 2006). O método pode ser também utilizado em conjunto com outros métodos de perfuração sequencial de solos e permite várias estimativas de produção de raízes (MAJDI, 2007). A principal vantagem desse método é que esse sistema oferece o controle total do sistema radicular com a condição do solo num dado local, viabilizando estimativas precisas e rápidas através de amostragens detalhadas, em posições previamente selecionadas, pela visualização por janelas de observações (ATKINSON; MACKIE-DAWSON, 1991). Por outro lado, o método possui a desvantagem de não ser de baixo custo. Outra desvantagem é que se trata de um ambiente artificial, que muitas vezes não reflete as condições encontradas em campo, além de limitar o número de tratamentos, pois se trata de um ambiente espacialmente restrito. Segundo Withington et al. (2003) os estudos de curto prazo (menos que um ano) com uso de *minirhizontron* não permitem controlar adequadamente a longevidade de raízes finas vivas e os próprios tubos podem influenciar a vida útil das raízes.

No Brasil, além do aperfeiçoamento das técnicas empregadas na coleta, os estudos de produção de raízes possuem informações imprescindíveis para tomada de decisões com questões ligadas ao manejo florestal, clima, entre outras (HIGUCHI et al., 1998). Em relação ao manejo florestal, a produção está relacionada com os estoques de macro e micronutrientes da vegetação obtidos pelo produto de massa de determinado compartimento da planta (tais como, parte lenhosa, folha e raízes) e pelas concentrações de cada mineral. Em relação ao clima, a produção é usada para estimar os estoques de carbono, que, por sua vez, são utilizados para estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> que é liberada para atmosfera, *e.g.*, durante um processo de queimada. Além disso, a conferência das Nações Unidas para mudanças climáticas e, em particular, o Protocolo de Kyoto, reconhecem a importância do sequestro de carbono em florestas e a necessidade de monitorar, preservar e incrementar os estoques de carbono no solo, contribuindo para reduzir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (IPCC, 2003).

Em estudos sobre manejo florestal, alguns pesquisadores brasileiros têm empregado tanto a técnica de núcleo sequencial como de núcleos de crescimento a fim de estimar a produção de raízes finas e sua renovação anual sob regimes de fertilização de nitrogênio em plantações de eucaliptos tropicais em Itatinga (SP). Nestas áreas, a taxa de produção de raízes finas foi maior no tratamento sem adubação nitrogenada ( $1,66 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) do que no tratamento com adubação nitrogenada ( $1,12 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), indicando que o nitrogênio não foi o fator limitante para o crescimento das árvores (JOURDAN et al., 2008). Os valores de produtividade de raízes finas encontrados nesse estudo foram similares aos relatados por Lima et al. (2010) para uma floresta tropical secundária em Apéu (PA) ( $1,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e menores que os relatados por Silver et al. (2005) ( $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e Metcalfe et al. (2008) em floresta tropical do Tapajós e Caxiuanã no Pará ( $7,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Todos estes valores estão dentro da faixa registrada para outras florestas tropicais de  $1,0$  à  $15,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (NADELHOFFER; RAICH, 1992; SANFORD, 1990; JIMENEZ et al.; 2009). No geral, os resultados destes estudos sugerem que os padrões de alocação abaixo do solo podem variar de acordo com o tipo de limitação de recursos do solo. Além disso, o conhecimento da dinâmica de raízes finas no solo pode também ser importante para programas de melhoramento genético, pois um crescimento rápido das raízes em profundidade pode contribuir para explicar diferentes taxas de sobrevivência de diversas espécies em períodos secos (NEPSTAD et al., 1994; METCALFE et al., 2008; PINHEIRO, 2014).

Em um estudo sobre produção de raízes finas realizado em um transecto de altitude, em florestas do litoral atlântico brasileiro do Estado de São Paulo (SOUSA-NETO et al., 2011), a produção média de raízes finas, na profundidade de 0-10 cm foi maior na estação seca ( $1098,3 \text{ g m}^{-2}$ ) do que na estação chuvosa ( $464,0 \text{ g m}^{-2}$ ), em altitudes de 1000 m. Os autores concluíram que em baixas altitudes (100 m), a umidade e a temperatura do solo é maior e que esses fatores (isolados) foram responsáveis pela decomposição e produção de biomassa das raízes. Nessa mesma região, Rosado et al. (2011) realizou outro estudo que avaliou a variação sazonal de parâmetros radiculares nas florestas ombrófilas densas de Terras Baixas (100 m de altitude acima do nível do mar) e Montana (1000 m de altitude) na Mata Atlântica, litoral paulista (SP). Esses autores encontraram produção maior de raízes finas total, no período seco, em Florestas de Montana ( $875,22 \text{ g m}^{-2}$ ) e a menor produção total de raízes finas, no período chuvoso

em Florestas de Planície ( $219,11 \text{ g m}^{-2}$ ) concordando com as conclusões de Sousa-Neto et al.(2011). Os autores analisaram o comprimento radicular na profundidade de 0-5 cm em ambas as altitudes e verificaram que na floresta de Montana o comprimento radicular aumentou de 79,41%, na estação seca, para 94,38% na estação chuvosa, independentemente das variações de produção de raízes. Concluindo que a variação do comprimento radicular entre as estações climáticas independe das variações sazonais na produção de raízes, indicando que o comprimento radicular é o melhor descritor para estudos que caracterizem o potencial de absorção de água e nutrientes na Mata Atlântica (PINHEIRO, 2014).

Apesar dos vários estudos realizados sobre a dinâmica da biomassa de florestas tropicais (MALHI et al., 2004; PHILLIPS et al., 2004; PHILLIPS et al., 2009), informações sobre a dinâmica e renovação do componente radicular e quais os fatores/mecanismos que definem esta dinâmica, ainda não foram suficientemente bem compreendidos e são escassos (GUO et al., 2004; PREGITZER, 2002). Essa escassez provavelmente se deve à complexidade e opacidade do sistema radicular e ao fato de que a obtenção de dados de campo é laboriosa, exigindo grande demanda de mão de obra e de tempo, além disso, devido às diferenças entre protocolos e à variabilidade na distribuição de raízes, os resultados apresentam um espectro de valores bastante amplo.

Considerando o exposto anteriormente, e visando contribuir para o aumento no conhecimento sobre o papel de raízes finas na dinâmica de florestas tropicais, este estudo foi proposto com o **objetivo** de estimar a dinâmica (produção e decomposição) de raízes finas em sítios distintos de floresta tropical, no domínio da Mata Atlântica, em função da disponibilidade de nutrientes no solo e na deposição úmida e sua sazonalidade, e identificar os principais fatores que controlam as taxas de produtividade de raízes finas. As diferenças entre os sítios permitirão, através da determinação da produção e decomposição dessas raízes, aumentar a compreensão dos mecanismos que modulam esse componente da produção primária líquida.

## 1.1 Motivação

Na Mata Atlântica, estudos recentes de Sousa-Neto et al. (2011), Rosado et al. (2011) e Silva (2015) forneceram as primeiras informações sobre a dinâmica das raízes

finas, priorizando apenas os estudos de produtividade de raízes finas, sem considerar o processo de decomposição. Assim, o desenvolvimento de estudos que possibilitem uma melhor compreensão da dinâmica de raízes finas em ecossistemas florestais, associados a estudos de ciclagem de nutrientes por meio da transferência destes nos compartimentos atmosfera-planta-e-solo na região sudeste do Brasil, é fundamental para o entendimento e manutenção da produtividade das florestas naturais e também das plantadas.

Diante do exposto, as questões científicas que norteiam este estudo são as seguintes:

- a) Como a produção e a decomposição de raízes finas ( $\varnothing \leq 2$  mm) variam em função da disponibilidade de nutrientes no solo, da deposição de nutrientes via água de chuva e da quantidade de água de chuva?
- b) Como a produção de raízes finas está relacionada com a mudança na cobertura florestal?

Para atingir os objetivos propostos e responder estas questões, foi necessário investigar e identificar quais são os fatores principais que controlam a produção de raízes finas e sua taxa de decomposição, relacionando-os com a disponibilidade de carbono e nutrientes no solo (N, K, Ca, Mg e P) e na deposição atmosférica de nutrientes via água de chuva, no domínio de Florestas Tropicais de Mata Atlântica. Para tal, foram realizados os seguintes estudos:

- a) Determinação das concentrações de nutrientes na água de chuva.
- b) Produção de raízes finas;
- c) Decomposição de raízes finas;
- d) Nutrientes disponíveis no solo e nas raízes;
- e) Determinação da biomassa aérea.

## **1.2 Estrutura da tese**

Este estudo está estruturado em 4 capítulos. O presente capítulo apresentou uma introdução acerca da produção primária líquida das florestas tropicais globais e na região sudeste do Brasil, a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes entre os

compartimentos atmosfera, planta e solo, o desafio para se trabalhar com a dinâmica das raízes finas em florestas tropicais, motivação e objetivo deste estudo.

No capítulo 2 apresentam-se as características das áreas estudadas, os métodos utilizados nesta pesquisa para coleta de amostras em campo, para a determinação da produção e decomposição de raízes finas, coleta da água de chuva e sua caracterização química para determinação da deposição atmosférica.

No capítulo 3 são apresentados os resultados, divididos em 5 itens: no item 3.1 são apresentados os resultados das concentrações químicas e deposições atmosféricas; no item 3.2 são apresentados os resultados do estudo de solos; no item 3.3 são apresentados os resultados do estudo de dinâmica de raízes; no item 3.4 são apresentados os resultados do estudo sobre a cobertura vegetal e no item 3.5 são apresentados os estoques de carbono e nutrientes nos diferentes compartimentos.

No capítulo 4 são apresentadas as discussões dos resultados, divididos em 6 itens: no item 4.1 são apresentadas as discussões acerca das características sazonais e trimestrais das águas de chuva; no item 4.2 são discutidos os resultados de deposição atmosférica; no item 4.3 são discutidos a disponibilidades da água de chuva; no item 4.4 são discutidos os resultados dos solos; no item 4.5 são discutidos os resultados de dinâmica de raízes finas; no item 4.6 são discutidos os resultados de biomassa aérea e, no item 4.6, são discutidos os resultados dos estoques de carbono e nutrientes nos diferentes compartimentos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste estudo.



## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

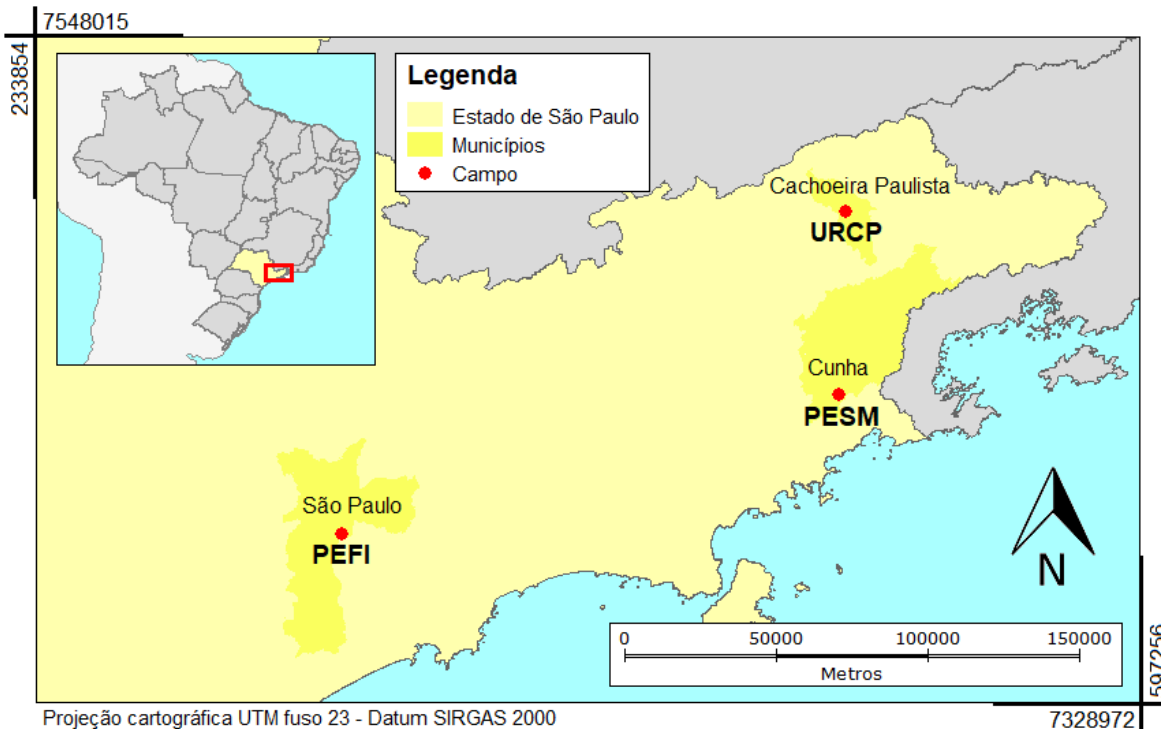
Neste capítulo, apresentam-se as características das áreas de estudo, os materiais utilizados e os procedimentos realizados no desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, apresentam-se também os procedimentos empregados para o cálculo das taxas de produção e decomposição das raízes finas, o cálculo da deposição atmosférica e os métodos das análises de dados.

### 2.1 Áreas de estudo

Este estudo foi realizado em três áreas do domínio Mata Atlântica no estado de São Paulo, com florestas em diferentes estádios sucessionais que foram escolhidas em função de suas características atmosféricas, portanto sujeitas a diferentes níveis de deposição de espécies químicas via precipitação, sendo que algumas dessas espécies químicas são reconhecidas como nutrientes, e também por serem de fácil acesso e possuírem boa infraestrutura. As áreas escolhidas foram: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – **PEFI** – constituída por um fragmento de floresta circundada pela região metropolitana de São Paulo e que por isso recebe quantidades significativas de compostos químicos resultante de atividades industriais, siderúrgicas, refinarias de petróleo, e das emissões veiculares, sendo considerada, neste estudo, como uma área antropizada por ser afetada fortemente por fluoretos gasosos, óxidos de nitrogênio, amônia e material particulado (PELI et al., 2015); Parque Estadual Serra do Mar, núcleo Cunha Indaiá – **PESM-Cn** – inserido na Reserva da Mata Atlântica, com cobertura florestal secundária recente, está sendo recuperada há 60 anos, dos quais os últimos 36 anos compreendem a fase de transformação dessa área em Parque Estadual e, do ponto de vista funcional, pode ser considerada como uma área não perturbada ou uma floresta natural de referência pois, encontra-se fora da influência direta das indústrias, e a Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista – **URCP** – representada por uma vegetação de cobertura mista, composta por um plantio com aproximadamente 4 anos, remanescentes de florestas e pastagens. Pode ser considerada, do ponto de vista da qualidade atmosférica, como zona rural, por ser um município de baixo desenvolvimento (o turismo religioso é uma das principais atividades econômica da região), por estar próxima a Rodovia Presidente Dutra, esta área é afetada por CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>,

NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e material particulado (TESSAROLO, 2012; PELI et al., 2015) (Figura 2.1).

Figura 2.1: Localização geográfica das áreas de estudo



Fonte: Elaboração da autora.

### 2.1.1 Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)

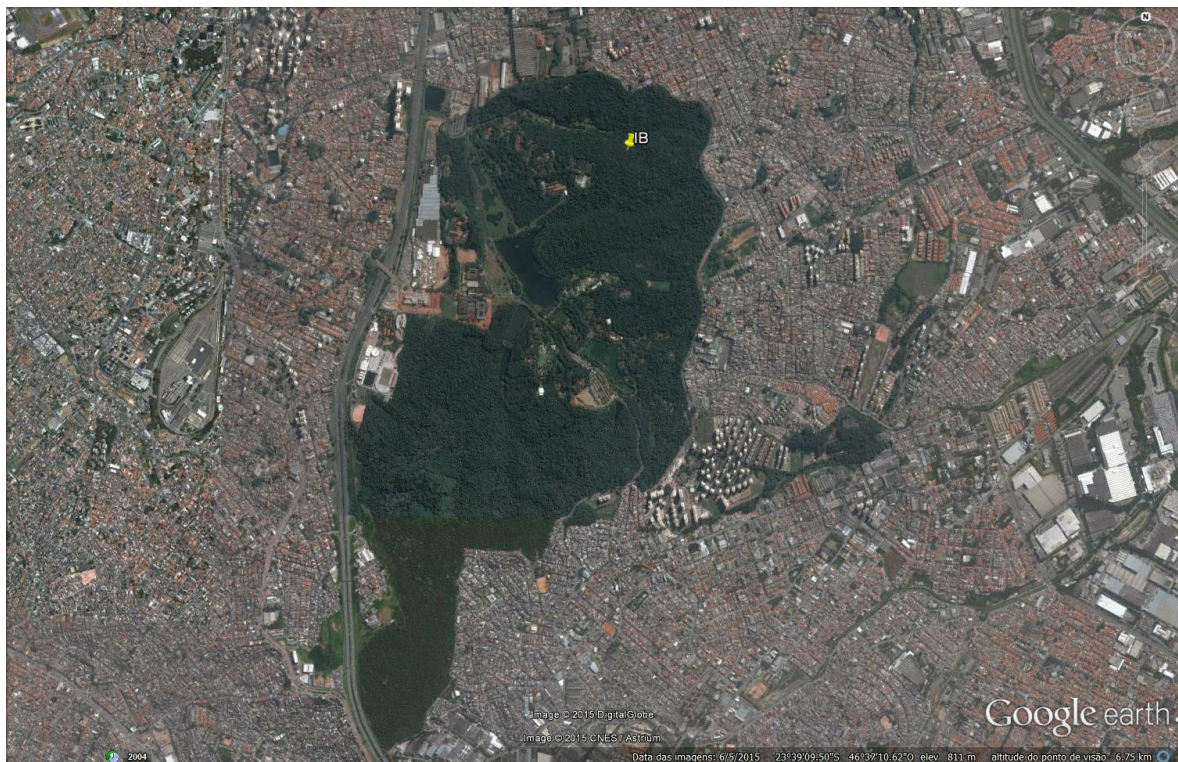
O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) situa-se na região sudeste do município de São Paulo, apresenta elevação média de 798 m e área total de 526,4 ha. Com 357 ha de Reserva Biológica, está totalmente situado em área urbana, com vegetação em diferentes estágios sucessionais (FERNANDES et al., 2002; BICUDO et al., 2002) (Figura 2.2). Este parque foi inaugurado em 1928 como um orquidário, atualmente abriga diversas espécies vegetais (ROCHA, 2008). O PEFI é parte integrante da zona urbana de São Paulo e possui perfil paisagístico bastante variado, com mata natural associada a áreas desmatadas, em consequência da ocupação antrópica. Trata-se de uma unidade de conservação que abriga a terceira maior reserva de Mata Atlântica do município de São Paulo (BARROS et al.; 2002).



A população da cidade de São Paulo estimada em 2017, é de 12.106.920 habitantes (IBGE, 2018). A densidade demográfica em 2010 era de 7.398,26 hab/km<sup>2</sup>. Esse estado tem como principais atividades econômicas: a agricultura, pecuária, indústria, serviços, comércio e turismo (IBGE, 2018).

O clima desta área corresponde ao tropical de altitude, baseado em três critérios: (i) altitude em torno de 800 m a partir do nível do mar, (ii) amplitude térmica, médias mensais máximas e mínimas anuais, não excede a 6-8°C e a temperatura média do ar do mês mais frio (julho) é de 15 °C e a dos meses mais quentes (janeiro-fevereiro) é de 21,4-21,6 °C (SANTOS; FUNARI, 2002), (iii) período seco com precipitação média mensal em 2 meses não excede 60 mm (CONTI; FURLAN, 2003). A precipitação anual média (período de 1933-2000) é de 1.368 mm (RAMOS et al., 2009).

Figura 2.2: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – PEFI (área escura) com o marcador em amarelo indicando o ponto central da área de estudo (23°38'24.77"S e 46°37'5.48"W).



Fonte: Imagem obtida do Google Earth (15/07/2015).

O solo de maior ocorrência na área do PEFI é o Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006). Estes solos são de textura argilosa e são encontrados em todas as regiões no Estado de São Paulo, dependendo da região e da fertilidade, são solos de boa drenagem (IAC, 2015). Os solos dessa região são em sua maioria escuros no horizonte superficial em função doselevados teores de carbono orgânico associados com a vegetação de floresta e vermelho-amarelonos horizontes subsuperficiais, com pH ácido ( $4,3 < 5,3$ ). Apresenta saturação por alumínio elevada ( $>50\%$ ), indicando condições de toxidez no solo (BARBOSA et al., 2008).

A vegetação do PEFI é de domínio da Floresta Ombrófila Densa, apresentando também muitos elementos da Ombrófila Mista com *Araucaria* e, em menor número, da Estacional Semidecidual (VELOSO et al., 2012). Pertence ao grupo das florestas pluviais tropicais, sendo um dos poucos fragmentos da floresta Atlântica de planalto, apresentando cinco padrões florestais secundários, estando em diversos estádios de sucessão, com poucas espécies climáticas (PIVELLO; PECCININI, 2002). Embora seja uma vegetação secundária, Barros et al.,(2002) destacam a sua importância, uma vez que vem sendo conservada, provavelmente, desde a criação do PEFI em 1893, com a finalidade de proteger os mananciais para o abastecimento de água (SOUSA et al., 2008). Além disso, a vegetação remanescente é responsável pela adequação do ambiente para o retorno da floresta à sua condição inicial, servindo como fonte de propágulos para a regeneração de áreas desmatadas de seu entorno.

A caracterização mais detalhada do meio físico e biológico, bem como dos impactos antrópicos nesta unidade de conservação, encontram-se disponíveis em Bicudo et al.,(2002a). Vale ressaltar que em meados de junho de 2014, quando se instalou o experimento de produção de raízes, foi observado que a vegetação é composta por plantas arbóreas com reduzida vitalidade, permitindo a proliferação de plantas agressivas e menos exigentes, como cipós e bambus. Provavelmente essa proliferação se deve a alta deposição de poluentes oriundos, principalmente, das emissões veiculares e industriais (STRUFFALDI-DE-VUONO, 1985; FORTI et al., 2005 ). Neste sítio a localização do ponto central dos sistemas de amostras e medidas de raízes finas têm coordenadas geográficas  $23^{\circ}38'24.77''S$  e  $46^{\circ}37'5.48''W$ .

### 2.1.2 Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista (URCP)

A Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista localiza-se no município de mesmo nome, na região administrativa do Vale do Paraíba. A área rural do INPE possui 1.050 hectares, contendo uma extensa área verde, com plantações de eucaliptos, pomares e lagos, dentre outros, e elevação média de 576 m, pertence a microrregião de Guaratinguetá, entre as Serras da Mantiqueira e da Bocaina, em plena bacia sedimentar terciária. A população de Cachoeira Paulista estimada em 2017 é de 32.536 habitantes (IBGE, 2016). O município possui distância de 210 km de São Paulo e 212 km do Rio de Janeiro, que são interligadas pela principal rodovia de acesso, a Rodovia Presidente Dutra (BR-116). É uma região marcada pela forte cultura do café no século XIX, e atualmente vem crescendo pelo aperfeiçoamento de seu comércio e prestação de serviços, aprimoramento da agropecuária e principalmente do desenvolvimento do turismo religioso (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2012) (Figura 2.3).

Figura 2.3: Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista - URCP, com marcador em amarelo indicando o ponto central da área de estudo (22°41'33.8"S e 44°59'46.6"W).



Fonte: Imagem obtida do Google Earth (15/07/2015).

O clima dessa região é de inverno seco e verão chuvoso ou tropical e subtropical quente (SETZER, 1996). Com base em uma série de 30 anos (1961-1990), a precipitação média anual é de 1397 mm (RAMOS et al., 2009). O verão apresentou pluviosidade maior do que o inverno, sendo os meses mais chuvosos: dezembro (245 mm), janeiro (233 mm) e fevereiro (192 mm) e os mais secos: maio (40,9 mm), junho (29,3) e julho (31,1 mm). A temperatura média anual é de 20,3°C, sendo, em geral, janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 26°C (a máxima pode chegar aos 30 °C). O mês mais frio é quase sempre julho, que pode apresentar temperatura média de 16 °C (RAMOS et al., 2009).

Os solos da região de estudo no INPE são do tipo Gleissolos, Argilosos e Cambissolos, todos apresentando textura argilosa, com baixos teores de alumínio trocável em superfície, segundo a classificação de Camargo et al., (1987) e a nova classificação da EMBRAPA (2006).

De acordo com o mapa florestal dos municípios do estado de São Paulo (INSTITUTO FLORESTAL, 2014), em relação à área do município, Cachoeira Paulista possui cerca de 2% de sua cobertura vegetal composta por mata, 5% por áreas de capoeira e 1% por áreas em reflorestamento. Em 2013, um acordo feito entre o INPE e a Associação dos Corredores Ecológicos do Vale do Paraíba (ACEVP), permitiu o reflorestamento de uma área de 6 ha com intuito de compensar as emissões de carbono plantando árvores. A parceria com a ACEVP e o INPE permitiu a elaboração de estratégias de curto e médio prazos, envolvendo o plantio de mudas e a transformação da área em um campo de pesquisa. Essa medida de compensação priorizou a recomposição da paisagem, biodiversidade e estrutura do ecossistema. Essa implementação e sua manutenção tiveram como objetivo replantar a área que antes era coberta por *Brachiaria* sp. e alguns poucos pés de ipês (*Tabebuia* sp.). A recomposição vegetal da área priorizou as espécies ameaçadas de extinção, sendo escolhidas representantes de todos os estágios sucessionais, por espécies pioneiras (pioneiras e secundárias iniciais) e não pioneiras (tardias e climáticas). Nesta área, cerca de um pouco mais de novemil mudas foram utilizadas no plantio. Neste sítio, a localização do ponto central dos sistemas de amostras e medidas de raízes finas corresponde às coordenadas geográficas 22°41'33.8"S e 44°59'46.6"W.

### 2.1.3 Parque Estadual da Serra do Mar– Núcleo Cunha – Indaiá (PESM-Cn)

O Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha-Indaiá, município de Cunha, SP, é uma reserva ambiental de aproximadamente 140 km<sup>2</sup>, criada no ano de 1977 para proteger e preservar parte da Mata Atlântica ainda intacta, a biodiversidade local, bem como monitorar propriedades rurais que possuam áreas verdes protegidas (INSTITUTO FLORESTAL, 2009). O núcleo Cunha-Indaiá encontra-se a uma altitude de 1.040 m, no alto da serra do Indaiá, que é uma fração da Serra do Mar, distante 15 km do litoral norte do Estado de São Paulo (Figura 2.4).

Figura 2.4: Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha Indaiá (PESM-Cn), com o marcador em amarelo indicando o ponto central da área de estudo (23°14'14.04"S e 45°1'3.87"W).



Fonte: Imagem obtida do Google Earth (15/07/2015).

A região sudeste do Brasil, se caracteriza como uma região de transição entre climas quentes das latitudes baixas e climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias (NIMER, 1979). Assim, nas regiões serranas como o município de Cunha, localizadas a leste, são registrados os extremos mínimos de temperatura durante o

inverno do hemisfério sul (QUADROS et al., 2012; CICCIO, 2013). O clima de Cunha é influenciado pela topografia da região e proximidade ao oceano, o que representa um clima regional caracterizado pelo predomínio de massa tropical, sendo que as massas polares são menos frequentes e que, por isso, conduzem à existência de um período menos chuvoso, exceto no litoral (CONTI, 1975; ARMANI, 2004). O período chuvoso estende-se de outubro a março e o período seco, ou pouco chuvoso, compreende os meses de abril a setembro (RANZINI, 2002).

A precipitação média anual no Núcleo Cunha é de 2.200 mm e as temperaturas médias máximas e mínimas do ar são de 26°C e 16°C, respectivamente (CICCIO, 2004), notando-se que os meses mais quentes são normalmente janeiro, fevereiro e março, sendo que as temperaturas oscilam entre 23 e 21°C (ARMANI, 2004). A umidade relativa média mensal do ar, segundo Arcova (2013), é de aproximadamente 80%, com ocorrência frequente de nevoeiros densos no período crepuscular e noturno.

Os solos do Núcleo Cunha foram classificados por Furian e Pfeifer (1986) como Latossolo Vermelho Amarelo Fase Rasa, atualmente Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico (EMBRAPA, 1999). São provenientes de rochas duras, orientadas e de difícil decomposição, como gnaisses, migmatitos e granitos. São solos quimicamente pobres, ácidos e relativamente rasos, com textura grosseira, estrutura fraca, elevada porosidade e boa permeabilidade.

A cobertura vegetal do Núcleo Cunha é constituída por cerca de 15 a 20% de floresta natural secundária sucessora da vegetação original de Mata Atlântica – floresta ombrófila densa. Desde a década de 1950 desenvolveu-se no local a exploração madeireira, a qual, com a criação do Parque Estadual Serra do Mar, em 1977, foi paralisada e a área entrou em processo de regeneração natural (LEITÃO FILHO, 1982). Antes da criação do PESM-Cn, a área foi utilizada para extração de madeira, agricultura de subsistência e criação de gado. Resquícios de fornos de carvão ainda podem ser encontrados nas trilhas do Núcleo Cunha, indicando que uma parte da madeira também foi utilizada para a produção de carvão. Somente nos topos dos morros (divisores d'água principais) e em alguns trechos do fundo de vale é que a mata foi preservada (AGUIAR et al., 2001). Neste sítio a localização do ponto central dos sistemas de

amostras e medidas de raízes finas corresponde às coordenadas geográficas 23°14'14.04"S e 45°1'3.87"W.

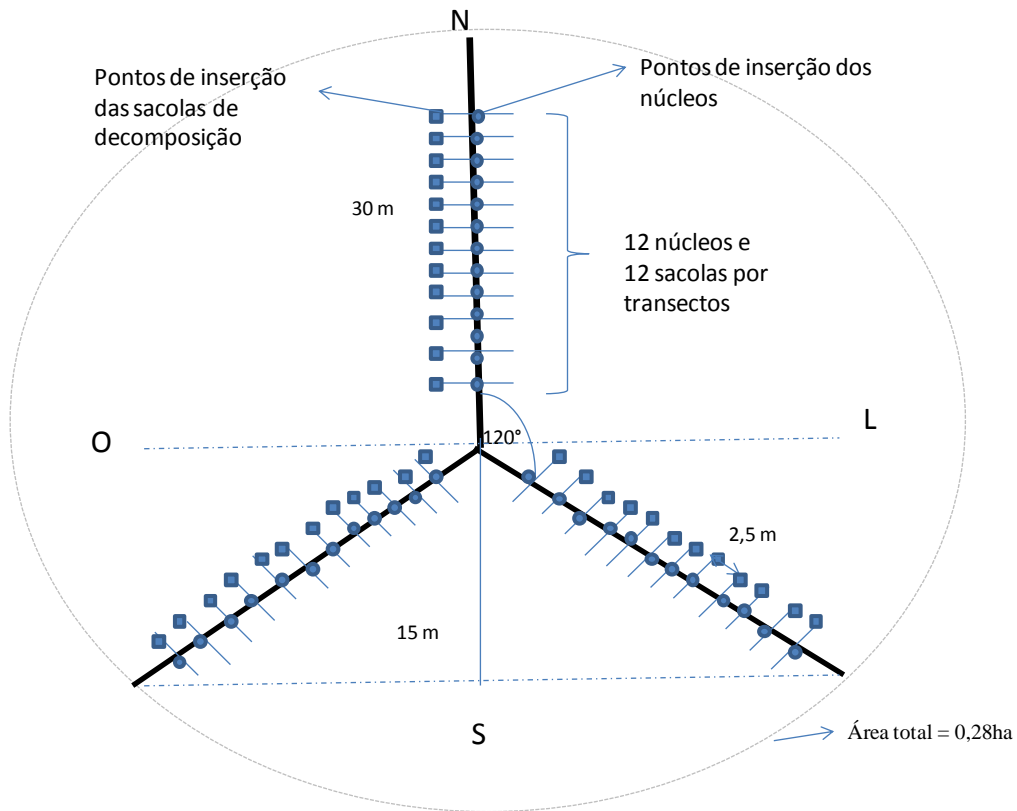
## **2.2 Justificativas do método de amostragem escolhido para determinação da produção de raízes**

Neste estudo, adotou-se o método do núcleo de crescimento (*ingrowth*), por ser um método eficaz para estudos em ecossistemas onde o crescimento radicular é rápido, a exemplo dos trópicos chuvosos, por ser de baixo custo e de simples construção (VOGT et al., 1998). Além disso, este método tem sido empregado em diferentes climas e áreas de manejo florestal com intuito de monitorar o crescimento de raízes finas em florestas tropicais na Amazônia (JIMÉNEZ et al., 2009; ARAGÃO et al., 2009; LIMA et al., 2012) e na Mata Atlântica (JOURDAN et al., 2008).

## **2.3 Desenho amostral**

O desenho amostral teve como base amostragens em triplicata. Para tal foi adotado o desenho amostral utilizado pelo protocolo do projeto FROSTFIRE (*A landscape experimental fire in the Boreal Forest of Central Alaska* – comunicação pessoal, J. C. Santos – INPE Cachoeira Paulista) que tem como base transectos radiais, desta forma, as triplicatas (representadas pelos transectos) englobam uma maior diversidade de solo e cobertura vegetal. Assim, em cada uma das áreas escolhidas foram efetuados três transectos com 30 metros de comprimento, todos partindo de um mesmo ponto, formando um ângulo de 120° entre eles. Esse desenho cobriu, em cada sítio de estudo, uma projeção de área de 0,28 ha. Cada ponto foi demarcado com um cano PVC de 80cm inserido no solo. Com esta configuração foram totalizadas 36 amostras de produção por sítio. Ao longo de cada transecto foram distribuídos doze núcleos (raíz e solo), distantes 2,5 m um do outro, para o estabelecimento dos núcleos de produção de raízes cujo esquema é mostrado na Figura 2.5. Os núcleos de produção foram instalados distantes aproximadamente 1,5 m das árvores com diâmetro a altura do peito maior igual a 10 cm ( $DAP \geq 10\text{cm}$ ) para evitar interferência de raízes grossas.

Figura 2.5: Esquema da distribuição dos núcleos de crescimento e sacolas de decomposição de raízes finas ao longo dostransectos de 30 m.



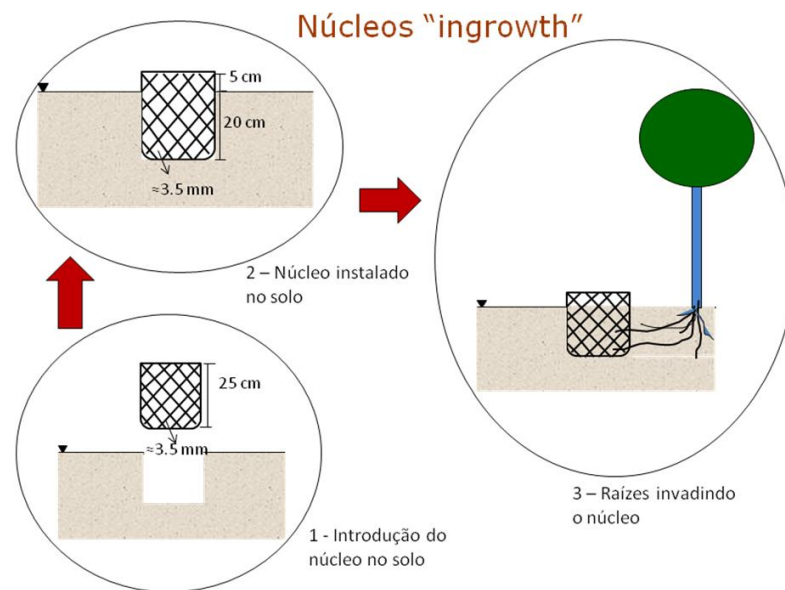
Fonte: Elaboração da autora.

#### 2.4 Aplicação do método do núcleo de crescimento

Para aplicação do método do núcleo de crescimento, também conhecido como “*ingrowth*” (GLEESON; GOOD, 2003), os núcleos foram construídos em tela de nylon medindo 25 cm de comprimento por 10 cm de diâmetro, com abertura de malha de 3,5 mm para passagem das raízes. Ao serem instalados, 20 cm ficaram inseridos no solo e 5 cm ficaram acima da superfície, para que fossem identificados com fita colorida, facilitando a identificação das amostras nos períodos subsequentes à cada coleta, conforme esquema apresentado na Figura 2.6.



Figura 2.6: Esquema apresentando a instalação de um núcleo de crescimento de raízes no solo.



Fonte: Elaboração da autora.

No presente estudo, a instalação dos núcleos de crescimento de produção de raízes ocorreu nos meses de abril a junho de 2014, sendo instalados nas três áreas, totalizando 108 núcleos, sendo 36 por área de estudo. As raízes coletadas durante a instalação dos núcleos de crescimento foram tratadas (triadas, lavadas e secas ao ar por 48 h) e armazenadas para serem utilizadas posteriormente no experimento de decomposição. Foram realizadas seis campanhas de coletas e, em cada campanha, foram recolhidos 18 núcleos aleatoriamente, sendo seis em cada área segundo o cronograma apresentado na Figura 2.7. A primeira coleta de núcleos *ingrowth* foi efetuada cinco meses após o estabelecimento desses núcleos no campo. As demais coletas foram feitas em intervalos trimestrais como indicado na Tabela 2.7.

Figura 2.7: Cronograma de estabelecimento (destacado em amarelo) e retirada (destacado em verde) de raízes dos núcleos de crescimento (20 cm de profundidade).

Método	Área	Ação	Número de núcleos																													
Núcleos de crescimento (Ingrowth)	URCP, PESM, PEFI	Estabelecimento	108																													
		Retirada	18			18			18			18			18																	
			A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
			2014						2015						2016																	

Fonte: Elaboração da autora.

## 2.5 Amostragens das raízes de decomposição

Um inconveniente associado ao método de núcleos “*ingrowth*” é que ao longo de um ano de experimento uma parte das raízes produzidas podem morrer e se decompor, e dessa forma os valores de produção anual de raízes finas ficam subestimado. Para controlar a magnitude do impacto que esse processo pode ter sobre as estimativas anuais, é necessário estimar a taxa de decomposição de raízes ao longo da duração do experimento (OLSON, 1963; THOMAS; ASAKAWA, 1993). Esse procedimento, além de avaliar o efeito da decomposição das raízes sobre as estimativas, permite também estimar o estoque e a labilidade de carbono, bem como sua importância na ciclagem de nutrientes no sistema.

Para estudar a decomposição de raízes foram construídos sacos de náilon revestido de poliéster, também chamado de sacolas de decomposição de raízes ou “*rootbags*”, medindo 12 cm x 15 cm, com pequena abertura de malha de 0,5 mm, conforme apresentado na figura 2.8. Cada saco continha aproximadamente 2 g de raízes; as raízes utilizadas no experimento de decomposição foram as mesmas que foram retiradas anteriormente no momento da instalação dos núcleos de crescimento. Os sacos foram fechados e o tempo de incubação foi de 40 dias, a partir da data de estabelecimento no campo, quando então foram retirados do campo. Para a montagem deste experimento, foram retiradas, da camada de 0-20 cm de profundidade do solo, as raízes finas, e os sacos, em conjuntos de 36 por área, foram enterrados na camada de 0 – 5 cm, sendo 12 sacos por transecto, próximo ao local em que foram instalados os núcleos de crescimento de raízes, totalizando 108 amostras de raízes de decomposição.

Figura 2.8: Sacolas de decomposição, presas à um cano pvc, sendo enterradas à 5 cm de profundidade.



Fonte: Elaboração da autora.

Foram feitas 6 retiradas do material ao longo de um ano, 40, 70, 130, 190, 250 e 365 dias após o enterre das amostras. Em cada evento de coleta foram retiradas seis amostras por área, conforme esquema apresentado na Figura 2.9.

Figura 2.9: Cronograma para estabelecimento (destacado em amarelo) e retirada (destacado em verde) de raízes em decomposição.

Método	Área	Ação	Número de núcleos																													
Bolsas de decomposição (litter bags)	URCP, PESM, PEFI	Estabelecimento	108																													
		Retirada		18	18	18	18	18		18																						
			A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
			2014					2015					2016																			

Fonte: Elaboração da autora.

Ressalta-se que durante a segunda coleta de raízes de produção e decomposição (janeiro/2015), a área de estudo no PESM-Cn, foi invadida por animais silvestres. A perturbação ocasionada por estes animais resultou na destruição de grande parte das armadilhas de crescimento e das sacolas de decomposição de raízes, ambas tiveram que ser reinstaladas, com isso as coletas e medidas foireiniciado em abril de 2015.

## 2.6 Evolução da cobertura vegetal

Para o acompanhamento da dinâmica da cobertura vegetal, utilizaram-se todas as árvores com DAP maior que 4 cm, em três parcelas de 30 m x 10 m em cada sítio. Este estudo foi realizado para comparar o incremento de biomassa aérea, o qual possibilita a estimativa de estoque de carbono nessas frações florestais. Assim, é possível verificar se houve ou não alguma mudança na cobertura vegetal.

Em cada uma dessas árvores foram colocadas placas de identificação, aproveitadas de latas de alumínio (SILVA, 2011), contendo a numeração da planta, para acompanhamento das medidas do DAP (Figura 2.10). As medidas foram feitas com frequência trimestral. Com esses valores, foram determinados os incrementos de biomassa em cada árvore, a partir da estimativa da biomassa da parte aérea (BPA) ou biomassa acima do solo, utilizando-se a Equação (1) para floresta tropical Atlântica, proposta por Tiepolo et al. (2002):

$$BPA = 21,297 - (6,953 \times DAP) + [0,74 \times (DAP^2)] \quad (1)$$

Para árvores com DAP variando entre 4 e 116 cm, ou seja,  $4 \text{ cm} \leq DAP \leq 116 \text{ cm}$ , em que:

BPA é a estimativa de biomassa acima do solo;

DAP é o diâmetro a altura do peito (1,30 m).

Essa equação foi empregada por utilizar apenas o DAP como variável independente, além da facilidade de sua medição em campo, sem erros amostrais (HIGUCHI et al., 1998). Além disso, o modelo alométrico escolhido foi comparado ao modelo utilizado por Chambers et al. (2001) e o modelo de Brown (1997), ambos são modelos de simples entrada recomendado para florestas tropicais. Porém, ambos os modelos forneceram maiores estimativas de biomassa quando comparado com o modelo de Tiepolo et al. (2002), recomendado para Mata Atlântica.

Foram tomados os pontos dos núcleos de crescimento como ponto inicial para a seleção das árvores e, a partir deles em um raio aproximado de 5 m para ambos os lados (tanto para esquerda quanto para direita). Com uso de uma bússola e um GPS, fez-se a

marcação, a identificação, a tomada da medida da circunferência das árvores com o uso de uma fita métrica, que foi transformado em diâmetro posteriormente utilizando fórmula matemática, e o georreferenciamento das espécies arbóreas.

Figura 2.10: Identificação das plantas com placas de alumínio para medida de DAP.



Fonte: Elaboração da autora.

## 2.7 Amostragem de solos

As amostras de solo foram obtidas no mesmo local em que o sistema de amostragem de raízes foi instalado. Em cada área e a cada campanha foram coletadas seis amostras (duas em cada transecto), totalizando 36 amostras de solo retirados dos núcleos “*ingrowth*” retidos na profundidade 0-20 cm, com uso de um trado com as dimensões de 10 cm de diâmetro interno por 20 cm de comprimento. Das 36 amostras de solo por sítio foram feitas amostras compostas, reduzindo para 6 amostras por sítio.

O solo retirado no momento da instalação do sistema de produção foi triado no campo e uma amostra com aproximadamente 100 g foi retirada para medida de umidade. O solo remanescente foi repostado no local original; o solo retirado nas campanhas de coleta, não retornou ao seu local original, pois as amostras retiradas dos núcleos foram secadas ao ar e triadas, ficando livre das raízes e demais fragmentos. As amostras foram passadas em peneiras com abertura de 2 mm. Parte desse solo (350g) foi analisado no laboratório do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC para se determinar o teor de carbono,

nutrientes (N mineral, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) e textura do solo. Os métodos utilizados pelo IAC para as análises de carbono (método Walkley Black) e nutrientes (P, K, Ca e Mg – resina) são descritos em Raijet al. (2001). Os métodos das análises de textura do solo (método da pipeta) estão descritos em Camargo et al. (2009) e a classificação textural teve como base o Manual de Levantamento de Solos dos Estados Unidos (1993).

## **2.8 Preparação e análises das amostras de raízes finas**

As amostras de raízes retiradas durante a instalação do experimento (abril a junho de 2014) foram separadas e acondicionadas em sacos de polietileno rotulados e transportados para posterior triagem no Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias -LAQUATEC, no INPE.

Cada núcleo foi usado apenas uma vez, não retornando ao local de origem. A medida do diâmetro das raízes finas ( $\leq 2$  mm) foi realizada com o uso de um paquímetro digital de marca DIGIMENES 100174B2. As raízes maiores do que 2 mm foram retiradas por não se enquadrarem na categoria de raízes finas. No laboratório, as demais raízes foram separadas inicialmente por tamisação (malha padrão para solos com abertura de 2 mm e de 0,5 mm), catação com uso de uma pinça, submetendo-se o material restante à flotação. Neste estudo, as raízes não foram divididas em classes de vivas e mortas, pelo fato de não haver confiabilidade na avaliação visual sua vitalidade. Todas as raízes foram lavadas em água corrente de baixa pressão e secadas ao ar durante 24 horas e, posteriormente, foram embaladas em sacos de papel e colocadas em estufa com temperatura regulada em 40 °C para secar por um período de 24 horas, depois pesadas em microbalança, marca shimadzu com precisão de 0,00001g. Após essa etapa, as amostras foram pesadas e moídas em moinho de facas tipo Wiley, no Laboratório de Solos e Plantas da Universidade de Taubaté e submetidas a análises químicas dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn. O valor do conteúdo do carbono de cada amostra foi estimado como sendo 43,5% do valor da massa seca (GIFFORD, 2000). Os métodos utilizados pelo Laboratório de Solos e Plantas da Universidade de Taubaté para o nitrogênio (Kjeldah), fósforo e magnésio (Colorimetria), potássio e cálcio (fotometria de chama), estão descritos em Malavolta et al. (1997).

## 2.9 Cálculo da produção e estimativa da biomassa de raízes finas

Para estimar a produção de raízes finas a partir dos núcleos de crescimento, calculou-se a produção a partir do momento em que as raízes começaram a rebrotar dentro dos núcleos. Normalmente, considera-se tempo zero o momento em que os núcleos são instalados no campo. Neste estudo, todo crescimento de raiz que ocorreu neste núcleo por um período de tempo de 15 meses, foi então padronizado para um incremento anual. O tempo de instalação dos núcleos de crescimento não pode ser usado como início de um ciclo anual para estimar a produção de raízes finas, pois, é necessário um intervalo de tempo, entre a instalação até a primeira coleta, para que as raízes rebrotem (VOGT et al., 1998). Para o primeiro estabelecimento na floresta, o cálculo da produção anual foi baseado no crescimento entre outubro de 2014 à janeiro de 2016.

Para estimar a Produção de Raízes Finas (PRF) de cada sítio florestal, a nível de ecossistema, em uma determinada área espacial e ao longo de determinado período de tempo (geralmente 1 ano) com o uso dos núcleos de crescimento, foram calculadas a produção de raízes finas, definido por Vogt et al., (1998) pela Equação 2:

$$PRF = \frac{\sum \text{Biomassa}}{\text{Base Anual}} \quad (2)$$

Onde,

$\sum$ Biomassa: corresponde a soma das biomassa medidas em determinado período de tempo ( $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ ), e

Base Anual: corresponde ao período de tempo considerado nas medições (12 meses).

Quanto à estimativa de biomassa de raízes finas - BRF ( $\emptyset < 2 \text{ mm}$ ), definida como unidade de massa por unidade de área, desprezando o efeito da densidade do solo (BROWN, 1997); foi determinada utilizando a Equação 3, onde  $P_s$  é o peso seco em gramas (g) de raízes finas e  $A_c$  é a área em metros quadrados ( $\text{m}^2$ ) do cilindro coletor. Após este cálculo, a biomassa foi transformada de  $\text{g m}^2$  para  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

$$BRF = \frac{P_s}{A_c} \quad (3)$$

## 2.10 Cálculo da taxa de decomposição de raízes

A taxa de decomposição das raízes foi estimada por meio das medidas da perda de massa, com o uso da Equação 4:

$$MR = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

MR correspondente a massa remanescente;

$m_f$  e  $m_i$ : correspondentes as massas final e a inicial, respectivamente.

Após o cálculo da massa remanescente ao longo do período de observação, a constante de decomposição  $k$  foi calculada, segundo o Modelo Exponencial simples (Equação 5), descrito por Olson (1963) e utilizado por Thomas e Asakawa (1993), a qual pressupõe que a taxa de decomposição é proporcional à quantidade de material restante:

$$k = \frac{\ln x_0 - \ln x_t}{t} \quad (5)$$

Em que:

$X_t$ : peso do material seco remanescente após  $t$  dias;

$X_0$ : peso do material seco colocado nos sacos no tempo zero ( $t=0$ );

$t$ : tempo (dias)

O tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) foi calculado segundo Rezende et al. (1999), pela Equação 6:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad (6)$$

Sendo  $k$  a constante de decomposição calculada pela Equação (5).

A taxa de renovação das raízes finas ( $T_r$ ) foi calculada conforme a equação de Vogt et al. (1998), descrita na Equação 7:

$$T_r = \frac{P_{\text{anual}}}{MB_{\text{anual}}} \quad (7)$$



Onde:

$P_{\text{anual}}$ : corresponde a produção anual de raízes finas ( $\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ );

$MB_{\text{anual}}$ : corresponde a média anual de biomassa de raízes finas ( $\text{g m}^{-2}$ ).

## 2.11 Preparações das amostras de solos

As amostras de solo retiradas durante a instalação do sistema de amostragem de raízes (abril a junho de 2014) foram separadas e acondicionadas em sacos de polietileno, rotulados e transportados para LAQUATEC, no INPE, onde foram triados. Os solos, sem as raízes, foram colocados nas armadilhas e inseridos no seu local de origem.

As amostras foram preparadas e enviadas ao Instituto Agronômico de Campinas – IAC, onde foram analisados para os seguintes nutrientes: Carbono orgânico, Nitrogênio mineral, macronutrientes (K, Ca, Mg, P) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Os métodos utilizados pelo IAC estão descritos em Raij et al. (2001).

A determinação da densidade aparente do solo (Equação 8) foi medida por meio do “método do cilindro volumétrico” (EMBRAPA, 1997). Este método consiste na medição direta de duas variáveis, para a obtenção da massa por pesagem e do volume pela coletada amostra indeformada de solo com uso de um cilindro de volume conhecido, a saber:

$$D_s = \frac{m_s}{V_c} \quad (8)$$

Em que:

$D_s$  é a densidade de solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ),

$m_s$  é a massa do solo seco (g) e

$V_c$  é o volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

Essa análise foi aplicada em três amostras de solo por área.

### 2.11.1 Estoque de carbono no solo

O estoque de carbono do solo foi calculado com base nos teores de carbono e da densidade aparente do solo para cada camada amostrada (NEILL et al., 1997; BERNOUX et al., 1998a), a partir da Equação 9:

$$\text{EstC} = \frac{C_{\text{org}} \times D_s \times e}{10} \quad (9)$$

Em que:

EstC é o estoque de carbono orgânico em determinada profundidade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

C<sub>org</sub> é o teor de carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ );

D<sub>s</sub> é a densidade média do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), determinada a partir de amostras indeformadas;

*e* é a espessura da camada considerada (cm) e corresponde a profundidade de 20 cm.

## **2.12 Amostragem, preparo e análises da água de chuva**

Para quantificar as entradas via deposição pela chuva optou-se por adotar um coletor tipo “bulk” que coleta tanto a deposição úmida como a deposição seca, uma vez que fica aberto durante todo o período de amostragem (CASARTELLI et al., 2008) (Figura 2.11). Esse coletor era composto de um galão de polietileno de alta densidade com capacidade para de 5 L, em cuja entrada adaptou-se um funil plástico reto com área de  $0,0283 \text{ m}^2$ , protegido com uma tela de náilon com cerca de 3 mm de abertura, para evitar a entrada de insetos, galhos e folhas na garrafa de coleta. As amostras de água de chuva foram coletadas semanalmente (amostra acumulada de 7 dias). Após esse período, cada amostra acumulada na garrafa coletora foi retirada e transferida para 3 frascos de polietileno de alta densidade (PEAD) de 30 mL, congeladas e armazenadas no sítio/local da coleta para posterior envio ao Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias – LAQUATEC, localizado no Centro de Ciência do Sistema Terrestre, no INPE de São José dos Campos.

Figura 2.11: Coletor de água de chuva tipo “bulk” instalado no campo durante os anos de 2015 e 2016.



Fonte: Elaboração da autora.

No dia da análise, as amostras de água de chuva foram descongeladas em temperatura ambiente e agitadas vigorosamente. Em seguida, as amostras foram tratadas de três formas. Uma parte não filtrada (bruta) foi reservada para análise de pH. Outra parte foi filtrada em membrana de acetato de celulose de 25 mm de diâmetro e poro de 0,22 $\mu$ m para análise dos cátions Sódio ( $\text{Na}^+$ ), Amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potássio ( $\text{K}^+$ ), Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e ânions Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). A outra parte da amostra bruta foi filtrada em filtros de fibra de vidro (GF/F) de 25 mm, para análise de Carbono Orgânico Total dissolvido (TOC), Carbono Inorgânico dissolvido (IC) e Nitrogênio Total dissolvido (TN).

Os cátions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e os ânions  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  principais foram quantificados utilizando a técnica de Cromatografia Líquida de Íons, capaz de separar e medir a concentração de íons catiônicos e aniônicos em solução, com um equipamento da marca Metrohm, modelo 850 Profissional IC, com supressão química com módulo de extensão para Cátions modelo 872 e injetor automático Metrohm modelo 858 e software MagicNET 2.4, para aquisição de dados. Para as análises dos ânions principais, utilizou-se como eluente Carbonato de Sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 3,2 mM e Bicarbonato de Sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 1,0 mM em água purificada Tipo 1, com fluxo de 0,7

mL/minuto, volume de injeção de 100 µL e, como fase estacionária, a coluna analítica Metrosep A Supp 5 100/4,0 mm, com pré-coluna de ânions Metrosep A Supp 4/5 Guard (Metrohm). Para a análise dos cátions principais utilizou-se como eluente solução de Ácido Dipicolínico (2,6 Pyridinedicarboxylic acid) 2mM e Ácido Nítrico 3,5 mM em água purificada Tipo 1<sup>1</sup>, com fluxo de 0,9 mL/minuto, volume de injeção de 300 µL e, como fase estacionária, a coluna analítica Metrosep C4 100/4,0 mm (Metrohm) com pré-coluna de cátions Metrosep C4 Guard (Metrohm), esta coluna foi escolhida por se tratar de amostras de água de chuva que possui menos contaminante, ou seja, não possui picos secundários capaz de interferir nos picos de interesse, possibilitando o uso de uma coluna de 100 mm, apresentando maior rapidez de análise e picos mais simétricos, por se tratar de uma coluna para utilização com supressão química, ideal para separação dos cátions de interesse conforme descrito no manual de colunas da Metrohm (IC colun catalog 8.000.5245, acessível no site: [www.metrohm.com](http://www.metrohm.com)). Todos os procedimentos analíticos seguiram as instruções contidas nos protocolos descritos em Alcaide e Forti (2012a, 2014) e em Forti e Alcaide (2012).

Os limites de detecção dos íons analisados foram (em µmol L<sup>-1</sup>): Na<sup>+</sup>(0,017); NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (1,384); K<sup>+</sup>(0,076); Ca<sup>2+</sup>(0,317); Mg<sup>2+</sup>(0,356); e ânions NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(0,0139); Cl<sup>-</sup> (0,0737) e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (0,0213).

Para a análise de pH, foi utilizado um medidor de pH da marca Tecnopon, modelo Mpa210, com eletrodo combinado de vidro, com leitura na faixa de pH de 0 a 14, indicado para soluções aquosas em geral. A calibração do equipamento foi realizada conforme descrito no manual de instruções do fabricante, com soluções tampão pH 7,0 e 4,0 e solução de Ácido Sulfúrico 0,0001N para certificação da calibração (pH teórico 4,05 ±0,03), com leitura direta da amostra.

A determinação de Carbono Orgânico Total e Carbono Inorgânico foram realizados utilizando um analisador TOC-V<sub>CPN</sub>, com detector de Infravermelho Não Dispersivo (NDIR), com injetor Automático modelo ASI-V da marca Shimadzu. Para o Carbono Orgânico Total foi utilizada a técnica de Combustão Catalítica (usando Platina como

---

<sup>1</sup>Água de alta pureza, considerada como água de qualidade ideal, livre de colóides iônicos ou dissolvidos e de contaminantes orgânicos, apropriadas para as técnicas analíticas mais sensíveis, incluindo cromatografia líquida (BREDA, 2001).

catalizador) e para o Carbono Inorgânico foi utilizada a técnica de adição de ácido (ALCAIDE e FORTI, 2012). O Nitrogênio Total foi determinado utilizando um módulo de medida de Nitrogênio Total, modelo TNM-1 da marca Shimadzu, que funciona em conjunto com o TOC- $V_{CPN}$ , com a técnica de Combustão Catalítica usando o detector de Quimioluminescência.

A precisão das análises químicas por Cromatografia Líquida de Íons foi medida analisando-se sete padrões (5; 2,5; 1; 0,5; 0,25; 0,1 e 0,05 mg L<sup>-1</sup>) entre as amostras, com diferentes concentrações. Todos os padrões utilizados para construção da curva de calibração foram preparados a partir de uma solução padrão de concentração de 1.000 mg L<sup>-1</sup> rastreável a materiais de referência da NIST (da sigla em inglês National Institute of Standards and Technology), com água purificada Tipo 1, com concentrações que variaram de 0,05 mg L<sup>-1</sup> a 5,0 mg L<sup>-1</sup>, compreendendo a faixa de variação das amostras a serem analisadas. A precisão do método foi calculada como sendo o desvio padrão em relação à média das leituras dos padrões e representa o quanto as medidas repetidas estão com valores próximos. A exatidão do método foi calculada a partir da concentração média determinada experimentalmente em relação a concentração adicionada à amostra (LIS). De forma geral, a precisão das análises químicas foi menor que 9% e a exatidão ficou na faixa de 90,6 a 110,7%, mostrando que o método e o equipamento propostos são capazes de medir os cátions e ânions com exatidão e precisão suficientes para o propósito deste estudo (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Precisão e exatidão do método analítico empregado para a análise química dos principais íons inorgânicos presentes nas amostras de águas deste estudo.

	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Precisão (%)	4,9	4,4	8,5	8,4	4,9	5,7	5,3	7,5
Exatidão (%)	99,0	90,6	110,7	93,4	108,0	102,1	100,6	94,8

Fonte: Elaboração da autora.

Também foram analisadas, como branco de laboratório, uma amostra da água purificada utilizada na preparação dos padrões e os resultados apresentam-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Branco analítico, analisado para cada período sazonal (nd = não detectado).

Sazonalidade	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
	mg L <sup>-1</sup>							
Chuvoso	0,010	0,066	0,057	0,019	0,005	0,008	0,043	0,246
Seco	0,015	0,026	0,013	0,020	nd	0,004	0,080	0,002

Fonte: Elaboração da autora.

Como controle e validação da curva de calibração, foram realizados repetições dos padrões a cada lote de dez amostras analisadas e também injeção de uma amostra de água de chuva sintética padrão (LIS), com concentração conhecida dos íons de interesse, proveniente do programa de Intercalibração Quality Assurance/Science Activity Centre - Americas QA/SAC-Américas (<http://www.qasac-americas.org/>). Os resultados apresentam-se na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Amostra de água de chuva sintética (LIS): experimental (analisada junto às demais amostras de água de chuva) e amostra de referência.

Ident. Geral	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	μmol/L							
Concentração média da amostra LIS determinada experimentalmente								
PD-LIS 53-1	42,3	13,8	7,4	4,4	4,9	54,0	14,5	15,5
PD-LIS 53-2	58,2	75,5	6,8	19,1	11,6	60,6	67,7	57,0
PD-LIS 54-2	95,7	41,7	9,7	13,7	10,6	100,0	32,8	43,2
Concentração da amostra LIS de referência								
PD-LIS 53-1	46,5	20,7	5,2	6,3	4,8	56,2	15,1	19,6
PD-LIS 53-2	55,4	72,4	7,1	19,0	10,1	56,4	64,0	54,4
PD-LIS 54-2	94,7	41,3	9,5	14,2	9,9	97,5	32,8	43,0

Fonte: Elaboração da autora.

A fim de garantir uma maior confiabilidade nos resultados das amostras, foi realizado um experimento para identificar se houve algum tipo de contaminação por parte dos materiais utilizados. Esse experimento consistiu em preparar o branco de campo, colocando-se 1 L de água purificada (Tipo 1) dentro de uma garrafa de polietileno com capacidade para 5L (mesma garrafa utilizada na coleta das amostras) fechada com

tampa rosqueável e levada ao campo, denominada de água exposta. Para fazer uma comparação dos resultados, foi recolhido em um frasco de polietileno de alta densidade (idêntico ao utilizado para armazenar as amostras), 20 mL dessa mesma água e congelado para, então, comparar os resultados em relação à água colocada na garrafa. A duração do teste de branco de campo foi de 7 dias, mesmo período da coleta de chuva. Após este período, recolhida a garrafa do campo e retirado uma alíquota da água de 20mL em um frasco de polietileno, idêntico ao utilizado para armazenar amostras, e congelada até o momento da análise. Esse procedimento foi realizado por 4 semanas e os resultados deste experimento pode ser observado na Tabela 2.4. Os resultados mostraram-se satisfatórios para essa análise, indicando que a garrafa de polietileno de 5 L utilizadas no coletor de água de chuva não interfere nos resultados analíticos das amostras. Ressalta-se que a amostra da primeira semana foi excluída devido à contaminação decorrente de fontes desconhecidas (como por exemplo: vidrarias contaminadas, vials, etc).

Tabela 2.4: Resultados das amostras de branco de campo (ND= não detectado).

Semana	Amostra	Íons							
		Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		μmol L <sup>-1</sup>							
2	Água exposta	ND	4,343	ND	0,781	ND	0,016	0,708	ND
	Água congelada	ND	0,869	ND	0,839	ND	0,006	0,691	ND
3	Água exposta	ND	0,341	ND	0,609	ND	0,162	0,702	ND
	Água congelada	ND	0,343	ND	0,781	ND	0,016	0,708	ND
4	Água exposta	ND	0,783	ND	1,302	ND	0,073	0,681	ND
	Água congelada	ND	0,823	ND	1,136	ND	0,006	0,673	ND

Fonte: Elaboração da autora.

Após as análises químicas, o controle de qualidade do conjunto amostral foi realizado calculando-se a diferença iônica (%). Este controle de qualidade foi estabelecido pelo Programa de Observação Atmosférica Global (GAW, referente à sigla em inglês Global Atmosphere Watch), da Organização Meteorológica Mundial (WMO, referente à sigla em inglês World Meteorological Organization), relatório n° 160 (2004), de acordo com a Equação 10:

$$\text{Diferença iônica (\%)} = 100 \times \frac{(\text{CE} - \text{AE})}{(\text{CE} + \text{AE})} \mu\text{eq L}^{-1} \quad (10)$$

Em que:

CE é o somatório dos cátions em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ ;

AE é o somatório dos ânions em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ .

Os critérios de aceitação da WMO são apresentados no relatório n° 160 (2004). Neste estudo, os critérios de diferença iônica foram aplicados a todas as 62 amostras do PEFI, 49 amostras da URCP e 93 amostras do PESM-Cn. Rejeitando-se 7, 11 e 11 amostras respectivamente em cada sítio por não atenderem os critérios exigidos de integralidade dos dados nos períodos sazonais. Admitiu-se como critério, a porcentagem da precipitação total (PT, do inglês *Percent Total Precipitation*) associado aos dados válidos de química da precipitação igual ou superior a 70% e, a porcentagem da cobertura da precipitação (PCL, do inglês *Percent Precipitation Coverage Length*) sendo igual ou superior a 90% do tempo de amostragem sazonal. Para o período de medições de raízes (trimestral) a PCL e a PT devem ser iguais ou superiores a 60% do tempo de amostragem.

### 2.13 Cálculos das concentrações e deposições, através da água de chuva

As concentrações iônicas médias na água de chuva foram calculadas por meio da média ponderada pelo volume (MPV), cuja importância considera a influência da diluição em função da altura pluviométrica, ou seja, limita a influência de concentrações muito altas que ocorrem em chuvas muito fracas, assim como efeitos de diluição em chuvas muito intensas (LEAL et al., 2004). No cálculo de MPV é levado em consideração o volume de cada período de precipitação, e a média da concentração da espécie é calculado de maneira ponderada em relação ao volume total de chuva no local, conforme a Equação 11:

$$[X]_{MPV} = \frac{\sum_{i=1}^n [X]_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad \text{mg L}^{-1} \quad (11)$$

Onde:

$[X]_i$  é a concentração da espécie determinada na amostra  $i$  ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$V_i$  é o volume de precipitação (mm) na amostra  $i$ .



As deposições atmosféricas foram calculadas considerando-se os diferentes intervalos de tempo utilizados para a obtenção das amostras de raízes. Os períodos de tempo considerados são aqueles apresentados na Tabela 2.6. Para cada intervalo de tempo foi calculada a média ponderada pelo volume de chuva amostrado, o valores estão expressos em  $\text{mg L}^{-1}$  afim de que sejam mantidas a mesma unidade de medida para as espécies químicas encontradas no solo e nas raízes.

As concentrações hidrogeniônicas livres ( $\text{H}^+$ ), foram calculadas a partir dos valores de pH, usando a seguinte equação:  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ . O pH MPV foi calculado por meio da conversão do valor do pH de cada amostra e, a partir dos valores das concentrações médias ponderadas  $\text{H}^+$  pelo volume de chuva, para os períodos de precipitação em cada local amostrado conforme equação acima.

#### **2.14 Dados complementares – precipitação e temperatura**

Neste estudo foram utilizados dados de precipitação e temperatura que deram suporte e complementação das análises. Os dados de precipitação totais mensais, dias sem precipitação e temperatura média mensal, no PESH, foram obtidos da estação meteorológica do Instituto Florestal; no PEFI, pela estação meteorológica do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – IAG/USP e, em Cachoeira Paulista, foram obtidos das plataforma de coleta de dados do Sistema Integrado de Dados Ambientais - SINDA/INPE. Esses dados corresponderam ao período deste estudo, que foi realizado entre abril de 2014 à fevereiro de 2016.

#### **2.15 Análises estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Statistica 13.0 e os gráficos e as figuras, pelo SigmaPlot, versão 12.5. A normalidade dos dados foi testada com o Teste Shapiro Wilk e, quando necessário, os dados que não se ajustaram à distribuição normal foram transformados em raiz quadrada e submetidos a novo ajuste. Teste não paramétrico Kruskal-Wallis foi usado em alguns casos quando a transformação de dados não foi suficiente para obter a normalidade e homogeneidade. Diferenças entre médias foram testadas por meio de análises de variância, *ANOVA one way e two way*, e, quando o tempo ou a sazonalidade de crescimento, perda de massa,

conteúdo de nutrientes e fatores ambientais, bem como a interação entre eles foi significativa pelo teste F, aplicando-se o teste pos-hoc de Tukey e foram consideradas significativas para  $p < 0,05$ . Análises de regressões e correlações de Pearson e Spearman Rank (este somente para água de chuva) foram feitas para cada local e entre as variáveis dependentes (biomassa aérea, biomassa de raízes e decomposição de raízes) e variáveis ambientais independentes (precipitação, temperatura do ar e do solo, umidade do solo, textura do solo e concentração de nutrientes).

### **3 RESULTADOS**

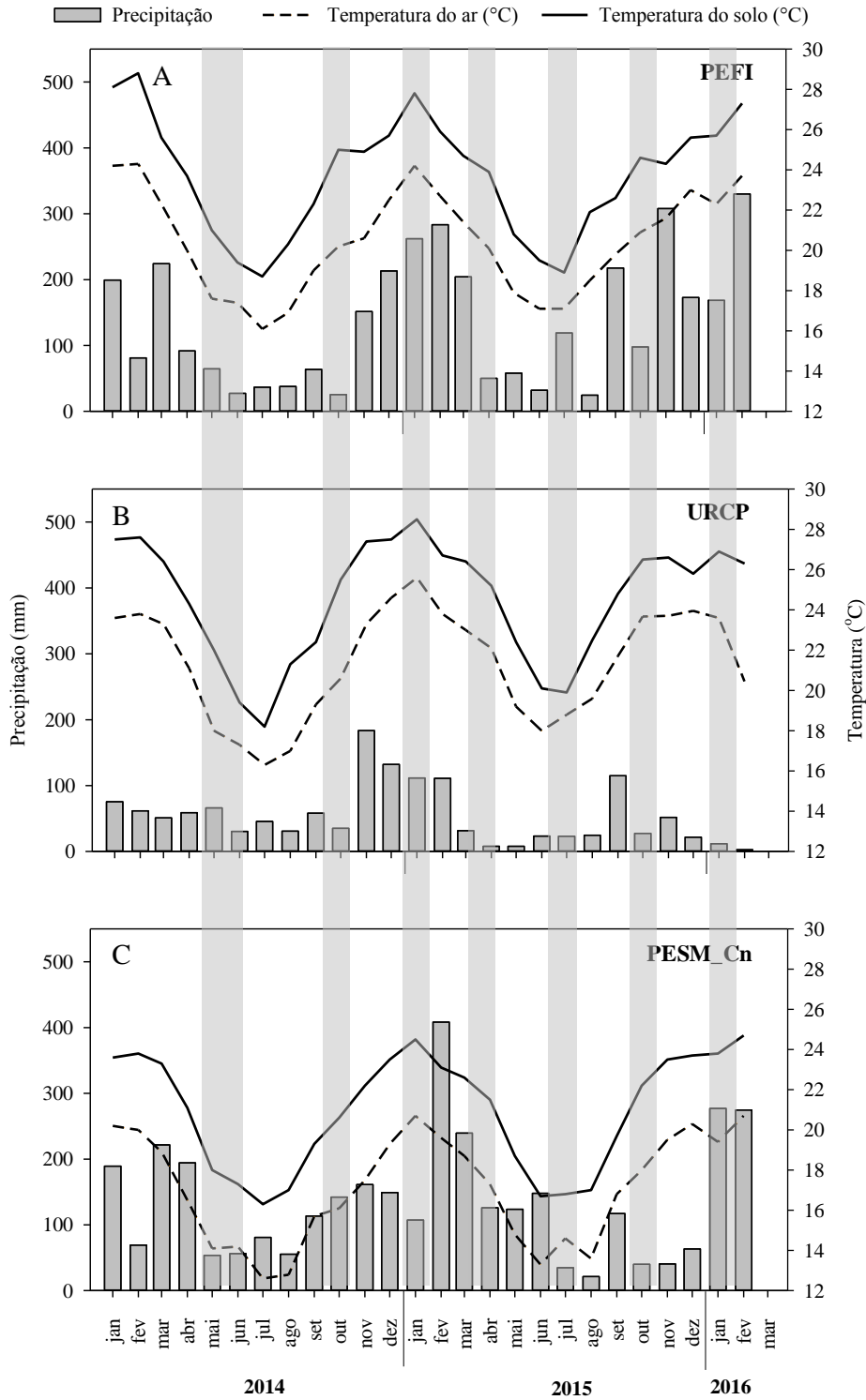
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no presente estudo. Em primeiro lugar, apresentam-se os resultados relativos às condições climáticas e à composição química da água de chuva para cada um dos sítios de estudo, incluindo-se a deposição de espécies químicas pela água da chuva; apresentam-se também os resultados das comparações entre os três sítios. Na sequência são apresentadas as características dos solos nos três sítios bem como os resultados relativos à comparação entre os mesmos. Com relação às raízes finas, apresentam-se os resultados referentes à produção de biomassa, renovação e taxa de decomposição de raízes finas e a comparação desses parâmetros entre os três sítios; são apresentados ainda os resultados relativos ao cálculo da biomassa aérea e sua relação com a biomassa de raízes; na última parte apresentam-se os resultados dos estoques de carbono e nutrientes nos diferentes compartimentos obtidos neste estudo.

#### **3.1 Condições climáticas**

Na Figura 3.1 apresentam-se a evolução temporal da precipitação acumulada mensal (mm) e a temperatura do ar (°C) ao longo dos 3 anos de estudo.

Os registros de chuva totais obtidos na mesma época e local deste estudo apresentam precipitação acima de 1.200 mm no PEFI em 2014 (ano de início deste estudo), em 2015 a precipitação ficou acima de 1800 mm. No PESM-Cn a precipitação ficou acima de 1400 mm em 2014 e 2015, e, na URCP a precipitação ficou acima de 820 mm em 2014, e em torno de 557 mm em 2015. Como esperado, para essa região, observa-se sazonalidade no clima, com os meses mais secos ocorrendo entre abril e setembro, seguidos de um período chuvoso entre os meses de novembro a março. Entretanto, houve diferenças no comprimento da estação seca e quantidades de precipitação nos sítios do PEFI e URCP.

Figura 3.1: Precipitação total (mm) e temperatura média do ar e do solo (°C) dos sítios estudados: (a) PEFI; (b) URCP e, (c) PESM-Cn. As hachuras correspondem aos meses de instalação e coletas de raízes finas. Fonte: IAG/USP, Instituto Florestal de São Paulo e SINDA/INPE.



Fonte: Elaboração da autora.

Em 2014 o período seco no PEFI estendeu-se três meses além do normal (precipitação < 100 mm). A precipitação na estação seca de 2014, ano mais seco, foi de 322 mm e em 2015 foi de 501 mm. Em 2014, o período seco na URCP estendeu-se por um mês a mais do que em 2015. Para o PESM-Cn, a precipitação durante o período seco foi de 554 mm em 2014 e 571 mm em 2015. A temperatura média anual do ar em 2014 foi de 20 °C e, em 2015, de 22 °C no PEFI, em 2014 foi de 16,5 °C e em 2015 de 17,3 °C no PESM-Cn e, em 2014 foi de 20,7 °C e em 2015 de 22 °C na URCP.

A temperatura do solo nos sítios do PEFI e PESM-Cn corresponde à média da temperatura aferida de hora em hora, na profundidade de 0-10 cm do solo, em área sem cobertura vegetal, próxima as áreas de estudo. Na URCP, a temperatura do solo corresponde à média de duas medidas aferidas a cada 7 dias entre 8h00 e 9h00. A temperatura média anual do solo nos anos de 2014 e 2015 ficou em torno de 23°C no PEFI, 20°C no PESM-Cn e de 24°C na URCP.

### **3.2 Qualidade dos dados de precipitação e medida aceitável sazonal**

A avaliação da aceitabilidade dos dados estão apresentados na Tabela 3.1, os resultados da porcentagem da precipitação total (PT) associado aos dados válidos das espécies químicas presentes na água de chuva correspondem ao período deste estudo (Jan/2014 – Out/2016), fracionados entre período chuvoso (outubro à março) e seco (abril à setembro) e nos mesmos períodos de medições de raízes finas (trimestral). De acordo com esta tabela, a integralidade calculada para cada um dos principais íons inorgânicos analisados, foi no mínimo de 74%, 90% e 80% para o período chuvoso de 2016 e 94%, 96% e 94% para o período chuvoso de 2015 no PEFI, URCP e PESM-Cn, respectivamente. Logo, todos os valores sazonais calculados estão acima de 70% sendo validados pelos critérios recomendados pelo WMO-GAW (2004).

Tabela 3.1: Porcentagem da precipitação total (PT) associada aos dados válidos das espécies químicas presentes na água de chuva amostrada, para os períodos chuvoso e seco de 2015 e 2016 nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.

Sítio	Estação	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		PT <sub>≥70%</sub> (Fonte:WMO-GAW, 2004)								
PEFI	Chuvosa/2015	94	94	94	94	94	94	94	94	94
	Seca/2015	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Chuvosa/2016	74	74	74	74	74	74	74	74	74
	Seca/2016	79	79	79	79	79	79	79	79	79
URCP	Chuvosa/2015	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	Seca/2015	92	92	92	92	92	92	92	92	92
	Chuvosa/2016	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	Seca/2016	92	92	92	92	92	92	92	92	92
PESM-Cn	Chuvosa/2015	94	94	94	94	94	94	94	94	94
	Seca/2015	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Chuvosa/2016	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	Seca/2016	89	89	89	89	89	89	89	89	89

Fonte: Elaboração da autora.

Na Tabela 3.2 apresenta-se a integralidade calculada para cada um dos principais íons inorgânicos analisados nos mesmos períodos de medições de raízes, exceto o período P1 devido à ausência de dados, e foram no mínimo 72% e no máximo 93% nos períodos P3 e P2 no PEFI, 86% e 98% nos períodos P4 e P3 na URCP e 74% e 98% nos períodos P4 e P2 no PESM-Cn. Logo, todos os valores trimestrais calculados estão acima de 60% sendo validados pelos critérios recomendados pelo WMO-GAW (2004).

Tabela 3.2: Porcentagem da precipitação total (PT) associado aos dados válidos das espécies químicas presentes na água de chuva amostrada, para os mesmo períodos de medições de raízes finas nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.

Sítio	Período de medição de raízes	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		(%) PT≥60% (Fonte:WMO-GAW, 2004)								
PEFI	P1*									
	P2	93	93	93	93	93	93	93	93	93
	P3	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	P4	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	P5	74	74	74	74	74	74	74	74	74
URCP	P1	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	P2	97	97	97	97	97	97	97	97	97
	P3	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	P4	86	86	86	86	86	86	86	86	86
	P5	88	88	88	88	88	88	88	88	88
PESM-Cn	P1	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	P2	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	P3	92	92	92	92	92	92	92	92	92
	P4	74	74	74	74	74	74	74	74	74
	P5	78	78	78	78	78	78	78	78	78

\*ausência de dados para este período.

Na Tabela 3.3, estão apresentados os valores calculados de porcentagem da cobertura de precipitação (PCL) sazonais, para os três sítios de estudo.

Tabela 3.3: Porcentagem da cobertura de precipitação (PCL), para os períodos chuvoso e secos de 2015 e 2016 nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.

Sítio	Estação	Tempo de amostragem (dias)	Medida aceitável sazonal PCL $\geq$ 90% (Fonte:WMO-GAW,2004)
PEFI	Chuvoso/2015	73	40,5
	Seco/2015	177	98,3
	Chuvoso/2016	180	100
	Seco/2016	180	100
URCP	Chuvoso/2015	159	88,3
	Seco/2015	178	98,8
	Chuvoso/2016	177	98,3
	Seco/2016	180	100
PESM-Cn	Chuvoso/2015	180	100
	Seco/2015	177	98,3
	Chuvoso/2016	180	100
	Seco/2016	177	98,0

Fonte: Elaboração da autora.

A integralidade calculada para os períodos sazonais de amostragem, apresentada na Tabela 3.3, foi no mínimo 40,5% e 88,3% para o período chuvoso de 2015 no PEFI e na URCP e de 100% no PESM-Cn. Para o período seco de 2015 no PEFI e na URCP foi de 98,3% e 98,8% enquanto no PESM-Cn foi de 98,3%, respectivamente. O PEFI e a URCP (no período chuvoso/2015) apresentaram valor de PCL abaixo de 90%. Isto significa que, embora durante o período de amostragem, os coletores utilizados e as análises químicas tiveram um bom desempenho, o período chuvoso de 2015 não é representativo do período como um todo. Estes sítios tiveram menos tempo de amostragem, conseqüentemente há menos volume acumulado, motivo pelo qual o PEFI e a URCP não atendeu o critério de PCL com volume menor que 90% no período chuvoso/2015.

Para calcular as entradas de nutrientes através da água de chuva, nos diferentes períodos coberto por este estudo, os valores de precipitação foram fracionados de acordo com os períodos em que foram realizadas as medições das raízes. Esses valores, são apresentados na Tabela 3.4.



Tabela 3.4: Porcentagem da cobertura de precipitação (PCL), para os mesmo períodos de medições de raízes finas nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn.

Sítio	Período de observações de raízes	Volume de precipitação coletado (mm)	Altura pluviométrica medida na Estação Meteorológica (mm)	Tempo de amostragem (dias)	Medida aceitável sazonal PCL $\geq$ 60% (Fonte: WMO-GAW, 2004)
PEFI	P1*		42,5		
	P2	392,7	424,4	78	86,6
	P3	139,7	195,4	90	100
	P4	174	216	43	47,7
	P5	346,1	468,5	90	100
URCP	P1	120	133,8	90	100
	P2	36	36,5	83	92,2
	P3	42,4	42,5	90	100
	P4	110	128,5	69	76,6
	P5	85,4	94,8	90	100
PESM-Cn	P1	224,1	275,4	90	100
	P2	770,1	785,8	90	100
	P3	268,3	292,6	90	100
	P4	88,7	119,4	47	52,2
	P5	713	911,6	90	100

\*Ausência de dados para este período

Fonte: Elaboração da autora.

Através dos valores apresentados na Tabela 3.4, observa-se que a integralidade calculada para os mesmo períodos de medições de raízes, encontram-se acima de 60% nos três sítios de estudo e em todos os períodos de medições de raízes, exceto no P4 (47,7%) no PEFI e no P4 (52,2%) no PESM-Cn, estes períodos apresentaram valores de PCL abaixo de 60% explicado pelos menores tempos de amostragem, consequentemente há menos volume acumulado, motivo pelo qual o período P4 para o PEFI e PESM-Cn não atenderam o critério de PCL com volume menor que 60%, entretanto, são representativos para este estudo. Vale ressaltar que no PEFI devido à ausência de dados no P1 não foi possível calcular o PCL nesse período.

### **3.3 Características químicas da água de chuva**

Na Tabela 3.5, apresentam-se as estatísticas descritivas (MPV e valores máximos e mínimos de amplitude, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), para as concentrações das espécies químicas de interesse e, durante o período total coberto por este estudo. As estatísticas individualizadas para cada ano, cada período seco e chuvoso e cada período de crescimento decomposição de raízes em cada sítio, são apresentados nas Tabelas A.1, A.2 e A.3 no Apêndice. De maneira geral, verifica-se que as espécies químicas dominantes durante este estudo, nos três sítios, foram  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  e COD. Estas mesmas espécies são dominantes para os mesmos períodos de medições de raízes, conforme apresentados nas Tabelas A.4, A.5 e A.6 do Apêndice.

Tabela 3.5: Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), para o período total coberto por este estudo, dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuva nos sítios estudados.

Íon	PEFI - CHUVOSO			PEFI - SECO			PEFI - TOTAL			
	n	MPV	Mín-Máx	n	MPV	Mín-Máx	n	MPV	Mín-Máx	
		$(\mu\text{g L}^{-1})$			$(\mu\text{g L}^{-1})$			$(\mu\text{g L}^{-1})$		
pH	18	5,57	4,42-6,73	23	6,00	4,80-7,20	41	5,81	4,97-6,65	
H <sup>+</sup>	18	4,16 <sup>a</sup>	2,41-5,90	23	1,67 <sup>Bb</sup>	1,13-2,21	41	2,52 <sup>B</sup>	1,71-3,33	
Na <sup>+</sup>	18	16,5 <sup>AB</sup>	8,50-24,5	23	15,7 <sup>AB</sup>	7,69-23,8	41	16,1 <sup>A</sup>	11,2-21,0	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18	9,71 <sup>A</sup>	5,36-14,1	23	11,3 <sup>AB</sup>	5,22-17,3	41	10,6 <sup>A</sup>	7,84-13,3	
K <sup>+</sup>	18	8,38 <sup>B</sup>	4,95-11,8	23	10,7 <sup>A</sup>	5,75-15,7	41	9,69 <sup>A</sup>	6,92-12,5	
Ca <sup>2+</sup>	18	16,7 <sup>A</sup>	10,2-23,3	23	17,7 <sup>A</sup>	10,9-24,5	41	17,3 <sup>A</sup>	13,8-20,8	
Mg <sup>2+</sup>	18	3,58 <sup>A</sup>	2,28-4,90	23	3,78 <sup>A</sup>	2,45-5,11	41	3,70 <sup>A</sup>	2,97-4,43	
Cl <sup>-</sup>	18	41,2 <sup>A</sup>	22,4-60,1	23	40,2 <sup>A</sup>	21,0-59,5	41	40,7 <sup>A</sup>	32,8-48,5	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18	62,7 <sup>A</sup>	38,0-87,4	23	34,3 <sup>A</sup>	20,8-47,8	41	46,8 <sup>A</sup>	38,6-54,9	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18	17,0 <sup>A</sup>	10,9-23,1	23	15,5 <sup>A</sup>	10,1-21,0	41	16,2 <sup>A</sup>	13,9-18,4	
CID	18	17,9 <sup>A</sup>	6,63-29,2	23	17,4 <sup>A</sup>	9,46-25,3	41	17,6 <sup>A</sup>	13,1-22,1	
COD	18	93,4 <sup>A</sup>	54,7-132	23	93,5 <sup>A</sup>	50,2-137	41	93,5 <sup>A</sup>	69,6-117	
		URCP - CHUVOSO			URCP - SECO			URCP - TOTAL		
pH	17	5,29	4,02-6,55	18	6,25	4,93-7,57	35	5,78	4,86-6,70	
H <sup>+</sup>	17	5,69	3,82-7,55	18	3,87 <sup>A</sup>	2,70-5,03	35	4,47 <sup>A</sup>	3,59-5,34	
Na <sup>+</sup>	17	27,6 <sup>A</sup>	12,5-42,7	18	23,2 <sup>A</sup>	15,5-30,9	35	25,4 <sup>A</sup>	20,1-30,6	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	17	7,04 <sup>A</sup>	4,43-9,65	18	13,1 <sup>A</sup>	7,32-18,9	35	10,2 <sup>A</sup>	7,18-13,1	
K <sup>+</sup>	17	11,4 <sup>A</sup>	6,37-16,5	18	17,6 <sup>A</sup>	9,95-25,2	35	14,6 <sup>A</sup>	11,6-17,6	
Ca <sup>2+</sup>	17	6,55 <sup>A</sup>	4,23-8,87	18	17,8 <sup>A</sup>	8,97-26,6	35	12,3 <sup>A</sup>	8,54-16,1	
Mg <sup>2+</sup>	17	3,69 <sup>A</sup>	2,46-4,91	18	4,51 <sup>A</sup>	2,54-6,47	35	4,11 <sup>A</sup>	3,32-4,90	
Cl <sup>-</sup>	17	39,1 <sup>A</sup>	22,2-56,1	18	55,0 <sup>A</sup>	36,0-73,9	35	47,3 <sup>A</sup>	38,8-55,7	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17	58,5 <sup>A</sup>	39,6-77,5	18	44,6 <sup>A</sup>	29,4-59,8	35	51,4 <sup>A</sup>	42,6-60,2	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17	10,9 <sup>B</sup>	7,34-14,4	18	17,7 <sup>A</sup>	11,0-24,3	35	14,4 <sup>A</sup>	11,9-16,8	
CID	17	19,7 <sup>A</sup>	12,7-26,7	18	18,0 <sup>A</sup>	8,53-27,4	35	18,8 <sup>A</sup>	13,9-23,7	
COD	17	141 <sup>A</sup>	62,2-220	18	94,0 <sup>A</sup>	60,9-127	35	117 <sup>A</sup>	90,9-143	
		PESM_CN - CHUVOSO			PESM_CN - SECO			PESM_CN - TOTAL		
pH	40	5,52	5,42-5,62	41	5,88	5,39-6,38	81	5,7	5,44-5,96	
H <sup>+</sup>	40	4,89 <sup>a</sup>	3,84-5,95	41	3,42 <sup>Ab</sup>	2,73-4,11	81	4,08 <sup>A</sup>	3,51-4,66	
Na <sup>+</sup>	40	4,39 <sup>B</sup>	1,78-6,99	41	5,79 <sup>B</sup>	3,57-8,02	81	5,10 <sup>B</sup>	1,63-8,57	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	40	1,25 <sup>B</sup>	0,80-1,69	41	3,02 <sup>B</sup>	1,31-4,74	81	2,14 <sup>B</sup>	0,19-4,10	
K <sup>+</sup>	40	0,70 <sup>Cb</sup>	0,43-0,97	41	1,66 <sup>Ba</sup>	1,02-2,30	81	1,18 <sup>B</sup>	0,79-3,16	
Ca <sup>2+</sup>	40	2,94 <sup>B</sup>	1,85-4,03	41	4,15 <sup>B</sup>	2,44-5,87	81	3,55 <sup>B</sup>	1,07-6,04	
Mg <sup>2+</sup>	40	0,97 <sup>B</sup>	0,65-1,29	41	1,25 <sup>B</sup>	0,85-1,65	81	1,11 <sup>B</sup>	0,59-1,63	
Cl <sup>-</sup>	40	8,31 <sup>B</sup>	2,77-13,8	41	10,4 <sup>B</sup>	6,38-14,5	81	9,38 <sup>B</sup>	3,82-14,9	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	40	8,43 <sup>B</sup>	5,62-11,2	41	9,50 <sup>B</sup>	5,70-13,3	81	8,97 <sup>B</sup>	3,18-14,8	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	40	3,02 <sup>C</sup>	2,10-3,94	41	4,80 <sup>B</sup>	3,00-6,60	81	3,92 <sup>B</sup>	2,32-5,53	
CID	40	7,99 <sup>B</sup>	5,84-10,01	41	6,50 <sup>A</sup>	3,44-9,56	81	7,23 <sup>B</sup>	4,63-10,4	
COD	40	22,6 <sup>Bb</sup>	17,2-28,0	41	35,5 <sup>Ba</sup>	25,5-45,5	81	29,1 <sup>B</sup>	12,1-46,1	

n: número de amostras válidas. Min-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas. Valores seguidos por letras diferentes, maiúscula na coluna e minúscula na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey com probabilidade de  $p < 0,05$ .

Fonte: Elaboração da autora.

### 3.4 Deposições de espécies químicas devido à água de chuva (DA)

Nas Tabelas 3.6, 3.7 e 3.8 apresentam-se as estimativas de deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016 e as estimativas de deposição atmosférica total para cada ano de estudo. A deposição atmosférica foi quantificada como o produto entre as concentrações MPV e os volumes amostrados na estação meteorológica de cada sítio de estudo; os resultados estão expressos em notação científica  $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ . A deposição total anual foi quantificada como uma média das concentrações, pela média dos volumes amostrados na estação meteorológica, considerando os dois períodos sazonais; os resultados foram expressos em notação científica  $\text{kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}\times 10^{-2}$ .

Tabela 3.6: Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 no PEFI. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.

Período	PEFI - 2015			PEFI - 2016		
	Chuvoso DA ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Seco ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Anual ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Chuvoso DA ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Seco ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Anual ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ )
H <sup>+</sup>	2,43	0,81	3,25	3,26	4,24	9,45
Na <sup>+</sup>	17,0	88,1	104	23,9	16,3	44,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	14,9	3,42	18,4	9,10	17,1	35,2
K <sup>+</sup>	9,13	27,2	36,1	13,1	9,99	26,1
Ca <sup>2+</sup>	19,3	25,7	44,9	22,3	17,0	44,5
Mg <sup>2+</sup>	4,36	5,13	9,48	5,42	4,59	11,6
Cl <sup>-</sup>	27,9	161	187	65,9	32,4	101
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	85,0	19,9	106	54,5	58,9	138
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17,1	25,2	42,3	23,8	20,2	50,9
COD	29,4	71,9	101	210	190	468
CID	8,59	8,93	17,5	16,7	18,8	43,5

Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados para o PEFI, Tabela 3.6, indicam que os valores mais altos de deposição atmosférica foram estimados para o período seco de 2015 e chuvoso de 2016; a deposição atmosférica total foi maior para o ano de 2016, o que era esperado devido à maior quantidade de chuva observada em 2016.

Tabela 3.7: Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 na URCP. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.

Período	URCP – 2015			URCP - 2016		
	Chuvoso DA ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ )	Seco ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ )	Anual ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ )	Chuvoso DA ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ )	Seco ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ )	Anual ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ )
H <sup>+</sup>	1,25	0,80	2,06	0,52	0,25	0,87
Na <sup>+</sup>	7,12	8,85	15,9	3,76	4,83	8,76
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,52	3,56	5,03	2,47	5,74	7,87
K <sup>+</sup>	6,67	3,76	10,5	2,04	8,04	9,22
Ca <sup>2+</sup>	4,20	3,23	7,47	1,03	3,94	4,55
Mg <sup>2+</sup>	2,63	0,95	3,63	0,66	1,74	2,27
Cl <sup>-</sup>	17,8	14,4	32,4	5,32	18,4	21,9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13,6	18,5	32,0	17,4	7,77	28,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6,16	3,93	10,2	2,48	3,50	6,04
COD	31,3	29,4	60,8	21,2	36,9	57,4
CID	2,25	3,69	5,90	2,88	8,53	10,7

Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados para a URCP, Tabela 3.7, indicam que os valores mais altos de deposição atmosférica foram estimados para o período chuvoso de 2015 e seco de 2016, a deposição atmosférica total foi maior para o ano de 2015.

Tabela 3.8: Deposição atmosférica (DA) para os períodos chuvosos e secos ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ) e para os períodos totais ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ ) de 2015 e 2016 no PESM-Cn. Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.

Período	PESM-Cn -2015			PESM-Cn - 2016		
	Chuvoso DA ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Seco ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Anual ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Chuvoso DA ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Seco ( $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ )	Anual ( $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}\times 10^{-2}$ )
H <sup>+</sup>	6,74	2,25	8,40	5,23	1,05	5,66
Na <sup>+</sup>	13,8	6,89	20,3	7,39	39,8	89,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2,39	1,99	4,61	12,1	3,75	15,9
K <sup>+</sup>	1,48	2,04	3,96	1,75	7,83	17,8
Ca <sup>2+</sup>	10,8	2,64	12,1	3,23	14,7	33,4
Mg <sup>2+</sup>	2,76	8,72	14,1	1,75	3,13	7,82
Cl <sup>-</sup>	29,1	12,1	39,4	12,0	71,6	160
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8,14	6,99	16,0	27,0	14,2	47,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7,95	10,3	20,4	5,65	12,0	29,2
COD	62,6	28,4	88,2	68,2	59,4	171
CID	8,59	8,93	17,5	16,7	18,8	43,5

Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados para o PESM-Cn, Tabela 3.8, indicam que os valores mais altos de deposição atmosférica foram estimados para o período chuvoso de 2015 e seco de 2016, a deposição atmosférica total foi maior para o ano de 2016, o que era esperado devido à maior quantidade de chuva observada em 2016.

Na Tabela 3.9 apresentam-se as estimativas de deposição atmosférica (DA) para os mesmos períodos de medições de raízes finas; esses valores foram calculados para estimar as entradas através da chuva, especificamente, durante o período de observação de crescimento das raízes. Os resultados foram expressos em  $\text{kg ha}^{-1}\times 10^{-2}$ .

Tabela 3.9: Deposição atmosférica (DA) para os mesmos períodos de medições de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ ). Os valores são apresentados em 3 algarismos significativos e em notação científica.

Períodos	PEFI											
	n	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	DOC	DIC
	DA ( $\text{kg ha}^{-1} \times 10^{-2}$ )											
P1	2	0,14	7,23	4,49	2,47	11,6	2,40	16,8	18,3	10,2	44,4	16,8
P2	9	1,83	25,1	12,5	9,53	25,1	4,71	44,5	77,0	17,0	50,5	15,2
P3	10	0,42	154	2,72	47,0	30,6	7,10	283	15,6	38,7	103	7,19
P4	7	0,30	9,80	7,85	8,03	12,2	3,16	26,3	30,5	13,3	67,6	10,8
P5	10	1,25	18,0	10,3	10,5	18,3	4,73	31,6	75,3	21,6	174	13,4
	URCP											
P1	3	0,81	13,5	2,22	14,8	7,95	5,54	47,0	24,6	13,3	36,2	26,7
P2	7	0,27	1,59	0,68	0,73	1,02	0,38	20,9	3,75	0,87	5,87	1,75
P3	7	0,16	5,49	0,86	1,61	1,43	0,42	29,9	6,94	1,74	11,5	1,26
P4	5	0,51	16,9	8,86	8,40	6,75	2,07	51,6	43,3	8,70	58,6	7,68
P5	8	0,58	5,66	3,99	2,80	1,61	0,98	34,1	27,1	3,71	28,0	4,35
	PESM-Cn											
P1	8	2,37	6,68	4,67	0,87	15,1	2,00	13,7	14,2	13,6	30,0	28,3
P2	13	4,66	17,0	1,75	2,06	6,58	3,07	35,5	5,83	4,55	70,5	11,6
P3	11	1,01	6,58	1,01	1,59	2,07	0,95	10,5	3,86	2,46	230	7,26
P4	4	0,53	3,24	2,73	3,19	4,46	1,20	6,23	13,8	3,64	72,2	8,56
P5	16	3,93	8,31	3,27	1,91	3,43	1,73	14,4	28,8	6,05	67,0	19,6

Fonte: Elaboração da autora.

No PEFI, os valores mais altos de deposição atmosférica foram estimados durante a terceira coleta de raízes, correspondendo ao período P3. No PESM-Cn os valores mais altos de deposição atmosférica foram estimados na quarta coleta de raízes, correspondendo ao período P4. Na URCP os valores mais altos de deposição de atmosférica foram estimados na terceira coleta de raízes finas, correspondendo ao período P3. Em todos os sítios, os valores de deposição foram mais altos nos períodos de menor quantidade de chuva observada.

### 3.5 Solos

Nas Tabelas 3.10 e 3.11, são apresentados os resultados estatísticos relativos às análises granulométricas e de densidade dos solos, bem como as concentrações de carbono e nutrientes, contidos no solo em uma profundidade de 20 cm para os três sítios deste estudo. No geral, os solos dos sítios amostrados possuem características texturais predominantes de argila e areia, sendo os solos do PEFI e da URCP denominados de argiloarenosos e os solos do PESM-Cn denominados de franco-argiloarenoso (Tabela 3.10).

Tabela 3.10: Granulometria e densidade aparente contida no solo até a profundidade de 20 cm nos três sítios de estudo (n=6).

	2014-2016					
	PEFI		URCP		PESM-Cn	
<b>Densidade do Solo</b> (g cm <sup>-3</sup> )	0,96	(±0,18)	1,33	(±0,12)	0,82	(±0,17)
<b>Argila</b> (g kg <sup>-1</sup> )	415	(±27,3)	394	(±33,6)	238	(±25,6)
<b>Silte</b> (g kg <sup>-1</sup> )	107	(±4,1)	121	(±11,8)	212	(±8,52)
<b>Areia</b> (g kg <sup>-1</sup> )	478	(±30,5)	485	(±23,0)	550	(±31,5)

Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados apresentados na Tabela 3.11 evidenciam que a concentração de carbono orgânico do solo (COS) foi mais elevada nos sítios do PESM-Cn e PEFI. O teor de COS tem sido utilizado como indicador de alterações do solo, sendo menor em condições de perturbação do meio (considerando semelhantes características do solo), como nos resultados encontrados no sítio da URCP. Nas áreas do PESM-Cn e PEFI, considerando que o solo possui maior quantidade de matéria orgânica (MO), conseqüentemente, encontramos uma densidade menor nestas áreas. Os valores de densidade aparente dos solos estudados variaram entre 0,82 no PESM-Cn e 1,33 g cm<sup>-3</sup> na URCP. A densidade do solo está relacionada com a quantidade de MO que este possui. Neste estudo, o sítio da URCP possui menor quantidade de MO e apresentou a maior densidade do solo. Os valores de pH do solo encontrados neste estudo indica acidez elevada (Tabela 3.11).



Tabela 3.11: Médias e desvios padrão (em parênteses) das variáveis físicas e químicas dos solos florestais, determinados no PEFI, URCP e PESM-Cn, no período deste estudo (2014-2016) (n=6).

Características	2014-2016					
	PEFI		URCP		PESM-Cn	
<b>pH</b> (KCl)	<b>3,34</b>	(±0,11)	<b>3,98</b>	(±0,07)	<b>4,21</b>	(±0,13)
<b>M.O.</b> (g dm <sup>-3</sup> )	<b>57,5</b>	(±6,12)	<b>31,8</b>	(±4,23)	<b>59,3</b>	(±14,60)
<b>COS</b> (%)	<b>33,4</b>	(±3,55)	<b>20,1</b>	(±3,39)	<b>34,4</b>	(±8,47)
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (mg kg <sup>-1</sup> )	12,0	(±1,92)	11,5	(±2,84)	<b>28,2</b>	(±8,00)
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>3,56</b>	(±1,50)	<b>2,52</b>	(±1,18)	<b>5,83</b>	(±2,13)
<b>P</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>11,7</b>	(±2,08)	<b>9,75</b>	(±0,52)	<b>19,4</b>	(±5,03)
<b>K</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	1,35	(±0,20)	1,72	(±0,25)	<b>2,91</b>	(±1,09)
<b>Ca</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	6,58	(±1,82)	7,83	(±2,16)	<b>12,6</b>	(±3,52)
<b>Mg</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	<b>2,16</b>	(±0,75)	<b>5,16</b>	(±0,81)	<b>4,16</b>	(±0,74)
<b>H+Al</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	<b>332</b>	(±116)	<b>89,8</b>	(±25,8)	<b>180</b>	(±114)
<b>S.B.</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	<b>10,1</b>	(±2,67)	<b>14,7</b>	(±2,72)	<b>19,7</b>	(±5,11)
<b>C.T.C.</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	<b>342</b>	(±117)	<b>104</b>	(±25,6)	<b>199</b>	(±12,5)
<b>V</b> (%)	<b>3,16</b>	(±0,93)	<b>15,0</b>	(±4,78)	<b>13,6</b>	(±6,22)

Valores em negritos são estatisticamente diferentes entre os sítios de estudo.

Fonte: Elaboração da autora.

As concentrações de nutrientes disponíveis no solo variaram em função das diferentes idades sucessionais dos sítios amostrais e do nível de perturbação e cobertura vegetal. O resultado de nitrogênio inorgânico do solo apresentou diferenças significativas entre os sítios de amostragem (ANOVA *one way*, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com F=88,61; p<0,05 e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com F=18,93; p<0,05). Os solos do PESM continham mais nitrogênio inorgânico do que os solos dos outros dois sítios, que apresentaram valores próximos entre si. Os valores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> disponíveis nos solos foram mais abundantes que do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em todos os três sítios (Tabela 3.12).

As concentrações de carbono (ANOVA *one way*, p<0,05; F=136,92), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ANOVA *one way*, F=88,61; p<0,05), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ANOVA *one way*, F=18,93; p<0,05) fósforo (ANOVA *one way*, F=62,85;p<0,05) e soma de bases do solo (ANOVA *one way*, F=18,34;p<0,05) diferiram entre os três sítios de estudo, geralmente seguindo a ordem

PESM>PEFI>URCP, exceto para soma de bases, que apresentou a ordem PESM>URCP>PEFI.

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo foi maior nos sítios do PEFI e PESM-Cn e menor no sítio da URCP, indicando que o solo do PESM-Cn possui maior concentração de cátions essenciais ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ).

### 3.6 Raízes finas: produção, renovação e decomposição

Neste item serão apresentados os resultados relativos à produção e taxa de renovação de raízes, além da taxa de decomposição e sua evolução temporal.

#### 3.6.1 Produção e renovação de raízes finas

Na Tabela 3.12, é apresentada a produção total das raízes finas (Equação 2) do período de outubro de 2014 a fevereiro de 2016 e as estimativas das taxas de renovação de raízes (Equação 6) em base anual. Nos três sítios de estudo, a produção total de raízes finas diminuiu com a idade de sucessão florestal, ou seja, as florestas em estágio sucessional mais avançado (PEFI e PESM-Cn) apresentaram as menores produções.

Tabela 3.12: Estimativa da produção total, em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , com desvio padrão em parênteses, e taxa de renovação (Tr), em  $\text{ano}^{-1}$ , na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes sítios de estudo.

Sítios (Tipo de Floresta)	Profundidade	Produção total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Tr ( $\text{ano}^{-1}$ )
PEFI (Floresta $\approx$ 90 anos)	0-20	0,25 ( $\pm 0,02$ )	0,48
URCP (Floresta $\approx$ 4 anos)	0-20	0,38 ( $\pm 0,03$ )	0,50
PESM-Cn (Floresta $\approx$ 60 anos)	0-20	0,26 ( $\pm 0,02$ )	0,50

Fonte: Elaboração da autora.

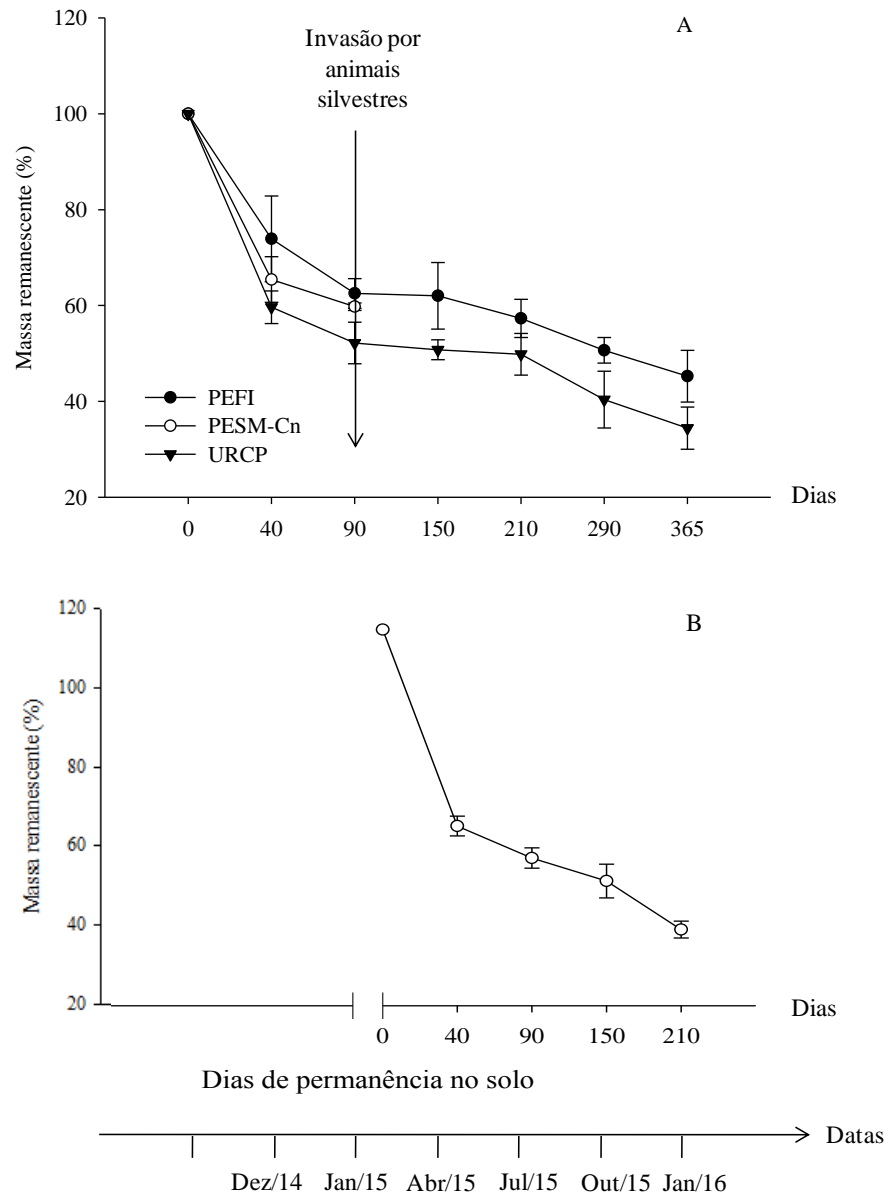
A produção total de raízes finas no PEFI, URCP e PESM-Cn, durante os seis períodos de observações medidos para o período total de pesquisa, que foi aproximadamente 1,3 ano, atingiu  $0,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $0,38 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $0,26 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente.

A taxa de renovação das raízes finas foi muito próxima entre os sítios estudados, entretanto no ecossistema de floresta do PEFI as raízes finas levam menos tempo ( $0,48 \text{ ano}^{-1}$ ) para se renovarem do que as raízes finas do PESM-Cn e URCP ( $0,50 \text{ ano}^{-1}$ ).

### **3.6.2 Decomposição de raízes finas e padrões temporais**

A evolução temporal da taxa de decomposição de raízes finas de cada um dos sítios de estudo, expressas pelas curvas de decomposição (%), é apresentada na Figura 3.2. Na parte inferior da figura é mostrada a linha do tempo com as datas de coletas das raízes de decomposição. Assim, é possível observar o momento em que houve a perturbação no sítio do PESM-Cn, por animais silvestres, e o momento de reinício do estudo. A redução de massa da matéria seca nas raízes apresentou diferenças significativas entre as três áreas de estudo (ANOVA *one way*,  $F=48,68$ ;  $p<0,05$ ). Observou-se um gradiente maior do decréscimo de massa nas três áreas nos primeiros 40 dias de decomposição do que nos 90 dias subsequentes. Esse gradiente menor foi mantido até o 150° dia no PEFI e até 210° dia na URCP. A partir do 210° dia o gradiente de decomposição das raízes nos três sítios de estudo, voltou a aumentar (Figura 3.2).

Figura 3.2: Peso médio remanescente (%) das raízes das diferentes áreas avaliadas, nos diferentes períodos de decomposição (365 dias) nas sacolas de decomposição, correspondente com seus respectivos desvios-padrão representadas pelas barras verticais (a) antes da invasão por animais silvestres e (b) após invasão por animais silvestres (apenas no PESM-Cn). Os valores são as médias de seis repetições (n=6).



Fonte: Elaboração da autora.

Na área do PESH-Cn foi observado um padrão de perdas de massa similar às outras duas áreas de estudo. Houve perdas de massa nos 3 primeiros meses de reinstalação, prosseguindo gradativamente nos 3 meses subsequentes e após 150º dia até o período final do processo de decomposição. A perda de massa voltou a acelerar após 210º dia em todos os ecossistemas observados (Figura 3.2a, b).

### **3.6.3 Taxas de decomposição**

Na Tabela 3.13 são mostrados os valores das taxas instantâneas de decomposição ( $k$ ) das raízes finas e os valores de meia-vida, em anos, nos três sítios de estudo. As taxas de decomposição de raízes finas indicam que o tempo estimado para que 50% ( $T_{0,5}$ ) das raízes finas se decomponham variou entre 1,6 a 5,9 ano no PEFI, 1,1 e 4,2 ano no PESH-Cn e 0,9 a 4 ano na URCP. A decomposição das raízes finas decresceu com o tempo de coleta em todos os sítios. As maiores taxas de decomposição foram encontradas aos 40 e 90 dias, durante a estação chuvosa, entre os meses de outubro de 2014 e março de 2015 (Figura 3.3a). Os valores encontrados para os sítios do PEFI, PESH-Cn e URCP indicam que estas áreas apresentaram os menores valores de meia vida no mesmo período citado (Tabela 3.13).

Tabela 3.13: Evolução temporal das taxas instantâneas de decomposição ( $k$ ) das raízes finas e valores de meia-vida (em anos) nas três áreas de estudo (PEFI, URCP e PESM-Cn). Os valores em cada período são médias de seis repetições (n=6).

Sítios	Sazonalidade	K	T <sub>0,5</sub> (Ano)
PEFI	Período chuvoso 2015	0,0075	1,6
	Período chuvoso 2015	0,0052	2,2
	Período seco 2015	0,0031	3,6
	Período seco 2015	0,0026	4,3
	Período chuvoso 2016	0,0023	4,9
	Período chuvoso 2016	0,0019	5,9
URCP	Período chuvoso 2015	0,0129	0,9
	Período chuvoso 2015	0,0072	1,6
	Período seco 2015	0,0045	2,5
	Período seco 2015	0,0033	3,5
	Período chuvoso 2016	0,0031	3,7
	Período chuvoso 2016	0,0029	4,0
PESM-Cn	Período chuvoso 2015	0,0106	1,1
	Período chuvoso 2015	0,0057	2,0
	Período seco 2015	0,0036	3,2
	Período seco 2015	0,0031	3,7
	Período chuvoso 2016	0,0026	3,1
	Período chuvoso 2016	0,0027	4,2

Fonte: Elaboração da autora.

As menores taxas de decomposição foram encontradas nas duas últimas coletas, para os três sítios de estudo, que correspondem ao segundo período chuvoso entre os meses de outubro de 2015 e fevereiro de 2016. Conseqüentemente, estas mesmas áreas e período apresentaram meia-vida mais elevada (PEFI, 4,9 e 5,9 anos; URCP, 3,7 e 4,0 anos; PESM-Cn, 3,1 e 4,2 anos).

### **3.6.4 Estimativa do estoque de carbono, estimado a partir da biomassa de raízes finas, e evolução da biomassa de raízes finas**

Na Tabela 3.14 apresentam-se os valores calculados para o estoque de carbono na biomassa de raízes finas. Esses valores foram obtidos multiplicando-se os valores obtidos de biomassa pelo fator 0,43, considerando-se que a biomassa seca de raízes finas contém aproximadamente 43,5% de carbono (GIFFORD, 2000). A biomassa de raízes finas foi calculada de acordo com a Equação 3.

Nessa Tabela, 3.14, observa-se que a variação temporal da biomassa de raízes finas apresentou diferenças significativas e entre os sítios (ANOVA *two way*,  $F=6,72$ ;  $p<0,05$ ) e variou entre  $0,042 \text{ Mg ha}^{-1}$  no PEFI e  $0,064 \text{ Mg ha}^{-1}$  na URCP. O maior estoque de C médio total de raízes finas foi encontrada na URCP ( $0,027 \text{ Mg C ha}^{-1} \pm 0,04$ ) (Tabela 3.14).

Tabela 3.14: Estoque de carbono (C) na biomassa ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de raízes ( $\leq 2 \text{ mm}$ ) até 20 cm de profundidade, nos três ambientes estudados (PEFI, URCP e PESM-Cn). Os valores em cada período correspondem a soma de 6 repetições ( $n=36$ ) com desvio padrão entre parêntese.

Sítios	Sazonalidade	Biomassa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Estoque de C ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ )
PEFI	Período chuvoso 2015	0,062 ( $\pm 0,013$ )	0,027 ( $\pm 0,001$ )
	Período chuvoso 2015	0,024 ( $\pm 0,004$ )	0,010 ( $\pm 0,002$ )
	Período Seco 2015	0,037 ( $\pm 0,003$ )	0,016 ( $\pm 0,001$ )
	Período Seco 2015	0,018 ( $\pm 0,001$ )	0,008 ( $\pm 0,001$ )
	Período chuvoso 2016	0,044 ( $\pm 0,003$ )	0,019 ( $\pm 0,002$ )
	Período chuvoso 2016	0,068 ( $\pm 0,007$ )	0,029 ( $\pm 0,003$ )
<b>Média</b>		<b>0,042<sup>a</sup></b>	<b>0,018<sup>a</sup></b>
URCP	Período chuvoso 2015	0,028 ( $\pm 0,002$ )	0,012 ( $\pm 0,001$ )
	Período chuvoso 2015	0,040 ( $\pm 0,003$ )	0,017 ( $\pm 0,001$ )
	Período Seco 2015	0,048 ( $\pm 0,003$ )	0,021 ( $\pm 0,001$ )
	Período Seco 2015	0,065 ( $\pm 0,003$ )	0,028 ( $\pm 0,002$ )
	Período chuvoso 2016	0,084 ( $\pm 0,006$ )	0,036 ( $\pm 0,003$ )
	Período chuvoso 2016	0,119 ( $\pm 0,015$ )	0,051 ( $\pm 0,006$ )
<b>Média</b>		<b>0,064<sup>b</sup></b>	<b>0,027<sup>b</sup></b>
PESM	Período chuvoso 2015	0,069 ( $\pm 0,003$ )	0,029 ( $\pm 0,001$ )
	Período chuvoso 2015	0,037 ( $\pm 0,002$ )	0,016 ( $\pm 0,001$ )
	Período Seco 2015	0,034 ( $\pm 0,002$ )	0,014 ( $\pm 0,001$ )
	Período Seco 2015	0,030 ( $\pm 0,005$ )	0,013 ( $\pm 0,002$ )
	Período chuvoso 2016	0,033 ( $\pm 0,001$ )	0,014 ( $\pm 0,001$ )
	Período chuvoso 2016	0,059 ( $\pm 0,001$ )	0,025 ( $\pm 0,001$ )
<b>Média</b>		<b>0,044<sup>a</sup></b>	<b>0,019<sup>a</sup></b>

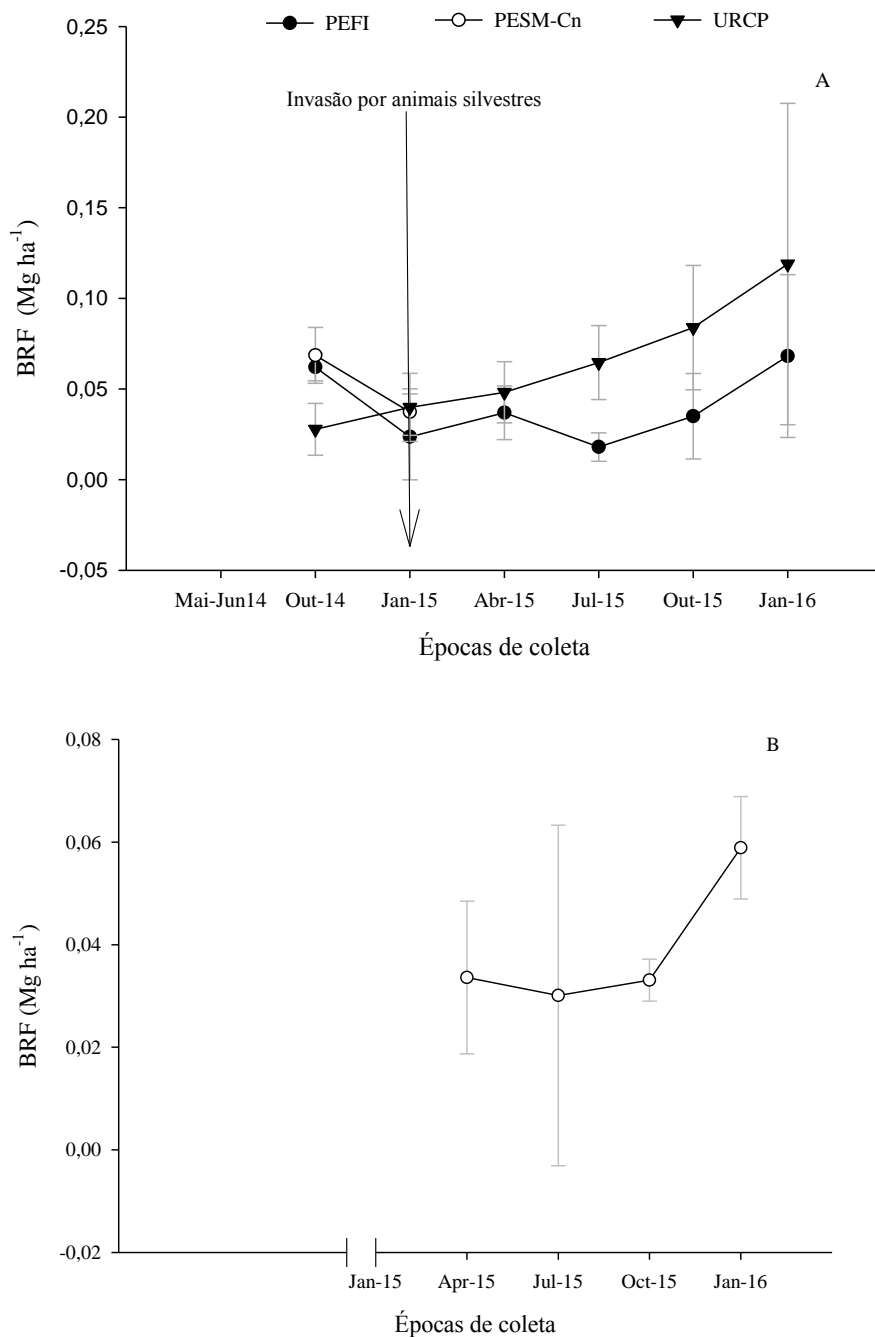
\*Letras diferentes significam diferenças significativas entre sítios ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaboração da autora.

Nas figuras 3.3a e 3.3b apresenta-se a evolução temporal da biomassa de raízes em função do efeito da perturbação do meio pelos animais.



Figura 3.3: Evolução temporal da biomassa de raízes finas(BRF) ( $\emptyset \leq 2$  mm) em,  $\text{Mg ha}^{-1}$  na profundidade de 0-20 cm, antes da invasão por animais (a) e após a invasão por animais (b) a partir da segunda coleta no PESM-Cn. Os valores são médias de 6 repetições ( $n=6$ ) e as barras verticais em cinza representam os desvios padrões de cada média.



Fonte: Elaboração da autora.

Como esperado, no sítio do PESM-Cn, observa-se que, mesmo com a perturbação causada pela invasão dos animais, o crescimento de raízes teve um comportamento similar ao do PEFI (Figuras 3.3a e 3.3b), pois as armadilhas de crescimento de raízes foram reinstaladas. Neste sítio, as maiores quantidades de biomassa de raízes finas foram encontradas na coleta de janeiro de 2016 ( $0,068 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,04$ ) e na coleta de outubro de 2014 ( $0,062 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,01$ ), ambas no período chuvoso, enquanto que a menor quantidade de biomassa foi encontrada na coleta de julho de 2015 ( $0,018 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,01$ ), ocorrida durante o período seco. As biomassas amostradas em abril ( $0,03 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,01$ ) e outubro de 2015 ( $0,035 \text{ kg ha}^{-1} \pm 0,02$ ) apresentaram um comportamento similar de crescimento, com valores próximos entre si ao longo do ano (Figura 3.3a).

No sítio da URCP, a maior quantidade de biomassa de raízes foi encontrada na coleta de janeiro de 2016 ( $0,119 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,08$ ) durante a estação chuvosa, sendo superior e diferindo das demais. A coleta de outubro de 2014, também ocorrida durante a estação chuvosa, apresentou a menor quantidade de biomassa encontrada ( $0,027 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,01$ ) (Figura 3.3a). No geral, as maiores produções de biomassa ocorreram no período chuvoso para todos os ambientes estudados.

### **3.6.5 Correlações entre as características dos solos, biomassa e decomposição de raízes.**

Na Tabela 3.15 apresentam-se os resultados das correlações de Pearson realizadas entre as variáveis da biomassa e da decomposição de raízes finas, as matrizes de correlação são apresentadas nas Tabelas B.1, B.2 e B.3 do Apêndice. Neste estudo, a maioria das variáveis químicas e físicas do solo analisadas apresentam correlação significativa com a perda de massa de raízes finas nos três sítios de estudo.

Tabela 3.15: Coeficientes de correlações de Pearson (r) entre biomassa e decomposição de raízes finas e variáveis edáficas nos três sítios de amostragem.

Características	Biomassa			Decomposição		
	PEFI	PESM_Cn	URCP	PEFI	PESM_Cn	URCP
Umidade do solo (%)	0,320	0,071	0,250	<b>0,327</b>	0,237	0,007
Tmédia do solo (°C)	0,225	0,245	0,063	0,151	0,118	0,001
Tmédia do Ar (°C)	0,109	0,13	0,064	0,104	0,089	0,105
<b>Precipitação total</b> (mm)	0,130	0,274	<b>0,444</b>	0,202	0,2	0,368
<b>pH</b> (KCl)	<b>0,360</b>	0,032	0,234	0,178	0,095	0,071
<b>Argila</b> (g kg <sup>-1</sup> )	0,001	0,122	<b>0,670</b>	<b>0,430</b>	<b>0,622</b>	<b>0,489</b>
<b>Silte</b> (g kg <sup>-1</sup> )	0,238	0,281	<b>0,653</b>	<b>0,447</b>	<b>0,400</b>	<b>0,483</b>
<b>Areia</b> (g kg <sup>-1</sup> )	0,009	0,001	<b>0,644</b>	<b>0,444</b>	<b>0,381</b>	<b>0,467</b>
<b>M.O.</b> (g/dm <sup>3</sup> )	<b>0,325</b>	0,089	0,339	<b>0,495</b>	<b>0,508</b>	0,134
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (mg/kg)	0,209	0,251	0,334	0,212	<b>0,285</b>	0,170
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (mg/kg)	<b>0,512</b>	0,114	<b>0,513</b>	0,104	0,303	0,284
<b>P</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	0,209	0,130	0,044	0,266	<b>0,467</b>	0,063
<b>K</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,252	0,017	0,006	0,207	<b>0,505</b>	0,161
<b>Ca</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,089	0,055	0,209	0,248	<b>0,467</b>	0,001
<b>Mg</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,100	0,002	0,001	0,286	<b>0,423</b>	0,141

Obs.: valores em negrito ( $p \leq 0,05$ ); Argila (<0,002mm); Silte (0,053 – 0,002 mm) e areia total (2,00 – 0,053 mm).

Fonte: Elaboração da autora.

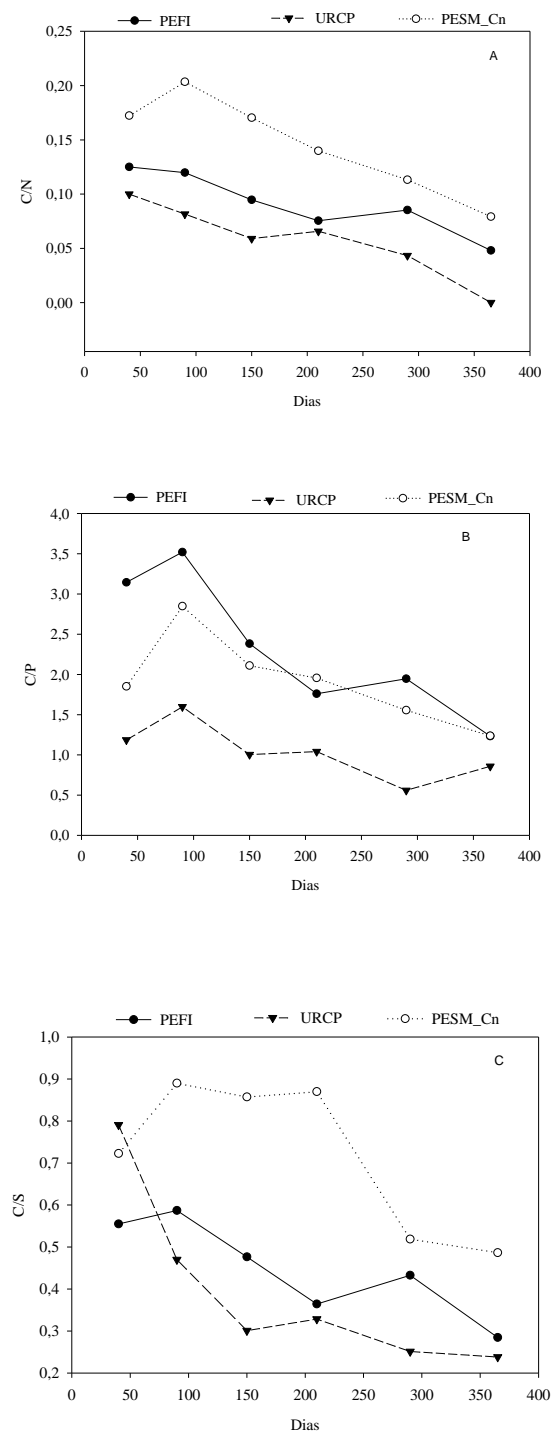
A correlação positiva indica uma relação diretamente proporcional entre as variáveis, ou seja, à medida que aumenta a proporção de MO e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo do PEFI e na URCP, aumenta também a quantidade de biomassa radicular.

Esta mesma avaliação, quando aplicada para a correlação entre a decomposição e as variáveis químicas do solo, denota que à medida que aumenta a MO no PEFI e no PESM-Cn e que aumenta também o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, o P, K, Ca e Mg no sítio do PESM-Cn, aumenta a perda de massa e/ou o processo de decomposição. Indicando que estes elementos estão sendo liberados para as plantas.

### 3.6.6 Relações C/N, C/P e C/S

A literatura indica que em estudos de decomposição de tecido vegetal, condições iniciais do meio, representadas, por exemplo, pelas relações entrecarbono/nitrogênio (C/N), carbono/fósforo (C/P) e carbono/enxofre (C/S) são bons preditores das taxas de decomposição (XULUC-TOLOSA et al., 2003; VENDRAMI et al., 2012). A liberação de N, P e S do sistema solo-planta depende das relações C/N, C/P e C/S do material que passará pelo processo de decomposição. A disponibilidade dos nutrientes, por meio da mineralização, ocorre quando estas relações são:  $C/N < 20$ ,  $C/P < 200$  e  $C/S < 200$ . Nas Figuras 3.4a, b e c apresentam-se os resultados das relações C/N, C/P e C/S na massa de raízes finas para os diferentes períodos de decomposição. Os resultados destas relações mostram que em todos os sítios de estudo a relação C/N foi menor que 20, a relação C/P e C/S foram menores que 200 indicando que ocorreu mineralização desses nutrientes (Figura 3.4a, b e c, respectivamente).

Figura 3.4: Evolução temporal das relações carbono/nitrogênio (C/N) (a), carbono/fósforo (C/P) (b) e carbono/enxofre (C/S) (c) para três sítios de estudo (PEFI, URCP e PESM-Cn).



Fonte: Elaboração da autora.

### 3.7 Biomassa Aérea

Os valores calculados para biomassa aérea (Equação 1) e estoque de carbono (CT) para os três sítios florestais, bem como os valores biomassa aérea verde ( $BA_V$ ), biomassa verde das raízes ( $BRF_V$ ), biomassa total (BT) e a razão entre a biomassa verde das raízes finas e biomassa aérea verde ( $BRF_V:BA_V$ ) são apresentados na Tabela 3.16. Para o cálculo da relação entre a biomassa de raízes finas e a biomassa aérea foi utilizada a biomassa verde das raízes ( $BRF_V$ ), uma vez que a biomassa aérea foi quantificada a partir da biomassa verde ( $BA_V$ ). Na prática, a biomassa pode ser expressa como massa verde ou seca. Sendo que a massa verde refere-se ao material fresco amostrado, contendo uma proporção de água; já na massa seca, a biomassa é obtida após secagem do material em estufa (CALDEIRA, 2003).

Tabela 3.16: Valores totais de biomassa aérea verde ( $BA_V$ ), biomassa verde de raízes finas ( $BRF_V$ ), biomassa seca de raízes finas ( $BRF_S$ ), biomassa total (BT) e relação entre biomassa verde de raízes finas e biomassa aérea ( $BRF_V:BA_V$ ) em  $Mg\ ha^{-1}$ , Carbono Total (CT) em  $Mg\ C\ ha^{-1}$ , nos três sítios de estudo.

Sítios	$BA_V$	$BRF_S$	$BRF_V$	$BT_V$	$BRF_V:BA_V$	CT
	$Mg\ ha^{-1}$					$Mg\ C\ ha^{-1}$
PEFI	27,39	0,253	0,354	27,74	0,013	13,87
PESM	60,29	0,262	0,366	60,65	0,006	30,33
URCP	19,16	0,383	0,537	19,70	0,028	9,850

Fonte: Elaboração da autora.

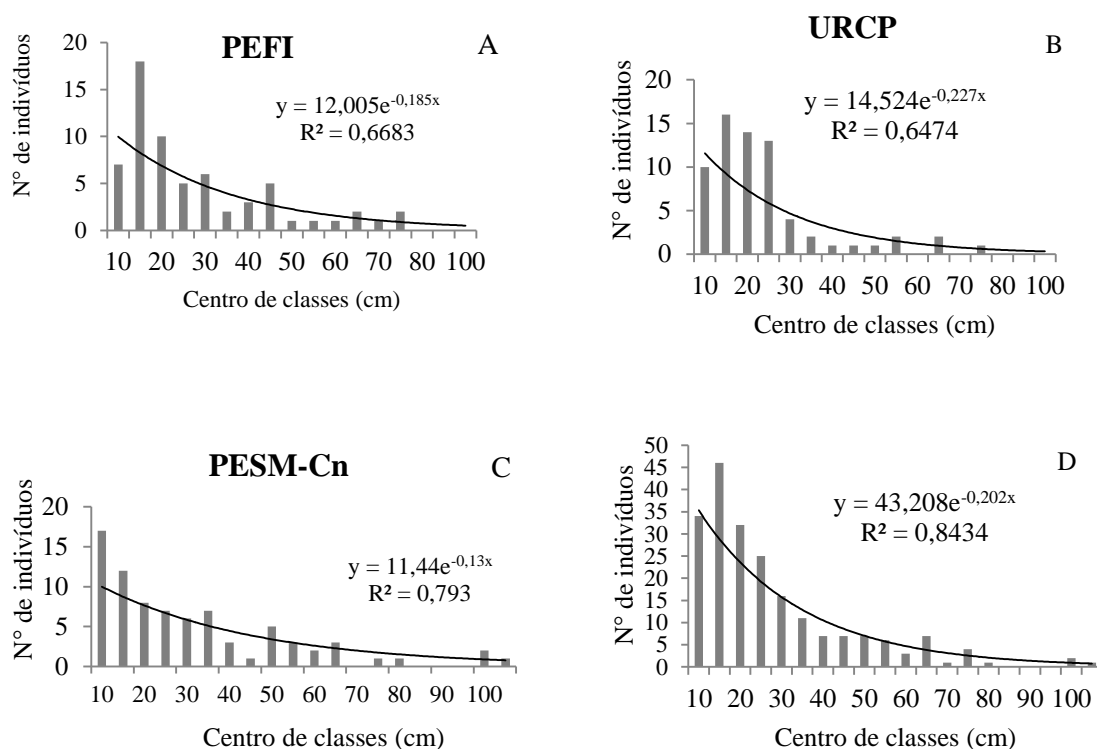
Os três sítios apresentaram importantes valores de biomassa aérea e estoque de carbono. Diferenças significativas foram observadas na biomassa aérea entre os sítios (ANOVA *one way*,  $F=20,76$ ;  $p<0,05$ ), onde a floresta preservada do PESM-Cn apresentou média superior a floresta do PEFI.

### 3.7.1 Distribuição dos indivíduos por classe diamétrica

A distribuição dos indivíduos por classe diamétrica é apresentada na Figura 3.5, com base na amostragem de um total de 215 indivíduos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi considerado satisfatório para caracterizar o estágio sucessional e de conservação de cada sítio. A distribuição no PESH-Cn apresentou melhor ajuste entre as variáveis, assim também quando todos os indivíduos dos três sítios foram considerados em conjunto ( $R^2 = 0,793$ ;  $R^2 = 0,843$ ).

Figura 3.5: Distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro: (A) PEFI; (B) PESH-Cn e; (C) URCP; (D) Distribuição de todos os indivíduos presentes no levantamento.

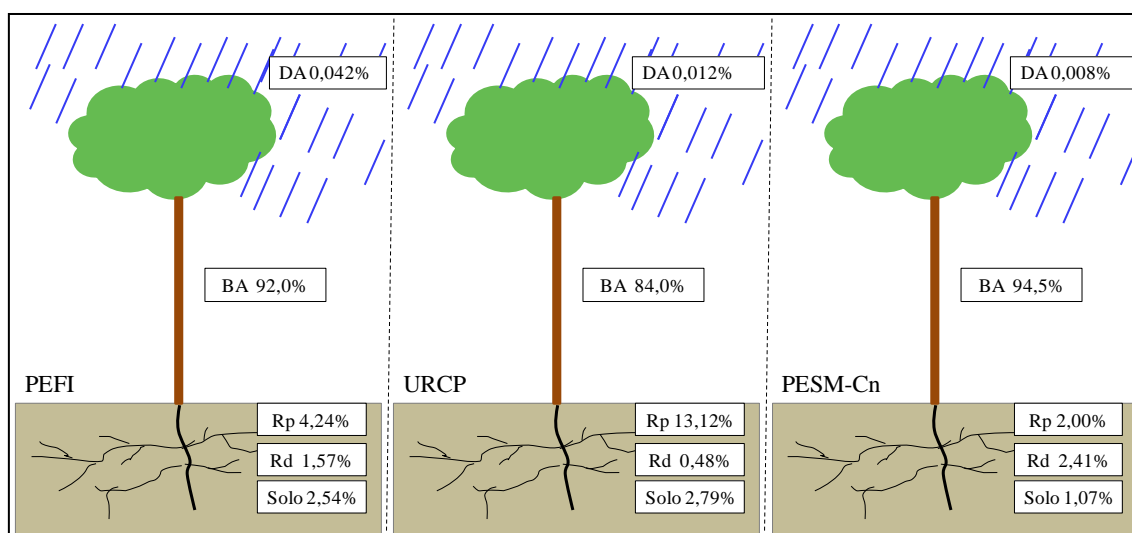


Fonte: Elaboração da autora.

### 3.8 Estoque de carbono e nutrientes nos diversos compartimentos

Na Figura 3.6, apresentam-se os valores dos estoques de carbono considerando as entradas via água de chuva, a biomassa aérea e de raízes finas, a de raízes de decomposição e o solo, em percentagem, estimados em cada compartimento de cada sítio deste estudo. A biomassa aérea (BA) é o maior reservatório de carbono, seguido pela biomassa das raízes de produção (Rp), solo, raízes de decomposição (Rd) e deposição atmosférica (DA).

Figura 3.6: Estoque de carbono relativo (%) encontrado nos diferentes compartimentos dos sítios deste estudo.

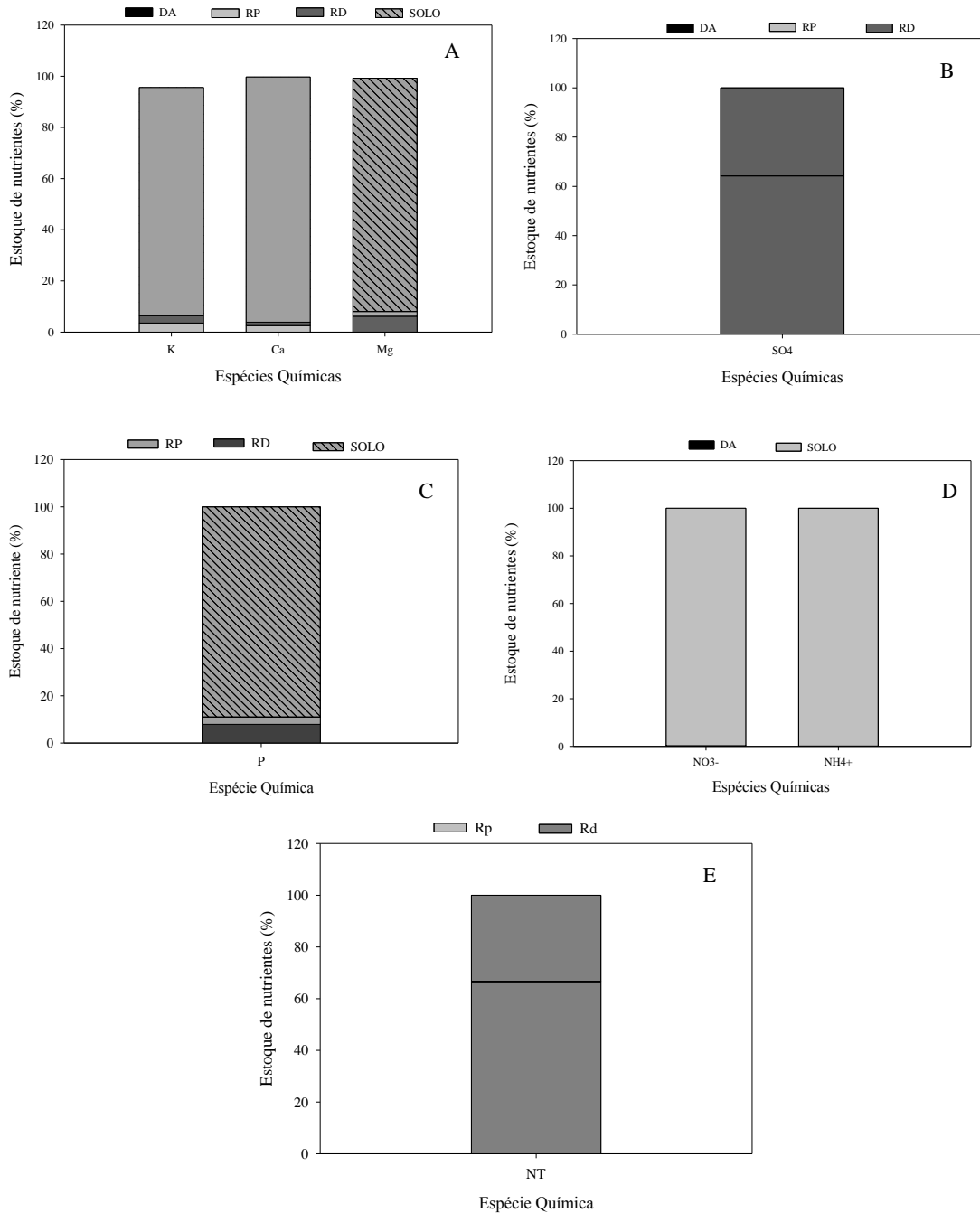


Fonte: Elaboração da autora.

Na sequência das Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 são apresentados os valores dos estoques dos nutrientes encontrados em cada compartimento dos sítios estudados, em porcentagem.



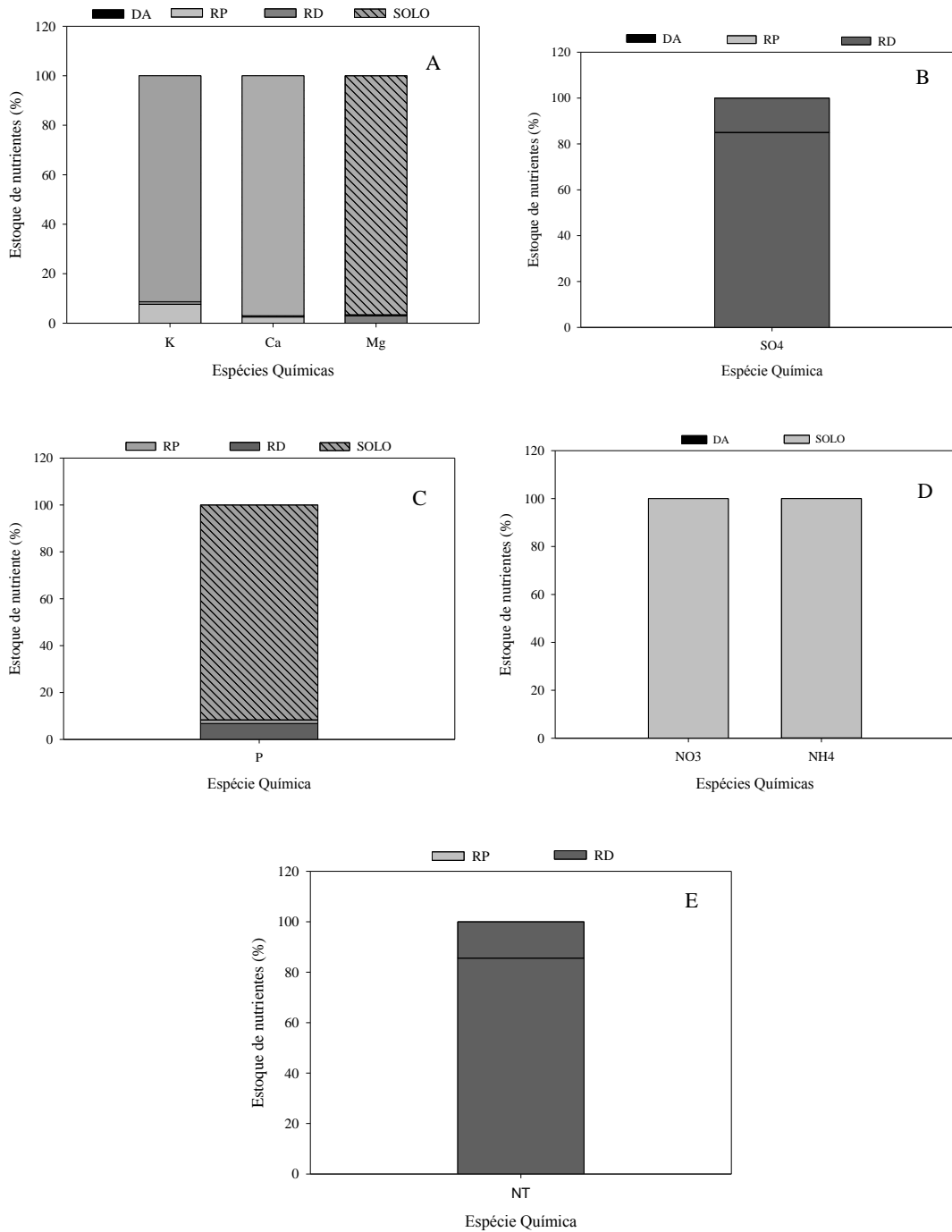
Figura 3.7: Estoque dos nutrientes: (A)  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ; (B)  $SO_4^{2-}$ , (C) P; (D)  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ ; (E) Nitrogênio total – NT, em %, encontrado nos diferentes compartimentos no sítio do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). Onde, DA= Deposição Atmosférica, RP = Raíz de Produção e RD= Raíz em Decomposição.



Fonte: Elaboração da autora.

No PEFI, os maiores reservatórios de K (93,5%), Ca (86,1%) e Mg (91,9%) encontram-se no solo, seguidos pelas raízes de produção (3,54%, 2,54% e 6,22%, respectivamente), raízes de decomposição (2,93%, 1,32% e 1,83%) e pela deposição atmosférica (0,005%, 0,003% e 0,003%) (Figura 3.7a). O  $\text{SO}_4^{2-}$  possui maior estoque nas raízes de produção (64,20%), nas raízes de decomposição (35,73%) e na deposição atmosférica (0,07%) (Figura 3.7b). O P possui maior reservatório no solo (89,01%), seguido pelas raízes de produção (7,91%) e pelas raízes de decomposição (3,08%) (Figura 3.7c). O  $\text{NO}_3^-$  e o  $\text{NH}_4^+$  encontram-se estocados em maior parte no solo (99,71% e 99,98%) e na deposição atmosférica (0,29% e 0,02%) (Figura 3.7d). O nitrogênio total (NT) encontra-se estocado nos tecidos das raízes de produção (66,63%) e nas raízes de decomposição (33,37%) (Figura 3.7e).

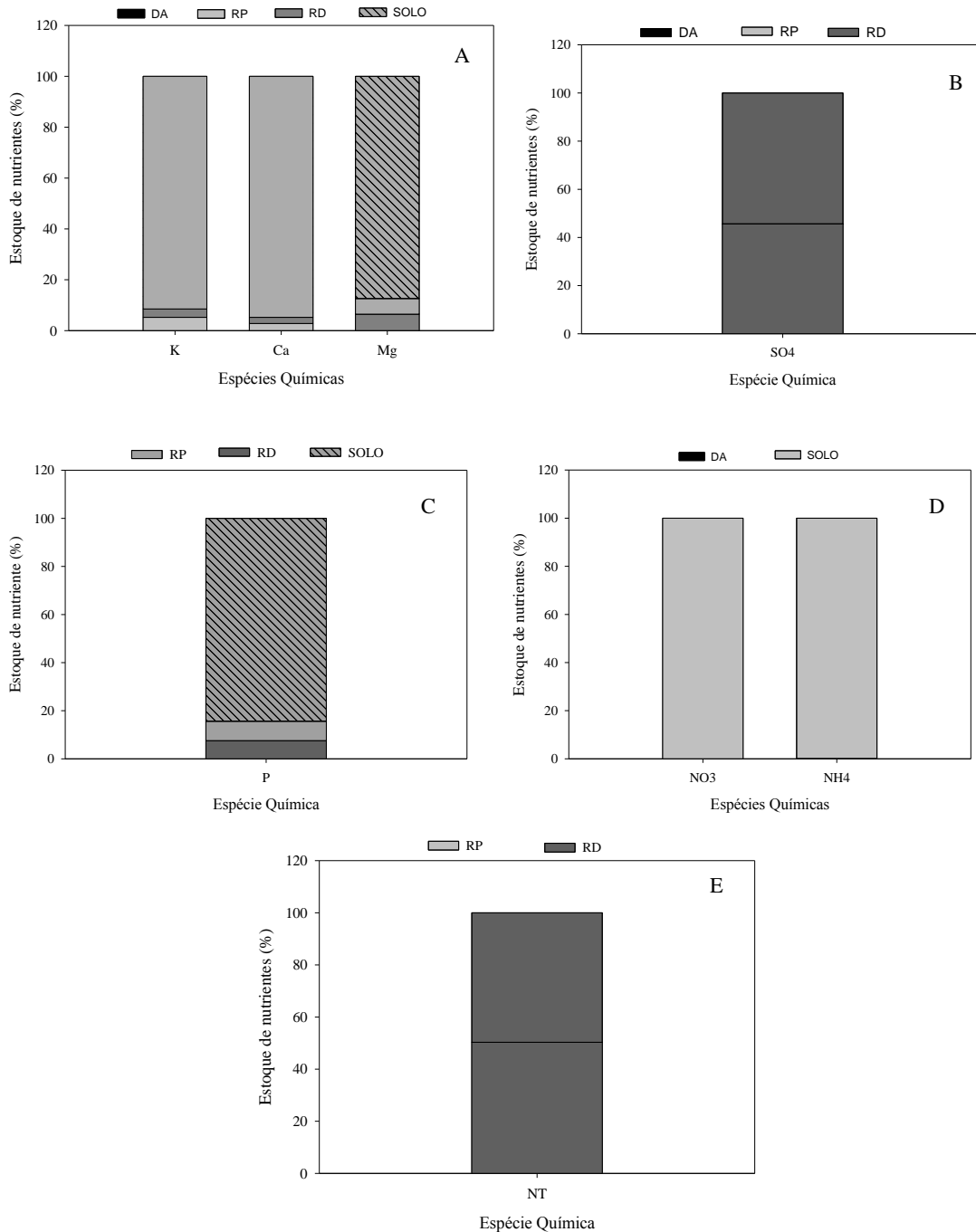
Figura 3.8: Estoque dos nutrientes: (A)  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ; (B)  $SO_4^{2-}$ , (C) P; (D)  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ ; (E) Nitrogênio total – NT, em %, encontrado nos diferentes compartimentos no sítio da Unidade Regional do INPE de Cachoeira Paulista (URCP). Onde, DA= Deposição Atmosférica, RP = Raíz de Produção e RD= Raíz de Decomposição.



Fonte: Elaboração da autora.

Na URCP, os maiores reservatórios de K (91,3%), Ca (96,98%) e Mg (96,64%) encontram-se no solo, seguidos pelas raízes de produção (7,58%, 2,50% e 2,92%, respectivamente), raízes de decomposição (1,10%, 0,51% e 0,38%) e deposição atmosférica (0,0008%, 0,0002% e 0,003%) (Figura 3.8a). O  $\text{SO}_4^{2-}$  possui maior estoque nas raízes de produção (84,95%), pelas raízes de decomposição (15,03%) e pela deposição atmosférica (0,02%) (Figura 3.8b). O P possui maior reservatório no solo (91,71%), seguido pelas raízes de produção (6,78%) e pelas raízes de decomposição (1,51%) (Figura 3.8c). O  $\text{NO}_3^-$  e o  $\text{NH}_4^+$  encontram-se estocados em maior parte no solo (99,90% e 100%) e na deposição atmosférica (0,07% e 0,004%) (Figura 3.8d). O nitrogênio total (NT) encontra-se estocado nos tecidos das raízes de produção (85,62%) e nas raízes de decomposição (14,38%) (Figura 3.8e).

Figura 3.9: Estoque dos nutrientes: (A)  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ; (B)  $SO_4^{2-}$ , (C) P; (D)  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ ; (E) Nitrogênio total – NT, em %, encontrado nos diferentes compartimentos no sítio do Parque Estadual da Serra do Mar-Núcleo Cunha Indaiá (PESM-Cn). Onde, DA= Deposição Atmosférica, RP = Raíz de Produção e RD= Raíz de Decomposição.



Fonte: Elaboração da autora.

No PESH-Cn, os maiores reservatórios de K (91,47%), Ca (94,77%) e Mg (87,39%) encontram-se no solo, seguidos pelas raízes de produção (5,22%, 2,81% e 6,49%, respectivamente), raízes de decomposição (3,30%, 2,41% e 6,11%) e pela deposição atmosférica (0,001%, 0,001% e 0,002%) (Figura 3.9a). O  $\text{SO}_4^{2-}$  possui maior estoque nas raízes de decomposição (54,39%), nas raízes de produção (45,58%) e na deposição atmosférica (0,03%) (Figura 3.9b). O P possui maior reservatório no solo (84,38%), seguido pelas raízes de decomposição (8,04%) e pelas raízes de produção (7,58%) (Figura 3.9c). O  $\text{NO}_3^-$  (99,94%) e o  $\text{NH}_4^+$  (100%) encontram-se estocados em maior parte no solo e na deposição atmosférica (0,06% de  $\text{NO}_3^-$  e 0,004% de  $\text{NH}_4^+$ ) (Figura 3.9d). O nitrogênio total (NT) encontra-se estocado nos tecidos das raízes de produção (50,28%) e nas raízes de decomposição (49,72%) (Figura 3.9d).

Para estimar os estoques de nutrientes no solo, foi considerada a profundidade da amostra (20 cm), a densidade do solo de cada sítio ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e a concentração de cada nutriente, conforme apresentado nas Tabelas 3.10 e 3.11. Para estimar os estoques de nutrientes na biomassa e na massa de raízes de decomposição, além destes valores, foi considerado também os teores dos nutrientes determinados em laboratório, apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17: Teores totais de nutrientes nas raízes de produção (Rp) e decomposição (Rd) nos três sítios deste estudo (n=36). Valores de desvio padrão em parêntesis.

Sítios	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g/kg)					
<b>Produção (Rp)</b>						
PEFI	1,12 (±0,93)	5,10 (±0,08)	20,5 (±1,26)	19,7 (±0,50)	8,80 (±0,64)	20,3 (±0,77)
URCP	70,7 (±3,46)	4,10 (±0,24)	33,1 (±3,08)	21,3 (±0,81)	10,7 (±0,65)	11,9 (±0,37)
PESM-Cn	1,09 (±0,85)	7,80 (±0,06)	28,1 (±2,03)	32,7 (±0,74)	16,2 (±0,59)	18,4 (±0,38)
<b>Decomposição (Rd)</b>						
PEFI	88,0 (±0,68)	3,50 (±0,04)	14,4 (±0,43)	15,1 (±0,38)	4,30 (±0,17)	17,6 (±0,28)
URCP	50,2 (±4,15)	3,90 (±0,16)	22,3 (±3,30)	20,5 (±0,53)	6,20 (±0,12)	10,6 (±0,30)
PESM-Cn	97,8 (±1,20)	7,40 (±0,21)	16,8 (±1,73)	25,9 (±0,66)	13,9 (±0,56)	19,6 (±0,52)

Fonte: Elaboração da autora.





## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Características químicas da água de chuva.

A caracterização da composição química da água de chuva, especialmente em regiões industrializadas e densamente povoadas, é de suma importância para identificação das diferentes fontes desses elementos e avaliação dos possíveis impactos nos ecossistemas terrestres e marinhos e na saúde humana (HUANG et al., 2009). Além disso, a água de chuva é um importante componente da deposição atmosférica para o ecossistema, podendo introduzir espécies químicas tanto benéficas como danosas. Caracterizar a composição química da água de chuva permite realizar diagnóstico quantitativo da qualidade da atmosfera de uma determinada região. As deposições atmosféricas constituem um dos principais mecanismos da ciclagem e redistribuição dos vários elementos químicos sobre a superfície do planeta, desempenhando um papel fundamental nos processos biogeoquímicos continentais e costeiros (SOUZA et al., 2006).

As características químicas das águas de chuva serão discutidas com base nas diferenças observadas nas concentrações entre os diferentes sítios (diferença espacial) e entre os períodos chuvosos e secos (diferença temporal).

A partir da Tabela 3.5, verifica-se que as concentrações MPV para as espécies químicas  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$  e COD variaram em um gradiente do sítio rural para o mais preservado na seguinte ordem: URCP>PEFI>PESM-Cn. Por outro lado, as espécies químicas  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  variaram em um gradiente do sítio mais poluído para o sítio mais preservado na seguinte ordem: PEFI>URCP>PESM-Cn. O PESM-Cn possui uma atmosfera mais limpa dentre os sítios devido à sua localização, marcada principalmente pela proximidade da Serra do Mar, sendo normal a ocorrência de chuvas intensas, mesmo nos períodos mais secos. Assim, observam-se elevadas médias pluviométricas anuais nessa área ( $\approx 2.200$  mm) (CETESB, 2007).

As concentrações MPV para o  $\text{H}^+$  diferiram entre os períodos sazonais, estas concentrações foram de 4,16, 5,69 e 4,89  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, durante o período

chuvoso nos sítios do PEFI, URCP e PESM-Cn, sendo significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) às concentrações MPV obtidas para o período seco com 1,67, 3,87 e 3,42  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente nos sítios estudados. A concentração MPV de  $\text{H}^+$  no período chuvoso foi inferior aos valores encontrados no estudo de Forti et al. (2005) com valor de 34,4  $\mu\text{g L}^{-1}$  observado no PEFI e superior ao valor de 3,90  $\mu\text{g L}^{-1}$  observado no PESM-Cn. No período seco, as concentrações de  $\text{H}^+$  foram inferiores ao valor de 9,24  $\mu\text{g L}^{-1}$  observado no PEFI e superior ao valor de 3,35  $\mu\text{g L}^{-1}$  observado no PESM por Forti et al. (2005) nas mesmas regiões deste estudo. A acidez livre ( $\text{H}^+$ ), observada na Tabela 3.5, na água de chuva do PEFI, para o período chuvoso, pode ser atribuída a uma atmosfera, que apresentava-se mais ácida há 11 anos, conforme observado no estudo de Forti et al. (2005). No PESM-Cn, por ser uma floresta de referência com cobertura vegetal em estágio sucessional avançado, é possível que o processo fotossintético da floresta tenha alterado o valor de  $\text{H}^+$ , elevando os valores deste estudo quando comparado com aqueles encontrados no estudo de Forti et al. (2005). As concentrações de  $\text{H}^+$  deste estudo, para o período seco no PESM-Cn, foram mais elevadas do que o valor encontrado para uma área preservada de Ituporanga na bacia do Alto Sorocaba (SP) com 5,49  $\mu\text{g L}^{-1}$  (CONCEIÇÃO et al., 2011).

Na URCP, os valores MPV de  $\text{H}^+$  foram de 5,69 e 3,87  $\mu\text{g L}^{-1}$  durante o período chuvoso e seco, respectivamente, sendo significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) no período chuvoso. Valores de  $\text{H}^+$  aproximados ao deste estudo, no período seco, em água de chuva também foram observados no estudo de Conceição et al. (2011), na região de Ibiúna (SP) com valores de 3,47  $\mu\text{g L}^{-1}$ , região característica de zona rural, assim como a URCP.

Quanto às concentrações MPV para o  $\text{K}^+$  e COD no PESM-Cn, os valores diferiram nos períodos sazonais e foram de 0,70 e 22,6  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, no período chuvoso e de 1,66 e 35,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, para o período seco, sendo significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) no período seco. Essas diferenças podem ser atribuídas, no caso do  $\text{K}^+$ , a poeira do solo e provavelmente, aos resíduos de produção de cerâmica com uso de argila no município de Cunha, uma vez que, mesmo em menor composição, a argila tem como um de seus elementos o óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (RANIERI, 2007). Os valores de

$K^+$  deste estudo foram abaixo daqueles encontrados por Forti et al.(2005) para o mesmo local. No caso do COD, as diferenças podem ser devidas às significativas alterações antrópicas, principalmente a queima de biomassa na região, chegando a influenciar as áreas mais preservadas como o PESM-Cn. Isso fez com que as concentrações de COD na água de chuva fossem sempre elevadas em relação ao CID, corroborando com aquelas descritas em outros estudos realizados na região do PESM, núcleos Picinguaba e Santa Virgínia (OLIVEIRA, 2007). Almeida (2006) encontrou valores de COD na região do Parque Estadual de Intervales (SP) de  $859 \mu\text{g L}^{-1}$  no período seco e  $960 \mu\text{g L}^{-1}$  no período chuvoso, o que equivale a vinte e quatro vezes mais o valor encontrado no PESM-Cn no período seco e quarenta e duas vezes mais no período chuvoso. Essa alta concentração de COD observada por Almeida (2006) esta associada às extensas áreas de solo exposto e com pouca cobertura florestal, assim como ao grande número de focos de queimadas em períodos secos na região, atingindo também áreas mais conservadas da Mata Atlântica (PROGRAMA DE QUEIMADAS DO INPE, 2017).

Quanto ao pH (Tabela 3.5), os valores não diferiram estatisticamente entre os sítios de estudo ( $p > 0,05$ ). Os valores de pH nas amostras do PEFI, URCP e PESM-Cn variaram entre 5,57, 5,29 e 5,52, respectivamente, no período chuvoso, para 6,00, 6,25 e 5,88, respectivamente, no período seco. No PEFI, URCP e PESM-Cn em um conjunto de 41, 35 e 81 amostras de pH, 44%, 49% e 49% dessas amostras, encontradas no período chuvoso, nos três sítios, respectivamente, apresentaram valores de  $\text{pH} < 5,6$  (resultante do equilíbrio da água pura com o  $\text{CO}_2$  atmosférico), limite considerado na caracterização do fenômeno de chuva ácida (BERNER; BERNER, 2012). Esses resultados demonstram que grande parte das chuvas sazonais dos três sítios de estudo oscila entre levemente ácida a normal, refletindo nos valores periódicos de medições de raízes e entre os sítios.

O pH da água de chuva deste estudo, apresentado na Tabela 3.5, sugere uma variabilidade nos períodos sazonais. Essa variação foi menor no período chuvoso e mais elevada no período seco, para os três sítios estudados. Esse padrão sazonal foi também fortemente influenciado pelo volume de precipitação. Os menores volumes apresentaram os menores valores de pH. Embora os resultados aqui observados

indiquem uma leve acidez na água de chuva, oscilando entre 5,29 a 5,57, estando abaixo do limite crítico de 5,6, eles são superiores aos verificados em outros locais do Brasil (Tabela 4.1) e indicam que a precipitação ainda não constitui fator de risco para o meio ambiente durante o período avaliado.

Tabela 4.1: Valores de pH médios obtidos nas chuvas de diferentes localidades.

Local	pH		Fonte
	Chuvoso	Seco	
<b>Amazonas</b>			
Balbina	4,9	4,5	Artaxo et al.(2006)
Manacapuru	5,0	4,5	William et al.(1997)
<b>São Paulo</b>			
Bragança Paulista	4,4	4,6	Lara et al.(2001)
Campinas	4,5	4,6	Lara et al.(2001)
Piracicaba	4,5	4,8	Lara et al.(2001)
Santa Maria da Serra	4,3	4,4	Lara et al.(2001)
Ibiúna	6,3	5,5	Conceição et al.(2011)
Itaporaranga	6,8	5,3	Conceição et al.(2011)
São Paulo	4,3	4,3	Forti et al.(2005)
	5,5	6,0	este estudo
Cunha	5,4	5,4	Forti et al.(2005)
	5,3	5,7	este estudo
Cachoeira Paulista	5,2	5,8	este estudo

Fonte: Elaboração da autora.

As entradas atmosféricas, mostradas nas Tabelas 3.6, 3.7 e 3.8, no geral, indicam que no ano de 2016, a entrada de elementos via deposição atmosférica foi maior nos sítios do PEFI e PESM-Cn em relação à URCP. Especialmente, observamos que a deposição atmosférica ocorreu na seguinte ordem: PEFI>PESM-Cn>URCP.

Para as principais espécies químicas derivadas do mar, as estimativas de deposição anual no PEFI e na URCP em 2015 (104 e 15,9 para Na<sup>+</sup> e 187 e 32,4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> x 10<sup>-2</sup> para Cl<sup>-</sup>, respectivamente) foram maiores que em 2016 (44,5 e 8,76 para o Na<sup>+</sup> e

101 e 21,9 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>x 10<sup>-2</sup> para Cl<sup>-</sup>). No PESM-Cn estas estimativas foram maiores em 2016 (89,7 e 160 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>x 10<sup>-2</sup> para Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, respectivamente) do que em 2015 (20,3 e 39,4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> x 10<sup>-2</sup> para o Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>). Essa diferença é atribuída ao fato de que no período chuvoso, normalmente, maiores quantidades destas espécies químicas são depositadas do que no período seco. Além da proximidade deste sítio com a costa e também com a Serra do Mar, é normal a ocorrências de chuvas, mesmo nos períodos mais secos. Em um estudo realizado por Forti et al.(2005) nas mesmas áreas deste estudo (PEFI e PESM-Cn), as estimativas de deposição para o Na<sup>+</sup> e o Cl<sup>-</sup>, no sítio do PEFI, para o período chuvoso e seco, foram mais altas que as estimativas do presente trabalho, exceto Na<sup>+</sup> no período seco. As estimativas de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> no PESM-Cn, para o período chuvoso, foram maiores que neste estudo, sendo que o Na<sup>+</sup> no período seco obteve valor aproximado ao estudo de Forti et al.(2005) e o valor de Cl<sup>-</sup> no período seco foi menor que o valor encontrado neste estudo. Provavelmente essas diferenças são atribuídas ao volume de precipitação que no PEFI, período chuvoso, no estudo de Forti et al. (2005) foi de 1840 mm, e nesse estudo foi de 1441 mm. Por outro lado, no PESM-Cn, para o estudo de Forti et al.(2005), período chuvoso, foi de 2006 mm e nesse estudo foi de 2278 mm.

Para os íons derivados principalmente de fontes terrestres, como o Ca<sup>2+</sup> e o Mg<sup>2+</sup>, as deposições atmosféricas no PESM-Cn e na URCP foram maiores no período chuvosos de 2015 (10,8 e 4,20 kg ha<sup>-1</sup>x 10<sup>-2</sup> para o Ca<sup>2+</sup> e 2,76 e 2,63 kg ha<sup>-1</sup> x 10<sup>-2</sup> para o Mg<sup>2+</sup> em ambos os sítios) e no PEFI, no período chuvoso de 2016 (22,3 para Ca<sup>2+</sup> e 5,42 kg ha<sup>-1</sup> x 10<sup>-2</sup> para Mg<sup>2+</sup>). Estimativas de deposições superiores aos valores encontrados neste estudo para o Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no período chuvoso (3,94 e 0,76 kg ha<sup>-1</sup>) e seco (2,55 e 0,45 kg ha<sup>-1</sup>) foram relatados por Forti et al.(2005) para a área do PEFI. Estes mesmos autores encontraram valores superiores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (0,81 kg ha<sup>-1</sup> e 0,16 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente) no período chuvoso e valores inferiores (0,16 e 0,09 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) no período seco, para o PESM-Cn. Ao observarmos os dados de precipitação do presente estudo, verifica-se que o ano de 2015 apresentou um inverno anormalmente chuvoso e um verão mais seco e mais curto (COELHO et al., 2015), quando comparado com o ano de 2016. Conseqüentemente, essas alterações

climatológicas influenciaram nos valores de deposição atmosféricas nos três sítios de estudo.

Para as espécies de nitrogênio, as estimativas de deposição atmosférica de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  deste estudo, no PEFI, foram inferiores para os períodos chuvosos (0,24 e 1,39  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente) e secos (0,20 e 0,78  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente) comparados aos valores obtidos por Forti et al. (2005), que nos períodos chuvosos foi de 9,48 e 28  $\text{kg ha}^{-1}$  ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , respectivamente) e, em períodos secos com 1,85 e 18,1  $\text{kg ha}^{-1}$ , ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , respectivamente). No PESM-Cn os valores de deposição encontrados neste estudo foram 0,14 e 0,057  $\text{kg ha}^{-1}$  para o  $\text{NH}_4^+$  e 0,35 e 0,21  $\text{kg ha}^{-1}$  para o  $\text{NO}_3^-$  no período chuvoso e seco, respectivamente. No PESM-Cn a soma da deposição anual de 2015 (com chuva de 1473,2 mm) e 2016 (com chuva de 1756,2 mm) de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  (84,4  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) é menos da metade da concentração encontrada em regiões mais preservadas da Amazônia (290  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) (OLIVEIRA et al., 2007). Na URCP, mesmo sendo um sítio rural, o valor da soma de deposição anual de 2015 e 2016 de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  (73,4  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ ) foi praticamente três vezes menor que a deposição em áreas com forte influência antrópica do Estado de São Paulo (297  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1} \times 10^{-2}$ , dados deste estudo). No geral, a deposição de nitrogênio não segue o mesmo padrão de precipitação, ou seja, a deposição de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  está diretamente relacionada com o nível de perturbação de cada sítio. Quantidades expressivas de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  encontram-se depositadas na área mais impactada, em ambos os períodos sazonais. Tanto óxidos de nitrogênio quanto de amônia são emitidos por processos biológicos no solo e durante as queimadas (MARTINS et al., 2003).

As deposições atmosféricas anuais de  $\text{SO}_4^{2-}$  no PEFI foram maiores que no PESM-Cn e URCP. Essa diferença pode ser explicada pela característica atmosférica de cada local. O PEFI está sob forte influência antrópica, a URCP sob razoável influência antrópica, enquanto o PESM-Cn não possui influência antrópica. No PEFI e no PESM-Cn a deposição de  $\text{SO}_4^{2-}$  foi maior em 2016 do que em 2015; a URCP mostrou comportamento oposto. Nos três sítios, maiores deposições de  $\text{SO}_4^{2-}$  ocorreram no período seco de 2016. No PEFI, as altas deposições anuais são devidas à extensiva queima de combustíveis fósseis (devido ao intenso fluxo de transporte urbano),

presença de termoeletricas e indústrias, as quais são as principais fontes de  $\text{SO}_4^{2-}$ , que é removido como  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pela água de chuva (CONCEIÇÃO et al., 2004).

Maiores deposições anuais de  $\text{K}^+$  foram encontradas no ano de 2015 do que em 2016 nos sítios do PEFI e URCP, enquanto que o PESM-Cn apresentou maior deposição em 2016. Em 2015, estas deposições seguiram a seguinte ordem: PEFI>URCP>PESM-Cn. Para o ano de 2016, esta ordem foi PEFI>PESM-Cn>URCP. As diferenças nesta ordem são atribuídas às diferentes fontes desta espécie e às características de cada local. No PEFI e PESM-Cn a deposição de  $\text{K}^+$  foi maior no período chuvoso de 2016; já na URCP a deposição de  $\text{K}^+$  foi maior em 2015. No PESM-Cn e na URCP, o período seco de 2016 apresentou maior deposição de  $\text{K}^+$ , enquanto no PEFI a maior deposição foi encontrada em 2015. A deposição atmosférica do  $\text{K}^+$  nos períodos chuvosos foi diretamente proporcional ao volume de precipitação, ou seja, em períodos chuvosos ocorreram maiores quantidades de deposição dessa espécie.

O PEFI e o PESM-Cn receberam uma carga maior de COD em 2016, quando comparado com a URCP. No PEFI e PESM-Cn, valores altos de deposição atmosférica ocorreram em períodos chuvosos. Estes dois sítios possuem maior atividade vegetativa o que explica a maior carga de COD. O sítio de amostragem do PEFI está localizado em uma área onde há um tráfego intenso de veículos, o que pode contribuir para a emissão de substâncias orgânicas devido à combustão incompleta dos combustíveis. Já o sítio de amostragem do PESM-Cn está localizado em uma área preservada e a ocorrência de COD neste sítio é devido, provavelmente, à atividade natural decorrente dos processos de fotossíntese, respiração e degradação da própria vegetação. Normalmente a deposição de carbono orgânico é influenciada pelo padrão de precipitação, ou seja, durante o período chuvoso, a deposição de carbono é maior do que no período seco; no entanto, na URCP, uma maior deposição atmosférica de COD ocorreu em períodos secos, provavelmente devido à maior queima de biomassa, seja de forma natural e/ou artificial neste período. Uma evidência observada no padrão de deposição química da atmosfera sobre a Mata Atlântica é a alteração na deposição úmida do carbono. As observações feitas no sítio da URCP indicam que as queimas de biomassa, associada às mudanças no uso da terra na Mata Atlântica estão alterando o padrão de deposição de

COD (LARA et al., 2001; NEU, 2009). Os valores de deposição de COD encontrados no PESH-Cn, no período chuvoso, correspondem ao dobro dos valores encontrados por Oliveira (2007) no PESH, núcleo Santa Virginia. No período seco, os valores de deposição de COD foram similares, para ambos os estudos. Estudos de deposição atmosférica de COD são essenciais para entendimento dos fluxos de carbono que ocorrem entre a atmosfera e a biosfera e, conseqüentemente, para uma melhor compreensão do ciclo do carbono (ARTAXO et al., 2006).

Diante do exposto, esse estudo mostrou que há uma forte relação entre a sazonalidade e a concentração encontrada na água de chuva. Há, por conseguinte, um gradiente de concentração do maior para o menor entre PEFI, URCP e PESH-Cn. Isso se deve ao fato do PEFI ser uma região com grande polo industrial, forte urbanização e grande frota de veículos automotores, gerando uma concentração maior de poluentes químicos. Na URCP, devido às queimadas que ocorrem na região e, considerando o período de seca prolongada em 2014/2015, denotado pelo registro de 874 focos de queimadas durante o mês de outubro de 2014 no estado de São Paulo (PROGRAMA QUEIMADAS-INPE, 2017), houve um aumento considerável de concentrações de espécies químicas neste ano. No PESH-Cn, o crescimento urbano (IBGE, 2016) e uma estiagem prolongada em 2014/2015 refletiram no aumento das espécies químicas. Nos três sítios de estudo, as espécies químicas apresentaram picos de concentração em épocas precedidas por um período seco mais pronunciado, ou seja, a ausência, ou quase ausência de chuvas nos períodos estudados proporcionou o acúmulo das espécies químicas no compartimento atmosférico. Com a vinda das chuvas, as partículas foram arrastadas e, conseqüentemente, suas concentrações na água de chuva foram elevadas. Isso pode ser ilustrado pela presença de valores altos no sítio do PEFI, principalmente para o  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e o  $\text{Na}^+$  nos períodos secos, que refletiram nos períodos de medições de raios. Deve-se ressaltar que eventos climáticos atípicos ocorridos dentro do período de estudo (*e.g.*, um período seco bastante pronunciado) influenciaram as deposições atmosféricas das áreas analisadas. Deve-se também levar em consideração a particularidade de cada região estudada, pois temos uma região com intensa urbanização, outra apresentando média urbanização e uma considerada rural; logo, as



concentrações das espécies químicas lançadas na atmosfera estão relacionadas com a atividade que cada cidade exerce.

#### **4.2 Características edáficas dos solos florestais estudados**

Neste estudo observou-se a predominância de Latossolos Vermelhos-Amarelos no PEFI e no PESM-Cn e Gleissolos e Cambissolos na URCP. Os Gleissolos possuem textura variável de arenosa à argilosa e são solos dependentes dos solos do seu entorno. Na região de São Paulo, parte da vegetação original de florestas paludosas e de campo higrófilo, que outrora foi substituída por agricultura, encontra-se em parte regenerando. Os Gleissolos possuem ocorrências mais expressivas na província geomorfológica do Planalto Atlântico, em condições de topografia mais íngreme ou relevo mais dissecado. São solos de rasos a profundos e com boa drenagem (EMBRAPA, 2006).

A densidade do solo na URCP (Tabela 3.10) medida neste estudo, está de acordo com aquela determinada por Silva et al.(2012) em solos, sob Mata Atlântica, do município de Guarapuava (Paraná) com cobertura de vegetação tanto natural como secundária.No PESM-Cn e no PEFI, os valores de densidade medidos neste estudo (Tabela 3.10) estão de acordo com a literatura para solos florestais não cultivados, no intervalo  $[0,7 - 1,1]$  g  $\text{cm}^3$  (BRADY; WEIL, 2013).Os menores valores obtidos para densidade do solo no PEFI e no PESM-Cn revelam uma maior interação das raízes finas com o solo, provavelmente por atuação dos organismos do solo, acelerando os processos de formação do solo orgânico (ROPPA, 2009).

Os resultados deste estudo (Tabela 3.12) indicam que os três sítios apresentaram saturação por bases menor que 50% em seus solos, sendo assim, considerados poucos férteis ou distróficos. Conseqüentemente maiores produções de biomassa de raízes (como os valores apresentados pela URCP) podem ser esperados em solos menos férteis (TURCIOS, 2015), concordando com a teoria de alocação de biomassa (IWASA; ROUGHGARDEN, 1984).

O intervalo de valores de pH medidos nos solos do PEFI foi  $[3,5 - 4,5]$ , em acordo com o encontrado por Struffaldi-De-Vuono (1985) para a mesma área. Os valores de pH do

PESM-Cn e na URCP são aproximadamente os mesmos que os obtidos por Lima (2009) em estudos realizado com 6 fragmentos florestais de diferentes idades sucessionais da Mata Atlântica Fluminense. O pH é um fator importante que determina a disponibilidade de nutrientes no solo. Altas concentrações de  $H^+$  deslocam os cátions do complexo de troca existente sobre os minerais de argila e sobre a matéria orgânica do solo facilitando sua lixiviação (RAIJ, 1987).

Em solos florestais, cerca de 95% do N encontra-se na forma orgânica devendo ser mineralizado para estar disponível para absorção pelas plantas (REIS; BARROS, 1990). O N pode ser absorvido pelas plantas tanto na forma de  $N-NO_3^-$  como na forma de  $N-NH_4^+$ . O íon  $NH_4^+$  é relativamente móvel, pois sofre atração pelas cargas negativas do solo. O  $NO_3^-$  por ser um ânion móvel, encontra-se na solução do solo, por esta razão, é a forma mais disponível para as plantas. Para que haja boa produtividade, os solos devem conter tanto  $N-NH_4^+$  como  $N-NO_3^-$  sendo o  $N-NH_4^+$  com maior concentração (GONÇALVES et al., 2001). O  $N-NH_4^+$  no solo pode ser oxidado a  $N-NO_3^-$ , por meio da nitrificação; assim, o  $N-NO_3^-$ , por ser subproduto de  $N-NH_4^+$ , encontra-se em menores concentrações. No presente estudo, as quantidades de  $N-NO_3^-$  em todos os locais estudados, foi próximo aos valores encontrados em estudos com vegetação de florestas nativas e plantadas no Estado de São Paulo (GONÇALVES et al., 2001), levando à uma maior demanda de N por micro-organismos e plantas do solo ou baixa transformação de N na forma de  $N-NO_3^-$ . Em outros ecossistemas tropicais, tais como Guadeloupe (França) (SIERRA; MARBÁN, 2000) e a Amazônia (LUIZÃO et al, 2004), os solos apresentaram altas taxas de amonificação e baixa nitrificação corroborando com os resultados observados no presente estudo. A quantidade de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$ , na profundidade de 0 - 20 cm (Tabela 3.11), aumentou com o aumento do estágio de sucessão florestal, e chegaram a ser quase duas vezes maiores na floresta natural do PESM-Cn (floresta mais antiga), quando comparado a URCP (floresta em fase de recuperação) que é uma área composta por um plantio misto de espécies arbóreas nativas. Estes resultados indicam que o conteúdo de nitrogênio aumenta ao longo da sucessão florestal, como evidenciado nos trabalhos de Vitousek et al. (1989) e Davidson et al. (2007).

No sítio do PEFI, os baixos teores de K, Ca e Mg, indicam uma capacidade adaptativa da vegetação nativa à solos mais empobrecidos, com baixo conteúdo de nutrientes, especialmente de bases trocáveis, característica de solos arenosos, como os encontrados nessa região (FERREIRA et al., 2006).

As formas e a dinâmica do P no solo podem ser afetadas pela mudança no uso da terra, a qual modifica a cobertura florestal, a produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes no ecossistema (SOLOMAM et al., 2002). Na maioria dos solos tropicais ácidos, o P geralmente é considerado como limitante (EWEL, 1986), por ser o elemento de menor concentração entre todos os macronutrientes do solo e também por apresentar baixa mobilidade (COSTA et al.; 2009), tornando-se, assim, o elemento que restringe o crescimento de plantas (VITOUSEK, 1980; HINSINGER, 2001). Além desses aspectos, o P geralmente não é lixiviado através do perfil do solo, podendo ser acumulado na superfície do solo e, em geral, sendo adsorvido nos dióxidos de Fe e Al presentes no solo (FASSBENDER et al., 1988). Neste estudo, os teores de P observados no PESM-Cn foram maiores do que os dos outros dois sítios (Tabela 3.11), indicando que deve ocorrer um “equilíbrio” em florestas em estágio mais avançado de sucessão. Os teores de P encontrados neste estudo, no intervalo [9,75 - 19,41] mg dm<sup>3</sup>, são maiores do que os encontrados por Benites et al. (2010) de 4,2 mg dm<sup>3</sup> em um fragmento de floresta de Mata Atlântica, região serrana do Estado do Rio de Janeiro, em estágio mais avançado de sucessão (≈ 150 anos) do que o PESM-Cn (≈ 60 anos). A redução de P em florestas maduras, em fase final de sucessão, como as florestas do estudo de Benites et al. (2010), ocorre devido ao P ser o nutriente mais limitante nas etapas finais da sucessão, pois, durante a sucessão há uma mudança no balanço dos nutrientes no ecossistema; à medida que a vegetação vai se desenvolvendo, a economia de N é transferida para a economia de P nas fases finais da sucessão, sendo uma característica típica de floresta tropical madura (BIZUTI, 2011).

### **4.3 Raízes finas – biomassa, produção, renovação e decomposição de raízes finas**

Estudos de biomassa de raízes finas contribuem para a compreensão do sistema radicular, de sua estrutura e funções no nível de ecossistemas (HAO et al., 2006). A compreensão das relações entre recursos disponíveis no solo e os processos de produção e decomposição de raízes finas são essenciais para o entendimento de questões fundamentais da ecologia terrestre (WEST et al., 2004). As raízes finas contribuem de forma marcante nas adições de matéria orgânica ao solo por meio do processo de renovação, além disso, possui função reguladora dos ciclos de carbono e nitrogênio permitindo, desse modo, a manutenção da fertilidade do solo (SCHROTH et al., 1994; WEST et al., 2004).

#### **4.3.1 Carbono estocado na biomassa de raízes**

Os resultados de biomassa de raízes finas deste estudo (Tabela 3.14) estão dentro do intervalo de valores encontrados por outros estudos (SILVER et al., 2000; MENEZES et al., 2010) que apresentaram maiores valores de biomassa em solos oligotróficos, no intervalo [0,05 - 0,4] Mg ha<sup>-1</sup> como observado por Silver et al.,(2000) na Floresta Nacional do Tapajós. Solos oligotróficos (pobres em nutrientes) normalmente possuem importantes mecanismos de ciclagem e conservação de nutrientes, levando, florestas tropicais com densa vegetação, como a Amazônia e a Mata Atlântica, manterem-se sobre solos de baixa fertilidade (JORDAN; HERRERA, 1981).

Dos resultados da análise de correlação entre a biomassa de raízes e demais variáveis físico-químicas do solo (Tabela 3.15), observa-se a relação entre pH do solo e a quantidade de biomassa de raízes no sítio do PEFI, indicando que neste sítio, provavelmente, as raízes se desenvolvem sob um sistema que sofre com a acidificação originada da deposição atmosférica (levando à uma redução na biomassa de raízes) e/ou pela fertilização de N em longo prazo (LEPPELAMMI-KUJANSUM, 2014). Quanto menor o pH do solo, maior sua acidificação e mais difícil se torna para as plantas absorverem os nutrientes do solo. Como o PEFI é hoje uma ilha de vegetação na cidade de São Paulo, a mata está sujeita a diversos fatores de perturbação antrópica, como a desconexão da paisagem e isolamento da área, danos causados pela circulação de

peças, incêndios florestais, poluição e alterações climáticas devida a processos de urbanização (BURGER, 2005).

Vários autores têm correlacionado a produção de biomassa de raízes finas com variáveis ambientais (GOWER et al., 1992; VOGT et al., 1998). Dentre essas variáveis, a quantidade da precipitação foi indicada como um dos fatores que mais influenciava sobre a biomassa em florestas tropicais (GREEN et al., 2005). Neste estudo, a biomassa de raízes finas apresentou uma variação temporal clara durante o período de observação (Tabela 3.14; Figura 3.3). Porém, observou-se correlação entre a biomassa e a precipitação na URCP (Tabela 3.15). Esse resultado indica que, para este sítio, em recuperação florestal, a produção de biomassa de raízes finas foi maior quando a precipitação foi menor. Observou-se também que nesse sítio a quantidade anual de precipitação foi menor que a média histórica (820 mm em 2014 e 557 mm em 2015) (Figura 3.1c). Uma possível explicação para essa correlação é que a redução do conteúdo de água tenha estimulado o crescimento das raízes. Assim, na medida em que o solo torna-se seco, algumas partes do sistema radicular morrem, enquanto outras partes crescem alguns metros e ramificam-se densamente (LARCHER, 2000), o que está de acordo com o conceito de equilíbrio funcional da alocação de biomassa (BROUWER, 1963; IWASA; ROUGHGARDEN, 1984). Este conceito afirma que a planta irá alocar mais biomassa para as raízes, se o fator limitante para o crescimento estiver abaixo da superfície do solo (isto é, água e nutrientes), ou alocará mais biomassa para a parte aérea, se o fator limitante estiver acima da superfície do solo (isto é, luz e CO<sub>2</sub>). No entanto, em outras florestas tropicais, tais como Serrania de Macuira (Colômbia), Cerro Santa Ana e Cerro Copey (Venezuela) e La Selva (Costa Rica), os estudos indicaram uma correlação positiva, como a deste estudo (CAVELIER, 1989; SANFORD, 1989). Porém, em florestas neotropicais, tais como Floresta Nacional do Tapajós (PA), Ilha Barro Colorado (Panamá), Estação Biológica de Cashu, no Parque Nacional Manu (Peru), e no campo do Km 41 do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentação Florestal (Brasil), a correlação foi negativa (SILVER et al., 2000; POWER et al., 2005; ESPELETA; CLARCK, 2007).

No PEFI, a biomassa de raízes finas aumentou apenas com as chuvas das coletas de novembro de 2015 e janeiro de 2016 (Tabela 3.14 e Figuras 3.1 e 3.4). Além disso, houve um aumento na biomassa de raízes finas durante as coletas de outubro de 2014 e abril de 2015, que coincidiu com a menor precipitação (<100 mm) (Figura 3.1 e 3.4). Isso indica novamente que as raízes finas investem em mais biomassa quando há menos recursos disponíveis abaixo da superfície do solo (*e.g.*, água) (MARKESTEIJN; POORTER, 2009). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Jourdan et al. (2008), nas plantações brasileiras de eucalipto, e por Sousa-Neto et al.(2011), ao longo de um transecto altitudinal de Mata Atlântica, que encontraram maior biomassa de raízes na profundidade de 0-10cm do solo, durante a estação seca.

O clima é um fator que influencia diretamente sobre a produção de biomassa de raízes finas, uma vez que a absorção de água determina o regime fenológico (foliar e radicular) e a taxa de respiração (GOWER, 2003). De acordo com Markesteijn e Poorter (2009), o estoque de carbono em ecossistemas terrestres é estabelecido a partir das relações hídricas tais como a precipitação anual, duração do período seco e a intensidade do déficit hídrico (BONGERS et al., 1999).

#### **4.3.2 Produção e renovação**

Os resultados indicam que houve um declínio acentuado da produção de raízes finas nos sítios do PEFI e do PESM-Cn (Figura 3.3), observado em janeiro de 2015 (três meses após a primeira coleta), indicando que em florestas secundárias (de estágio avançado de sucessão), a energia disponível no dossel não é suficiente para atender à demanda de crescimento das raízes finas; assim, sua produção fica comprometida. Por outro lado, a vegetação da URCP é aberta, tal como ocorre nos estágios iniciais das capoeiras, sendo uma floresta secundária em estágio inicial; desta forma, tem energia disponível, por não apresentar um dossel desenvolvido, favorecendo o crescimento de raízes finas, uma vez que não foi observada uma redução em sua produção.

De acordo com Jimenez et al.(2009), o padrão de precipitação poderá influenciar na produção de raízes finas nos diferentes ecossistemas florestais. Porém, percebe-se que dentre os fatores climáticos observados neste estudo, apenas a precipitação (na URCP)

correlacionou-se com a produção de biomassa de raízes finas (Tabela 3.15). Como mencionado anteriormente é possível que condições de maior ou menor precipitação tenham potencial para estimular ou controlar o crescimento das raízes em resposta ao meio. Este padrão poderia explicar as diferenças observadas na produção de biomassa de raízes entre os sítios durante o período seco de 2015. O El Niño-Oscilações Sul (ENOS) afetou a estação seca de 2014 e 2015, com um período seco mais longo em 2014 do que em 2015, para os sítios do PEFI, PESM-Cn e a URCP (MARENGO et al., 2015). Durante o período seco de 2015, a produção de raízes finas apresentou os menores valores nos sítios do PEFI e PESM-Cn (Tabela 3.12; Figura 3.3) em consequência dos baixos acumulados pluviométricos sobre a maior parte do estado de São Paulo, o que afetou significativamente a disponibilidade hídrica destas regiões de estudo (Figuras 3.1a, 3.1b e 3.1c).

Segundo Norby e Jackson (2000) e Gill e Jackson (2000) a taxa de renovação de raízes finas é definida como a proporção de raízes finas renovadas por ano, sendo um componente importante para o sequestro de carbono em ecossistemas florestais, além de ser uma fonte de produtividade primária importante. De acordo com esses autores, a renovação das raízes finas nos ecossistemas florestais varia entre 0,02 a 2,64 anos<sup>-1</sup>, com média de 0,56 ano<sup>-1</sup>. Neste estudo, as taxas de renovação de raízes finas estão no intervalo [0,48 – 0,50] ano<sup>-1</sup> dentro dos valores reportados para outras florestas tropicais, de 0,44 (PRIESS et al., 1999), 0,45 (TRUMBORE et al., 2006) e 0,53 (JIMÉNEZ et al., 2009) respectivamente. Além disso, as raízes finas demandam uma alocação importante de energia da planta para seu desenvolvimento, sendo tecidos estratégicos à dinâmica de carbono na planta e no ecossistema (HENDRICKS et al., 1993; YAVITT; WRIGHT, 2001). A taxa de renovação das raízes finas contribui para os reservatórios de matéria orgânica do solo, sendo um importante modulador de alguns processos do ciclo do carbono do solo (GILL; JACKSON, 2000).

#### **4.3.3 Decomposição**

Quanto ao processo de decomposição ocorrido nos três sítios de estudo, representado na Figura 3.2, fica evidente que existe um padrão de decomposição caracterizado por três

fases, que são: a) rápida; b) lenta e; c) rápida, novamente. Na primeira, observa-se uma rápida perda de massa que ocorre devido à intensa utilização dos recursos e de energia pelos micro-organismos e pela liberação dos materiais solúveis e dos carboidratos não estruturados das raízes finas (BLOOMFIELD et al., 1993). Nesta fase, o material se encontra mais tolerável aos agentes decompositores, e corresponde à degradação de constituintes menos resistentes (SWIFT et al., 1979). Na segunda fase, observa-se redução significativa na decomposição, provavelmente porque o material restante contém altas quantidades de frações recalcitrantes, tais como lignina e polifenóis no tecido lenhoso da raiz (ALEXANDER, 1977). Nesta fase, as raízes finas decompõem-se mais lentamente do que outros tecidos vegetais de tamanho similar, devido à elevada concentração de suberina, um constituinte estrutural semelhante à lignina, encontrado exclusivamente nas raízes, e que não se decompõem facilmente (ABER; MELLILO, 1991). Na terceira, fase a decomposição voltou a ser rápida, podendo ser influenciada por fatores ambientais, tais como umidade e temperatura, visto que este período coincidiu com o segundo período chuvoso. A estação chuvosa e temperaturas altas proporcionam condições favoráveis à intensa atividade de organismos decompositores (BACKES et al., 1998). Assim, variações sazonais podem determinar mudanças na taxa de decomposição (GONÇALVES et al., 2011). Além disso, a temperatura e a umidade, que são os principais fatores reguladores ambientais, podem afetar diretamente os processos de decomposição (SWIFT et al., 1979; COUTEAUX et al., 1995).

No modelo de decomposição proposto por Silver e Miya (2001), a característica química do tecido vegetal é considerada como fator mais importante para a decomposição das raízes finas, enquanto que os fatores ambientais têm papel secundário, diferente do que é estabelecido nos modelos de decomposição de serrapilheira. Assim, considerando essa hipótese, os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a umidade no sítio do PEFI é um fator secundário, uma vez que se correlacionou com a perda de massa (Tabela 3.15). É provável que esta redução no conteúdo de água tenha acelerado o processo de decomposição devido ao aumento da oxigenação e a atividade de respiração das raízes e organismos do solo (BURGES et al., 1995).



Segundo Moreira e Siqueira (2006), a velocidade de decomposição dos materiais orgânicos é controlada pelas razões de carbono/nitrogênio (C/N), carbono/fósforo (C/P) e carbono/enxofre (C/S). Essas razões têm uma relação inversamente proporcional às taxas de decomposição do material, isto porque os micro-organismos que degradam a matéria orgânica necessitam de nitrogênio, fósforo e enxofre para suas atividades metabólicas, principalmente para constituir suas estruturas orgânicas; logo, a deficiência destes elementos pode causar redução nas taxas de decomposição. Quando as relações C/N, C/P e C/S estiverem nas faixas de 20-30, 200-300 e 200-400, respectivamente, a imobilização e a mineralização ocorrem com a mesma intensidade. Valores destas razões acima das faixas indicadas ocorrem imobilização e abaixo ocorre a mineralização da matéria orgânica. Neste estudo, e para os três sítios considerados, os valores dessas razões (Figura 3.4) estão abaixo dos valores acima citados. Assim, pode-se afirmar que está ocorrendo mineralização, ou seja, o N, o P e o S estão sendo disponibilizados para o solo.

A taxa de decomposição ( $k$ ) das raízes finas é considerada alta quando os valores de  $k$  são acima de 1 (OLSON, 1963). Neste estudo, valores baixos de  $k$  (Tabela 3.13) foram encontrados para os três sítios, indicando uma baixa velocidade de decomposição e uma demanda maior de tempo para que os nutrientes sejam disponibilizados para o solo e, assim, possam novamente ser absorvidos pelas plantas (PAGANO, 1989). Os menores  $k$  encontrados nos três sítios florestais, no segundo período chuvoso em 2016, indicam menor qualidade e maior resistência das raízes finas à decomposição. Contudo, valores de  $k$  maiores do que a unidade (1) foram observados durante o primeiro período chuvoso em 2015, indicando menor recalcitrância à atividade dos organismos decompositores. Os valores obtidos para os coeficientes  $k$  são próximos aos observados para outras formações florestais brasileiras (CUNHA NETO et al., 2013; PEREIRA et al., 2013). Cunha Neto et al. (2013), em florestas secundárias e plantios homogêneos de *Acacia mangium*, *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus urogrands*, encontraram valores de  $k$  entre 0,0013 e 0,0034  $\text{g.g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ . Pereira et al. (2013), em florestas Atlântica secundária, observaram valores de  $k$  de 0,0037  $\text{g.g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ . As baixas taxas de decomposição observadas nos três sítios permitiram o acúmulo de raízes finas no solo. O processo de

decomposição de matéria orgânica do solo (MOS) disponibiliza nutrientes para o solo. Os nutrientes e elementos mineralizados pela decomposição da MOS podem ser lixiviados do sistema e/ou incorporados ao húmus (adsorção) ou à biota do solo. A incorporação desses elementos ao húmus e à biota é conhecida como imobilização de nutrientes. Desta forma, é provável que a baixa decomposição de raízes favoreça, possivelmente, a imobilização de nutrientes e pode ser uma das razões para a baixa fertilidade dos solos estudados. No entanto, a presença de raízes também tem implicações ecológicas positivas na recuperação de áreas degradadas, como as da URCP, uma vez que protege o solo contra erosão, melhorando as condições físicas e de fertilidade do mesmo, aumentando o teor de matéria orgânica e nutriente (BALIERO et al., 2004).

A baixa decomposição na URCP também pode estar relacionada ao estágio de sucessão florestal. Este sítio tem apenas quatro anos e é relativamente aberto, o que permite a incidência de luz solar direta em meio à vegetação. A alta radiação pode causar um decréscimo da umidade do solo, influenciando, conseqüentemente, o processo de decomposição. A baixa decomposição das raízes finas durante o período seco deve-se, provavelmente, às condições climáticas associadas à menor precipitação durante este período (Figuras 3.1a, 3.1b e 3.1c) (THOMAS; ASAKAWA, 1993). O tempo estimado para que ocorra decomposição de 50% das raízes finas confirma a informação de que a decomposição radicular em áreas de florestas secundária, em estágio tanto inicial como avançado de sucessão sob solos ácidos, antropizados e com alta densidade e compactação, é um processo lento, levando mais de um ano para perder 50% do peso seco inicial. Valores de  $t_{0,5}$  semelhantes ao sítio florestal da URCP foram observados por Schlitter et al. (1993) (352 dias) em floresta Estacional Semidecidual. Nos três sítios de estudo, as diferentes taxas de decomposição estariam contribuindo na liberação dos nutrientes contidos nas raízes em momentos diferentes, o que supriria melhor a demanda de nutrientes das plantas dos sistemas. O processo de decomposição de raízes finas é um dos fatores limitantes no estabelecimento e desenvolvimento de ecossistemas florestais e representa um processo importante na manutenção da fertilidade do solo,

devido a decomposição rápida e regeneração de raízes finas (LAVELLE et al., 1993; HENDRICK; PREGITZER, 1993).

#### **4.3.4 Dinâmica de raízes**

Como discutido nos itens anteriores, a dinâmica (produção de biomassa e decomposição) de raízes finas é importante para o equilíbrio dos ecossistemas florestais. Tal processo tem sido adotado como indicador da integridade ecológica de ecossistemas florestais (MARTINS; RODRIGUES, 1999), por sua estreita relação com a dinâmica sucessional da vegetação (PINTO et al., 2009). Neste estudo, as diferenças na idade da vegetação entre as áreas de estudo e o tempo de amostragem afetaram significativamente a caracterização da produção de biomassa das raízes finas e a perda de massa pela decomposição das raízes finas, como mostrado nas Tabelas 3.13 e 3.14. Estes resultados corroboram o postulado por alguns estudos, ao indicarem que sítios com diferentes idades e estádios de sucessão florestal apresentaram dinâmicas sazonais que diferem na biomassa e na decomposição de raízes finas em cada ambiente (CAIRNS et al., 1997; MENEZES et al., 2010). Esperava-se que as florestas secundárias, em estádios mais avançados de sucessão, como aquelas do PEFI e PESM-Cn, apresentassem biomassa de raiz e taxas de decomposição mais altas, quando comparadas com o sítio da URCP, pois, em ecossistemas florestais, quando atingem o estágio avançado ou clímax, podem acumular cerca de 200 a 400 toneladas de matéria seca por hectare proveniente da biomassa e da ciclagem (SANCHEZ, 1976). No entanto, o sítio em estágio inicial de sucessão (URCP) apresentou maiores valores de produção de biomassa de raízes finas, quando comparados aos outros dois sítios (Tabela 3.14). Existe um padrão válido que considera a terra como “produtiva” quando o solo é de textura argilosa (WANG et al., 2005; SANTOS et al., 2008). No entanto, os resultados deste estudo contrariam este padrão, uma vez que a maior produção de biomassa de raízes finas foi observada em solos com alto teor de areia (Tabelas 3.10 e 3.14).

Uma relação significativa entre a biomassa de raízes finas e os padrões de distribuição anual de chuvas foi relatada para uma série de ecossistemas florestais (YAVITT, 2001;

GREEN et al., 2005). Neste estudo, o valor observado mais elevado para a biomassa de raízes finas (Figura 3.3), pode estar associado ao aumento da umidade do solo acompanhado da disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, a redução de massa de raízes finas entre abril e julho de 2015, nos três sítios, principalmente no PEFI (período seco), pode ser atribuída à queda na umidade do solo (menor precipitação total para o período) e na disponibilidade de nutrientes (NOMURA; KIKUZAWA, 2003). A biomassa de raízes correlacionou-se positivamente com o teor de argila nos solos da URCP, indicando que, provavelmente a capacidade de retenção de água pelas argilas do solo tenha contribuído para o aumento da biomassa e para o aumento do processo de decomposição (Tabela 3.15). O conteúdo de silte e areia também correlacionaram-se com a biomassa. Estes dois elementos possuem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, por serem arenosos, estes solos são caracterizados como inférteis (BRADY, 1989; REBELO, 1994) e são suscetíveis a erosão. A correlação entre a perda de massa e a argila no PEFI e na URCP indica que, provavelmente, a argila esteja funcionando como uma barreira física entre a MO e os organismos decompositores. Esta barreira ocasionada pela argila pode limitar a atividade dos micro-organismos, através da adsorção de enzimas ativas, importantes na decomposição. Além disso, as argilas de alta atividade podem inibir o processo de decomposição (LAVELLE et al., 1993). Por outro lado, no PESM-Cn houve correlação entre a areia e a perda de massa, que também apresentou menor capacidade de retenção de água do solo, conseqüentemente menor decomposição. No geral, os padrões temporais de biomassa e produção de raízes finas podem ser atribuídos a mudanças na precipitação, alterações de pH, textura e nutrientes do solo (PREGITZER et al., 2000).

#### **4.4 Fatores que influenciam o crescimento de raízes finas**

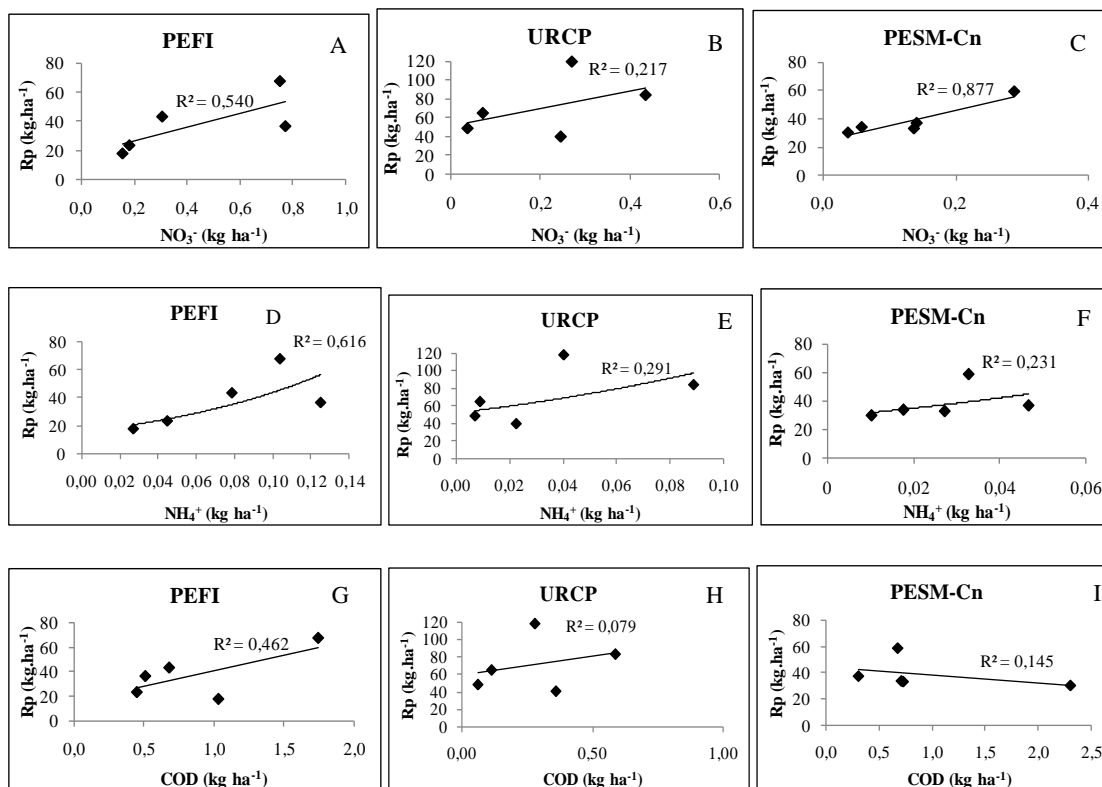
As raízes finas desenvolvem-se sob fatores inerentes ao solo, como fertilidade, densidade, disponibilidade de água, oxigênio, textura, temperatura e, também pelas circunstâncias em que a espécie se desenvolve, por exemplo, competição e espaçamento entre árvores (GONÇALVES; MELLO, 2000). Fatores como a relação BRF:BA (fonte/dreno) de carboidratos, distribuição de carbono entre as partes aérea e radicular e o ambiente da rizosfera afetam o crescimento das raízes e a sua senescência, como

também o crescimento da parte aérea e a sua capacidade de fixação de carbono. O funcionamento de raízes é intenso quando a eficiência de absorção de água ou nutrientes por unidade de carbono é maximizada (EISSENSTAT e VAN REES, 1994). O fornecimento de assimilado, necessário para a manutenção das raízes e para o seu crescimento futuro, é diretamente afetado, dentre outros, pela água, nutrientes e relação BRF:BA (VOGT e BLOOMFIELD, 1991).

#### **4.4.1 Entradas de nutrientes via água de chuva**

Para verificar se a entrada de nutrientes pela água de chuva é um dos fatores que controlam a produção de biomassa de raízes, estimou-se a relação entre as entradas de nutrientes pela água de chuva e a produção de raízes finas em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Os dados de deposição atmosférica e precipitação acumulada foram relacionados e avaliados para os mesmos períodos de coletas e medições de produtividade de raízes finas e são apresentados nas Figuras 4.1.

Figura 4.1: Produção de biomassa de raízes finas (Rp) em função da disponibilidade de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e carbono orgânico dissolvido (COD), em  $\text{kg ha}^{-1}$ , nos três sítios de estudo, PEFI (A, D e G), URCP (B, E e H) e PESM-Cn (C, F e I), respectivamente.



Fonte: Elaboração da autora.

Em geral, observa-se que, das espécies consideradas para a deposição de espécies químicas através da chuva (apresentadas na Tabela 4.1), apenas o nitrato, o amônio e o COD exercem influência significativa na produção de biomassa de raízes finas, sendo que o nitrato tem influência na produção de biomassa de raízes tanto no PEFI (Figura 4.1a) como no PESM-Cn (Figura 4.1c). O amônio e o COD influenciam na produção de raízes apenas no PEFI (Figuras 4.1d e 4.1g), indicando que nessa região a produção de raízes sofre influência da deposição atmosférica, provavelmente porque nesse sítio a deposição via água de chuva é alta em relação aos outros sítios.

De forma geral foram observadas relações negativas, ou fracas, entre a disponibilidade da maioria dos nutrientes presentes na água de chuva e a produtividade de raízes. Por

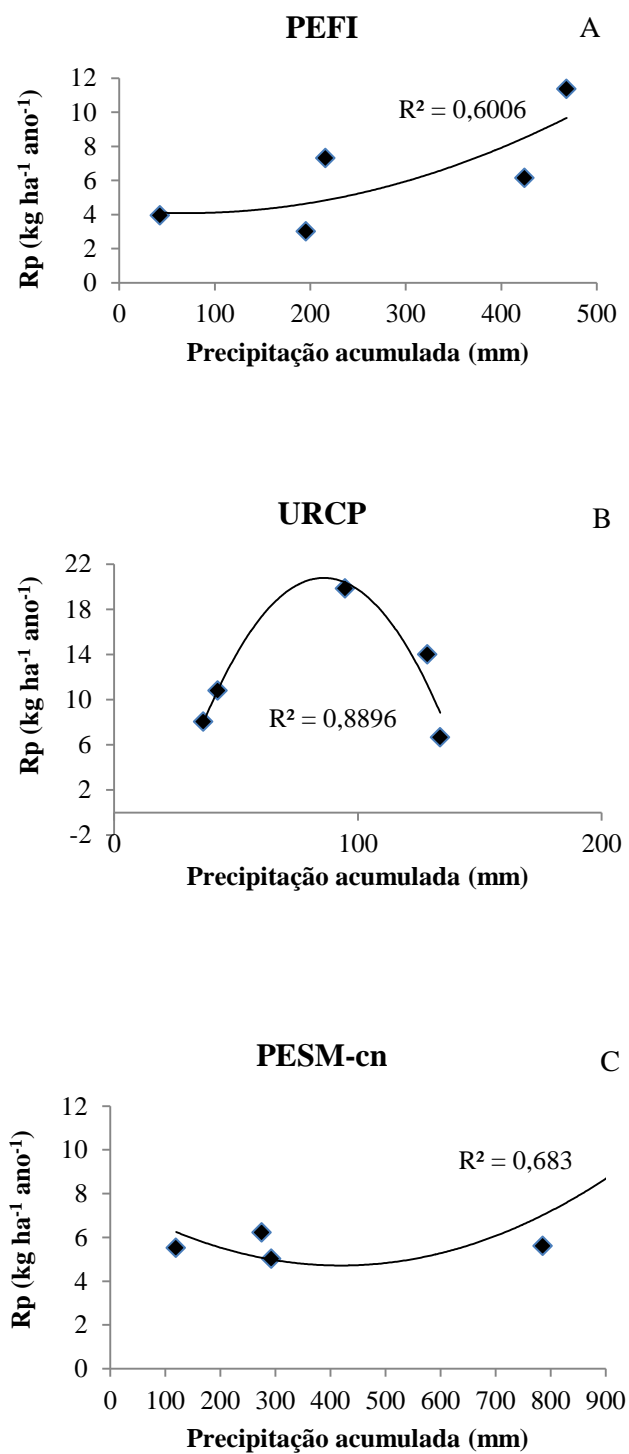
essa razão foram apresentadas aqui somente as relações positivas (Figura 4.1). As espécies químicas  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$  presentes na água de chuva, apresentaram fracas correlações com a produtividade de raízes.

Não foram encontradas fortes correlações entre a biomassa de raízes finas e a maioria dos nutrientes aqui considerados, nas áreas estudadas, indicando assim, que a disponibilidade de nutrientes parece não ter influência direta sobre a biomassa de raízes finas, exceto para o  $\text{NH}_4^+$  ( $R^2=0,61$ ),  $\text{NO}_3^-$  ( $R^2=0,54$ ) e COD ( $R^2=0,46$ ) no PEFI e o  $\text{NO}_3^-$  ( $R^2=0,87$ ) no PESM-Cn.

#### **4.4.2 Produtividade de raízes e disponibilidade de água**

Na figura 4.2 apresentam-se as correlações entre a precipitação ocorrida durante o período de crescimento e a produtividade de raízes finas ao longo dos 15 meses de estudo. Os valores da produtividade de raízes finas por unidade de tempo ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$  ou  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) foram determinados como o equivalente à biomassa medida em cada período de coleta. Esses resultados indicam que valores muito baixos de precipitação influenciam de forma negativa na produção de raízes, e que a biomassa aumenta na medida em que o volume de chuva no período também aumenta. Entretanto, a relação entre a biomassa e a quantidade de chuvas não é linear, e o aumento no volume de precipitação ao longo do período ( $>400 \text{ mm}$ ) tende a aumentar a produção de raízes nos sítios do PEFI e PESM-Cn. Por outro lado, verificou-se que na URCP, o aumento na quantidade de chuva no período ( $>80 \text{ mm}$ ) produziu uma redução na produção de raízes. Este comportamento na URCP pode ser explicado pela característica de compactação do solo e baixa cobertura florestal. Em solos rasos e compactados como o da URCP, há um retardamento no processo de crescimento de raízes. Solos tropicais permanentemente aquecidos são pobres em oxigênio devido à intensa atividade respiratória. Em solos compactados e pouco protegidos, devido a pouca cobertura, o aumento da precipitação pode levar ao selamento dos poros, pois a água das chuvas não encontra espaço livre para infiltrar-se diretamente, a aeração diminui e a pressão parcial do oxigênio cai enormemente, a ponto do desenvolvimento da planta ser afetado ou correr sério risco de morte (LARCHER, 2000).

Figura 4.2: Correlação entre a precipitação acumulada trimestral em 15 meses de estudo e a produtividade de raízes finas contidas em 20 cm de profundidade nos três sítios de estudo: (A) PEFI, (B) URCP e (C) PESM-Cn.



Fonte: Elaboração da autora.



Diante do exposto, os resultados deste estudo mostram que, embora as variáveis ambientais medidas (umidade, temperatura do ar e do solo e precipitação) não tenham conseguido explicar a maioria da variação espacial e temporal na dinâmica de raízes finas nos sítios de estudo, a produção de raízes finas, a renovação e a decomposição destacaram-se como importantes fluxos de nutrientes em ecossistemas florestais como a Mata Atlântica. Estes fluxos são sensíveis a textura do solo, apresentando variação sazonal com a precipitação, em escala anual e em diferentes estádios sucessionais da vegetação. Os fatores que se destacaram como controladores da produção de biomassa de raízes finas em cada sítio, por ordem de importância, foram: qualidade química do solo, sua textura, pH e altura pluviométrica. Da mesma forma, os fatores controladores da decomposição foram a textura do solo, a qualidade química e a umidade do solo. Nesta mesma linha, a biomassa de raízes, em florestas mais antigas, foi maior nos períodos de maior umidade e menor, em florestas jovens, no período seco, sugerindo que mudanças na altura pluviométrica pode afetar fortemente os sítios florestais. A variação no funcionamento do ecossistema Mata Atlântica e de seu solo, em pequena escala espacial e temporal, é importante, mas mostra que padrões de precipitação, umidade, textura e qualidade química do solo podem atuar de diferentes maneiras sobre a produção e decomposição de raízes finas. A compreensão de como o ecossistema Mata Atlântica pode responder a esses fatores é fundamental e deve ser considerado em estudos que envolvam eventos esperados pela mudança climática.

#### **4.5 Biomassa aérea**

A partir das Tabelas 3.26, verifica-se que o PESH-Cn apresentou as maiores proporções de biomassa aérea, com valores de 60,29 Mg ha<sup>-1</sup> e estoque de carbono de 30,14 Mg C ha<sup>-1</sup>. Tais resultados podem ser atribuídos ao maior número de indivíduos encontrados no sistema e nas classes superiores de diâmetro (Figura 3.5). O PEFI apresentou biomassa aérea total de 27,39 Mg ha<sup>-1</sup>, ao passo que a URCP exibiu 19,16 Mg ha<sup>-1</sup>. Esses valores podem estar relacionados à idade dos sítios florestais (STEININGER, 2000), uma vez que a URCP é uma área de reflorestamento que se encontra em estágio inicial de sucessão e os outros dois em estágio mais avançado. Já existem trabalhos em florestas naturais, inclusive em reflorestamentos de Mata Atlântica, que quantificaram o

acúmulo de biomassa. Entretanto, são poucos os estudos que empregaram a mesma equação utilizada neste estudo. A maioria dos estudos em florestas tropicais utiliza equações com mais de uma variável independente (DAP, altura, densidade da madeira e área basal). Por esse motivo, a comparação dos resultados deste estudo se limitou a poucas referências bibliográficas.

Em um estudo de recuperação florestal, de 14 anos de idade, realizado em área de Mata Atlântica no sul da Bahia, Cunha e Camargo (2013) estimaram valores de biomassa aérea e carbono de 32,12 Mg ha<sup>-1</sup> e 16,06 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores, estimados por Cunha e Camargo (2013), correspondem quase o dobro dos valores estimados no sítio em recuperação deste estudo, e demonstram a importância do replantio para conservação e recuperação da biodiversidade e fornecimento de outros serviços, além de estocagem do carbono.

Apesar da biomassa aérea, estimada nos três sítios deste estudo, ter sido menor do que os valores encontrados por Alves et al. (2010) em 14 parcelas permanente de Mata Atlântica, ela está dentro do intervalo obtido por Tiepolo et al. (2002). A equação de Tiepolo et al. (2002), gerou diferentes estimativas de biomassa nos sítios mais antigos pois, mostraram que pode haver elevadas diferenças nas estimativas de biomassa entre idades de florestas para um mesmo modelo alométrico. Essa equação resultou em uma biomassa média de 85,78 Mg ha<sup>-1</sup> (19,6-114; IC 95%) e 42,89 Mg C ha<sup>-1</sup> (9,8-57; IC 95%). O valor calculado para o PESH-Cn é o que mais se aproxima deste valor. Este sítio representa a floresta secundária média, mais preservada e de idade avançada deste estudo; logo, já se esperava maior quantidade de biomassa aérea e carbono em seu extrato florestal.

#### **4.5.1 Estrutura da vegetação**

O PEFI e a URCP apresentaram comportamentos arbóreos similares no primeiro centro de classe (até 10 cm), diminuindo gradativamente (Figura 3.5a e 3.5c). A menor classe de diâmetro (10cm) representada no histograma indica que a maioria das populações pode estar em fase inicial de estabelecimento. O PEFI apresentou uma maior concentração de indivíduos nos intervalos de 15 a 30 cm (Figura 3.5a). No entanto, este

indicativo não interferiu na distribuição de todos os indivíduos no levantamento (Figura 3.5d). No PESH (3.5b), este indicativo sugere que a comunidade encontra-se em equilíbrio, com uma importante produção de sementes, germinação satisfatória e com taxa de mortalidade decrescente nas idades mais avançadas (DAUBENMAIRE, 1968; SILVA JUNIOR e SILVA, 1988). Por outro lado, a URCP e o PEFI apresentaram um coeficiente de determinação inferior, 0,64 e 0,66 respectivamente, indicando variação percentual da variável dependente (número de indivíduos), que é explicada pelas variáveis independentes (centro de classes). No sítio da URCP a menor classe diamétrica apresenta a maior frequência de indivíduos, reafirmando que a maior parte da população arbórea está na fase inicial de estabelecimento (CARVALHO, 1982).

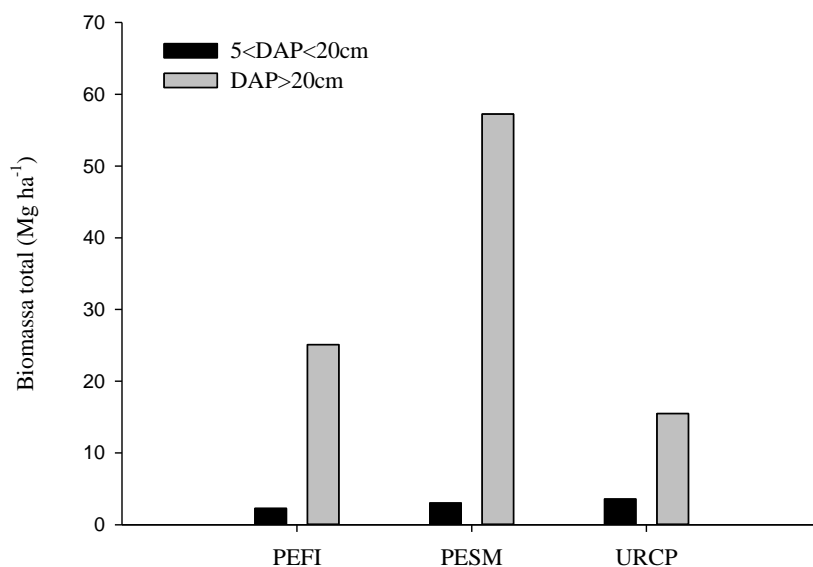
A perturbação mais evidente, observada no PEFI, é a morte de árvores em pé, ocasionando a abertura de clareiras e, por conta disso, as séries incompletas de classes de diâmetro na vegetação. Esses resultados indicam que esse processo de degradação pode ser ocasionado pela deposição de poluentes atmosféricos, como apontado em estudos anteriores (FORTI et al., 2005) e deposição de resíduos (lixo e esgoto doméstico), feita por moradores do entorno (CERATI et al., 2011), incêndios e desmatamentos (BURGER, 2005). Estes eventos aparecem como interrupções no histograma, indicando que o ciclo de vida das espécies não estaria se completando. Na URCP, também se observou classes incompletas de diâmetro da vegetação a partir de 30 cm o que pode ser atribuído ao fato de a parcela florestal ser uma área de recuperação florestal em estágio inicial de sucessão. Este é um comportamento esperado em florestas nativas (SCHAAF et al., 2006) e também observado em áreas reflorestadas (SILVA et al., 2010), como a da URCP. Tal ocorrência na estrutura diamétrica do compartimento florestal sugere apenas uma tendência de distribuição balanceada e isso se deve à capacidade de regeneração das espécies vegetais (SOUZA; SOUZA, 2005). Porém, há uma discrepância entre a primeira classe de diâmetro e as outras para o fragmento florestal do PEFI (Figura 3.5a), em decorrência do alto impacto sofrido por esta área, refletindo na má distribuição das classes diamétricas, ocasionado na maioria das vezes, pela morte das árvores. Isso demonstra que o processo regenerativo ainda se apresenta no início para este sistema. Nos três sítios de estudo, observou-se que há uma

grande quantidade de indivíduos nas classes de menor diâmetro. Isso pode indicar que o regime de perturbação nestas áreas é ou foi relativamente intenso e contínuo no sistema florestal (MACHADO et al., 2004).

#### 4.5.2 Influência da deposição atmosférica na comunidade arbórea

Para verificar se existe algum tensor ambiental que esteja restringindo o crescimento da vegetação e perturbando o equilíbrio do ecossistema local, a biomassa aérea total foi distribuída de acordo com as classes de DAP das árvores. Esta influência pode ser observada na Figura 3.5. Os valores de biomassa aérea das áreas perturbada (PEFI) e em recomposição (URCP) indicam uma menor concentração relativa da biomassa nas poucas árvores de maior diâmetro (> 20 cm) em relação ao sítio de referência (PESM-Cn) (Figura 4.3).

Figura 4.3: Distribuição da biomassa aérea total em função das classes de diâmetro a altura do peito (DAP), em três locais da Mata Atlântica, estudados em São Paulo.



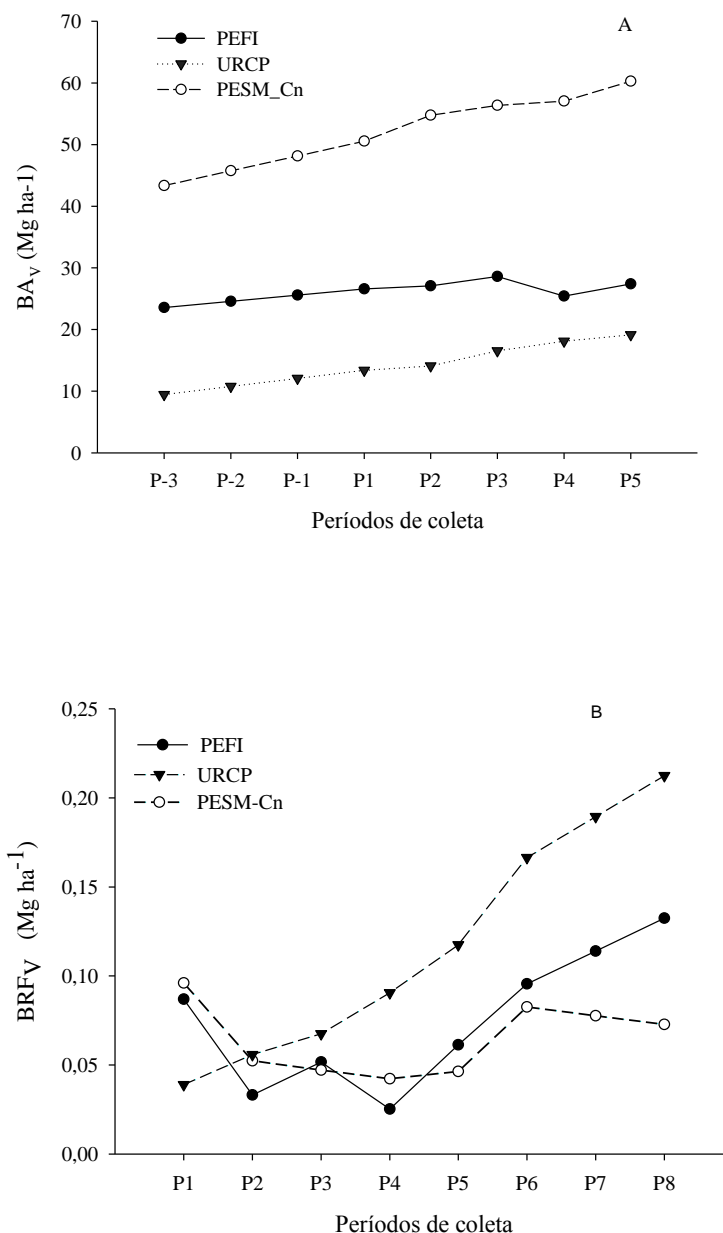
Fonte: Elaboração da autora.

Nota-se na Figura 4.3 que nas áreas perturbadas ou em fase de recuperação, seja pela deposição atmosférica (PEFI), ou devido principalmente à pecuária realizada por antigos proprietários e por incêndios ocorridos eventualmente na região da URCP, ocorre uma inversão na importância dos grandes indivíduos na contribuição para a biomassa total. Enquanto a biomassa aérea dos indivíduos de médio porte permanece praticamente inalterada nos três sítios de estudo, a dos indivíduos dominantes cai de forma acentuada. Este comportamento indica que o estrato dominante das florestas é o mais afetado pela deposição atmosférica nas áreas perturbadas e em fase de recuperação.

#### **4.5.3 Razão entre a biomassa de raízes finas e a biomassa aérea com base na massa verde ( $BRF_v:BA_v$ )**

Para avaliar a relação entre a produção de biomassa de raízes e a cobertura vegetal, foi necessário extrapolar os dados de raízes finas em mais dois períodos (P7 e P8), e os dados de biomassa aérea em três períodos anteriores ao início das coletas de raízes finas (P-3, P-2 e P-1). Para estender os períodos, os valores foram estimados com base na mediana de incremento de crescimento de biomassa (radicular e aérea) e adicionados ao valor do período de interesse. Os valores de medianas de incremento foram utilizados por ser uma estatística que descreve melhor o crescimento, uma vez que a média superestima o incremento da maioria das árvores e subestima o incremento das melhores árvores da floresta, aquelas árvores que possuem formato robusto, com ramos bem espaçados, tronco sem lesões ou feridas e sem bifurcações e com um sistema radicular de qualidade para auxiliar no crescimento rápido e saudável (GAUTO, 1997). Na Figura 4.4 é apresentada a evolução temporal da estimativa da biomassa aérea e das raízes finas para os sítios deste estudo em  $Mg\ ha^{-1}$ .

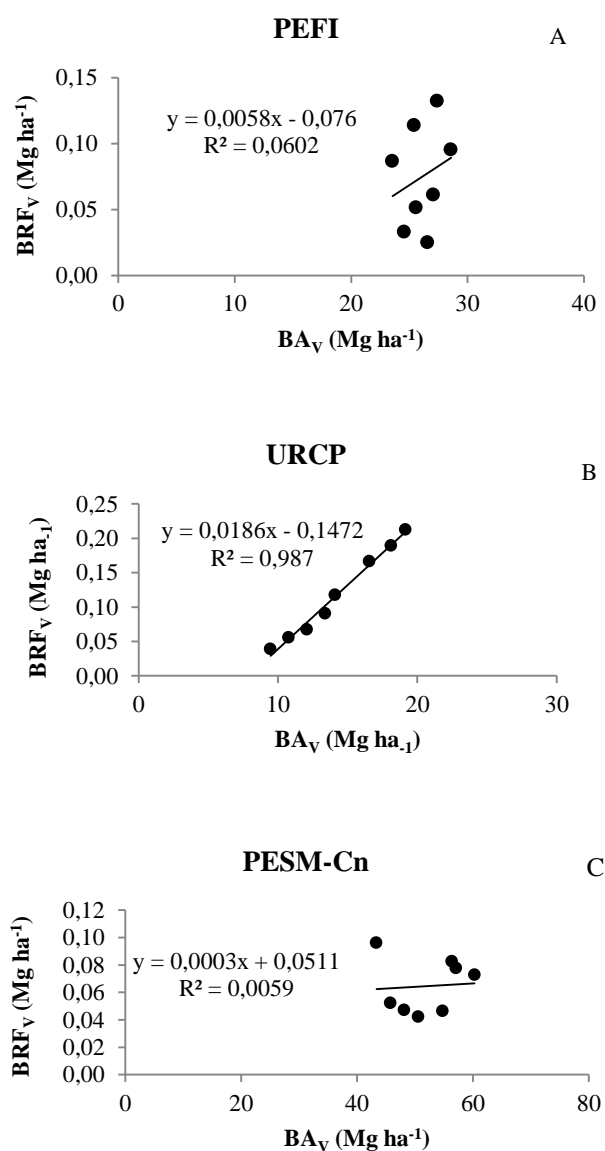
Figura 4.4: Estimativa da biomassa nos diferentes compartimentos e épocas de coleta nos sítios de estudo, com dados de biomassa aérea (A) extrapolados para três períodos anterior ao início das coletas de raízes (P-3, P-2 e P-1) e dados de biomassa de raízes finas (B) extrapolados para mais dois períodos de coleta (P7 e P8). Os valores são as médias de 6 repetições para raízes (n=6) e média de 63 indivíduos arbóreos para o PEFI (n=63), 75 para a URCP (n=75) e 78 para o PESM-Cn (n=78).



Fonte: Elaboração da autora.

Na Figura 4.5 são apresentadas as relações entre a biomassa aérea e a biomassa de raízes finas para os sítios florestais de diferentes idades sucessionais deste estudo.

Figura 4.5: Relação entre a biomassa de raízes finas (BRF) e a biomassa aérea (BA), em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , nos três sítios florestais de idades sucessionais diferentes e submetidos a diferentes níveis de deposição atmosférica: PEFI (antropizado), URCP (rural e em recuperação florestal) e PESM-Cn (área-controlada).



Fonte: Elaboração da autora.

A partir da Figura 4.5, verifica-se que a razão entre biomassa de raízes finas e biomassa aérea ( $BRF_V:BA_V$ ) indica que somente a URCP apresenta correlação linear, para os outros dois sítios não há correlação linear entre essas duas grandezas (Figuras 4.5a, b, c). O coeficiente de determinação mostrou-se satisfatório para distribuição do número total de indivíduos em relação às suas biomassas encontradas. A URCP apresentou o melhor ajuste entre as variáveis ( $R^2=0,98$ ). Os resultados indicam que as diferenças observadas na estrutura arbórea não refletem na biomassa de raízes finas, indicando ainda uma redução de biomassa de raízes finas em função de uma maior alocação acima do solo. A razão entre biomassa de raízes finas e biomassa aérea ( $BRF_V:BA_V$ ) diminuiu do sítio em recuperação, com cobertura vegetal em estágio inicial de sucessão, para o sítio preservado, com cobertura vegetal em estágio avançado de sucessão (Tabela 3.15).

A razão  $BRF:BA$  indicou valores menores em florestas em estádios sucessionais avançados. Isso significa que, com a maturidade sucessional, a alocação de carbono para a biomassa radicular diminuiu frente à maior produção de biomassa aérea. Este resultado também foi encontrado por Ferez (2010) em um estudo de quantificação de carbono nos compartimentos aéreo e radicular de plantios de restauração da Mata Atlântica.

De acordo com um estudo onde foi analisada a razão  $BRF:BA$  para diferentes ecossistemas em escala global, os resultados obtidos para florestas tropicais nativas ou plantadas foi 0,205 (MONKANY et al., 2006), sendo superior aos resultados obtidos neste estudo, que foram de 0,013 (PEFI), 0,006 (PESM-Cn) e 0,0280 (URCP), respectivamente. Fatores como clima, tipo de solo, profundidade do lençol freático e histórico de degradação por queimadas influenciam a composição e estrutura da vegetação; variações locais nestes fatores podem contribuir para diferenças na razão  $BRF:BA$  (ROITMAN, 2008).

A baixa relação  $BRF:BA$ , encontrada neste estudo, pode ser atribuída ao método empregado para estimar a biomassa radicular, apesar de ter atendido a necessidade deste estudo. O método do núcleo de crescimento, embora seja fiável e adequado para comparações entre diferentes ambientes, (HERTEL; LEUSCHNER, 2002; TATENO et



al., 2004), pode gerar baixas estimativas de biomassa e produção de raízes. Isso também ficou constatado em outros estudos, como o de Hendricks et al.,(2006) e Mei et al., (2010), que também relataram estimativas baixas de biomassa e produção de raízes gerados pelo método do núcleo de crescimento, quando comparado com métodos minirhizotron e núcleos sequenciais. As baixas estimativas no método do núcleo de crescimento podem ser devidas ao intervalo de crescimento de raiz, visto que, muitas vezes, leva-se algum tempo para que as raízes atinjam o solo dentro dos núcleos (HENDRICKS et al., 2006). Alguns autores estão de acordo que a biomassa radicular estimada a partir dos núcleos de crescimento são menores para o primeiro ano de pesquisa do que para os anos subsequentes (PERSSON, 1979; YIN et al., 1989; MESSIER; PUTTONEM, 1993). Neste estudo, os valores baixos para o primeiro ano, provavelmente refletem as taxas lentas de recolonização da raiz nos núcleos livres de raízes. Desta forma, é possível indicar que o método do núcleo de crescimento fornece uma estimativa da quantidade mínima de biomassa alocada para produção primária líquida das raízes finas (STEELE et al., 1997), e indica de forma qualitativa a taxa de recolonização dos núcleos.

Quanto ao modelo de simples entrada, com uma variável (DAP), utilizado neste estudo para medir a biomassa aérea, não se pode garantir que o modelo escolhido tenha influenciado nos baixos valores da razão BRF:BA. Para elucidar esta questão, modelos com mais de uma variável (como, densidade da madeira, altura, área basal, etc.) que apresentam estimativas mais precisas para medir biomassa aérea na Mata Atlântica devem ser preferidos e comparados com o modelo de simples entrada, utilizado neste estudo. Vale ressaltar que a equação de Tiepolo et al.(2002) foi escolhida como referência devido as características das florestas onde foi ajustada serem semelhantes aquelas encontradas neste estudo e por atender a necessidade desta pesquisa que foi monitorar a biomassa e carbono aéreo das árvores. Porém, isto não significa que os valores de biomassa obtidos por esta equação são necessariamente os mais corretos. Para verificar esta informação, a equação deveria ser comparada com valores da biomassa obtidos pelo método destrutivo, para saber se realmente a equação utilizada expressa os valores de biomassa mais próximo da realidade.

Em função da mitigação das mudanças climáticas, estudos que promovem maior conhecimento acerca da quantidade de biomassa e carbono estocados acima e abaixo do solo e em diferentes estágios sucessionais são de grande importância (DIXON et al., 1994; RIBEIRO et al., 2010). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) não considera as raízes finas, com diâmetro < 2mm, como parte da biomassa subterrânea devido a dificuldades empíricas de distinguí-las da matéria orgânica do solo. Porém, estas raízes possuem importante relevância no que se refere ao armazenamento de carbono. Autores como Jackson et al. (1997) e Godbold e Brunner (2007) também indicaram que a biomassa de raízes finas e sua renovação corresponde à fração importante da biomassa total dos ecossistemas. Assim, os novos relatórios do IPCC deveriam, em um futuro próximo, permitir a inclusão do compartimento “raiz fina” uma vez que se pretende fazer um monitoramento mais detalhado de estoques de carbono.

Ressalta-se também a importância do reflorestamento, como o realizado na URCP, para se garantir a proteção do solo, evitar a contaminação dos recursos hídricos, a retenção de eventuais poluentes, além de contribuir para conservação da fauna e da flora, contribuindo para a conectividade da paisagem e possibilitando o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas. Em geral, foi observado que o plantio de recuperação em estágio inicial de sucessão apresenta uma boa estrutura florestal e bom desenvolvimento. Recomenda-se que sejam previstas medidas de manejo e monitoramento destas áreas, a fim de minimizar eventuais processos de perturbação.

Na Tabela 4.2 apresentam-se os resultados de análise de solo para URCP, obtidos por Oliveira, R.R. (2007) (dados não publicados e cedidos para este estudo) da caracterização físico-química dos solos da área. A comparação entre esses resultados da URCP e os obtidos neste estudo indica que a introdução da cobertura vegetal de plantio misto com quatro anos, tem gradativamente contribuído para a proteção do solo, melhorando as condições físicas e de fertilidade do mesmo, bem como, aumentando o teor de MO e nutrientes. Percebe-se, pela Figura 4.6, o desenvolvimento da vegetação

no início (a) e final do período seco de 2014 (b), e após início das primeiras chuvas (c) e final do período chuvoso de 2015 (d).

Tabela 4.2: Médias das variáveis físicas e químicas de solos florestais determinados na URCP no período deste estudo (2014-2016) e, em 2007 (OLIVEIRA, R.R.; dados não publicados).

Características	2014-2016	2007
	(este estudo)	(OLIVEIRA, 2007)
	URCP	URCP
<b>pH</b> (CaCl <sub>2</sub> )	3,71	4,00
<b>COS</b> (%)	20,1	10,4
<b>P</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	9,75	5,00
<b>K</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	1,72	1,40
<b>Ca</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	7,83	7,00
<b>H+Al</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	89,8	60,0
<b>S.B.</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	14,7	10,4
<b>C.T.C.</b> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	104	70,4
<b>V</b> (%)	15,0	15,0
<b>B</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,27	0,30
<b>Cu</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,46	0,20
<b>Fe</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	144	72,0
<b>Mn</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	12,5	5,50
<b>Zn</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	8,46	0,60

Fonte: Elaboração da autora.

A Figura 4.6 apresenta o desenvolvimento da vegetação ao longo do período deste estudo no sítio da URCP. Observa-se que o plantio com espécies nativas da Mata Atlântica tem apresentado boa evolução em seu desenvolvimento.

Figura 4.6: Desenvolvimento da vegetação no início (a) e final (b) do período seco de 2014 e início (c) e final (d) do período chuvoso de 2015.



Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados deste estudo permitem concluir que os sítios florestais estudados apresentaram diferenças nos estoques de biomassa e carbono presentes no sistema aéreo e radicular. Estas diferenças estão associadas principalmente à idade e ao estado de conservação de cada sítio. Ambientes com vegetação menos densa, e de idade inicial de sucessão, apresentaram maior razão entre biomassa de raiz fina e biomassa aérea, indicando que este plantio de recuperação apresentou importante variabilidade em seu estoque de carbono, devido ao desenvolvimento da vegetação.

As classes de diâmetro apresentaram séries incompletas para os sítios do PEFI e URCP, evidenciando perturbações sofridas por estes ambientes, o que compromete

desenvolvimento da biomassa vegetal, seja ela aérea ou radicular. A redução da biomassa do extrato arbóreo se manifesta diferenciadamente nos diversos compartimentos da vegetação. Os indivíduos dominantes (DAP>20cm) são os mais afetados por tensores ambientais, apresentando uma sensível redução da biomassa média, em relação aos de menor porte. Assim, um controle mais efetivo e monitoramento desses ecossistemas deverá permitir o crescimento normal dos indivíduos arbóreos, restabelecendo a riqueza e estrutura das florestas.

#### **4.6 Estoques de carbono e nutrientes nos compartimentos dos sítios estudados**

O estoque de carbono (encontrado na biomassa aérea) e dos nutrientes  $\text{SO}_4^{2-}$  e N total nos três sítios de Mata Atlântica, em diferentes estádios sucessionais deste estudo, são maiores na biomassa aérea e nas raízes de produção do que no solo (até 20 cm). Este padrão está de acordo com o descrito para os solos pobres com baixa capacidade de troca catiônica, como os Latossolos de florestas tropicais, como a Mata Atlântica, que são capazes de reter grandes quantidades de nutrientes. O padrão inverso é encontrado para o  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , P,  $\text{K}^+$ , Ca e  $\text{Mg}^{2+}$  nos três sítios deste estudo, com grandes estoques no solo em relação às raízes (Figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9). Isso se explica pelo fato de alguns destes estoques ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) estarem em formas disponíveis para as plantas, sendo que, na maioria das vezes, estes estoques encontram-se em formas indisponíveis.

O padrão de acúmulo de nutrientes na biomassa de raízes (principalmente Ca, Mg e K), em detrimento do solo, é descrito também para florestas tropicais que crescem sobre Latossolos pobres em nutrientes da Amazônia (MEDINA; CUEVAS, 1989). O padrão encontrado na Amazônia para o N total é uma proporção igual entre solo/vegetação e para P, 5 a 10 vezes mais no solo que na vegetação (MEDINA; CUEVAS, 1989), corroborando com os resultados encontrados neste estudo. De acordo com Jordan (1985), os estoques de nutrientes na biomassa e no solo, para várias florestas tropicais que crescem sobre solos pobres, Ca e K têm um padrão de acúmulo na biomassa e N tem maior estoque no solo. Neste estudo, este padrão foi inverso nos três sítios estudados, pois, Ca e K tiveram maiores acúmulos no solo, enquanto o solo acumulou N nas formas disponíveis para as plantas ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ). Quanto ao P, o padrão dependerá

do modo de descrição. Quando se considera o P total, o estoque no solo é maior que na biomassa, entretanto, quando se trata do P disponível no solo, o padrão se inverte (RESENDE, 2001). Jordan (1985) discute a possibilidade de acúmulo de nutrientes na biomassa serem devido a um mecanismo de retenção dos nutrientes neste sistema de solos pobres, mas, conclui que os maiores estoques na biomassa em relação ao solo, para Ca e Mg seriam causados simplesmente pela redução dos estoques do solo, por processos de lixiviação e intemperismo.

Quanto aos estoques de nutrientes encontrados na massa das raízes de decomposição, foi possível observar que estas raízes tem suas concentrações e estoques de Ca, Mg e K muito reduzidos quando se compara com os valores de N, P e S. Este padrão reflete a maior mobilidade destes elementos, como já discutido anteriormente, enquanto os valores de concentrações de N, P e S tendem a aumentar ao longo do processo de decomposição, mostrando padrões de retenção. Quando a quantidade de nutrientes é limitante, estes podem ser acumulados durante o processo de decomposição, já aqueles que estão disponíveis em quantidades acima das necessidades dos decompositores, seriam liberados das raízes mais rapidamente e logo no início do processo de decomposição (LASKOWSKI et al., 1995).

#### **4.7 Considerações finais**

A dinâmica de raízes finas constitui uma resposta comum à ciclagem de nutrientes nos compartimentos solo-planta-atmosfera, qualquer perturbação causada em um destes compartimentos pode desencadear uma série de alterações no ecossistema, podendo refletir no aumento ou na redução da biomassa, seja ela radicular ou aérea, podem ainda alterar a cobertura vegetal e interferir no processo sucessional da floresta.

Com base nos dados e trabalhos relatados nesse estudo, é possível determinar o grau relativo de contribuição ou interferência, do carbono e dos diversos nutrientes para a dinâmica de raízes finas dos três sítios estudados. Neste sentido, as Figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 sintetizam a contribuição de cada grupo de nutrientes para o sistema solo-planta no PEFI, URCP e no PESM-Cn.

Do ponto de vista do ecossistema e após ter analisado cada sítio de estudo, com características de vegetação em diferentes estádios de sucessão e expostos a diferentes níveis de deposição atmosférica, pode-se inferir que o aporte dos nutrientes para o sistema solo-planta apresentou efeitos antagônicos: de um lado, tanto as entradas de nutrientes trazidos pela chuva, como o aporte de nutrientes essenciais para os solos (dos três sítios de estudo) que são solos pobres em nitrogênio, fósforo e bases trocáveis, juntamente com os nutrientes liberados para as plantas no processo de decomposição de raízes e pela quantidade de chuva do período de estudo, representam um estímulo ao crescimento da vegetação e ao acúmulo de biomassa (radicular e aérea); por outro lado pode ter ocorrido desequilíbrios nutricionais como a acidificação promovida pelas espécies químicas de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , entre outros, no sítio do PEFI. Do ponto de vista da sucessão, as espécies autóctones presentes no PEFI e PESM-CN podem ter sido prejudicadas por estes desequilíbrios nutricionais, devidos a presença de árvores mortas em pé observadas durante o período desse estudo.





## 5 CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados deste estudo conclui-se que:

São muitos os fatores bióticos e abióticos que influenciaram na dinâmica de raízes. Alguns deles se destacaram como controladores da dinâmica de raízes finas em cada sítio estudado, dentre eles estão a qualidade química do solo, textura e pH do solo, umidade e precipitação pluviométrica.

A variação na produção de biomassa e decomposição de raízes é influenciada principalmente, pela quantidade de precipitação. A disponibilidade de nutrientes presentes na deposição atmosférica não apresentou influencia significativa na região de estudo, exceto no PESM-Cn onde ocorre alta deposição de  $\text{NO}_3^-$  e no PEFI onde ocorre deposição importante de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e COD.

Os sítios florestais estudados apresentaram diferenças nos estoques de biomassa e carbono presentes no sistema aéreo e radicular. Estas diferenças estão associadas principalmente a idade e estado de conservação de cada sítio. A variação nos estoques de biomassa e carbono sugerem uma expressiva variabilidade espacial sobre a Mata Atlântica, indicando que é importante considerar as diferenças regionais nos estoques de biomassa, para avaliar o papel desse bioma tropical no ciclo global do carbono.

Este é um estudo inédito de decomposição de raízes finas realizado em floresta tropical de Mata Atlântica, o mesmo forneceu, pela primeira vez, uma análise temporal e espacial de decomposição de raízes finas, sendo um dos principais mecanismos responsáveis pela transferência dos nutrientes da biomassa arbórea para o solo. A redução nos estoques de biomassa de raízes em áreas perturbadas como a área do PEFI e da URCP pode significar um empobrecimento nutricional do sistema solo-planta a ponto de comprometer a capacidade de resiliência do ecossistema.

Os estoques de nutrientes em cada compartimento (solo, raízes de produção, raízes de decomposição, biomassa aérea e deposição atmosférica) dos três sítios de estudo, permitiram indicar que a ciclagem e os estoques de nutrientes na biomassa, são menores

para área do PEFI quando comparado com a área de floresta do PESM-Cn. Para a floresta jovem da URCP os solos apesar de pobres, de modo geral, tem maiores estoques de Ca e Mg disponíveis, nutrientes importantes para solos de áreas em recuperação.

Finalmente, este estudo ressalta a necessidade de avaliar aspectos da produção de raízes em escala de paisagem e durante períodos mais extensos de tempo para que sejam produzidos dados mais robustos sobre dinâmica de raízes finas na Mata Atlântica. Embora os padrões de alocação de nutrientes acima e abaixo do solo tenham sido em geral, consistentes nos diferentes sítios e no período deste estudo, observou-se importante associação entre os padrões de produção de biomassa de raízes finas e a disponibilidade de água (precipitação), indicando que deve haver grande variação, de acordo com a disponibilidade deste recurso. Os resultados deste estudo serão úteis para balanços de carbono e nutrientes, nos compartimentos solo-planta-atmosfera, modelagem ambiental e estudos de ecossistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABER, J. D.; MELLILO, J. M. **Terrestrial ecosystems**. Orlando, FL. USA:Reinhart e Wintson, 1991.428p.
- ADUAN, E.A.; VILELA, M. F.; KLINK, C.A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2003. 30p.
- AGUIAR, O.T.; PASTORE, J.A.; ROCHA, F.T.; BAITELLO, J.B. Flora fanerogâmica de um trecho da Floresta Densa Secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha/Indaiá (SP). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.13, n.1, p.1-18, 2001.
- ALCAIDE, R.L.M.; FORTI, M.C. **Protocolo para determinação de nitrogênio total em soluções aquosas**. São José dos Campos: INPE, 2012. 24p.
- ALCAIDE, R.L.M.; FORTI, M.C. **Protocolo para coletas, preparação e análise de amostras de águas e soluções aquosas: Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias – LAQUATEC**. São José dos Campos: INPE, 2012. 42p. IBI:<8JMKD3MGP7W/3B86LMH>. (Sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.20.16.28-NTC). Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3B86LMH>. Acesso em: 15 out. 2014.
- ALEXANDER, M. Organic matter decomposition. In: ALEXANDER, M. (Ed.). **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley, 1997. p. 128-147.
- ALVES, L.F.; VIEIRA, S.A.; SCARANELLO, M.A.; CAMARGO, P.B.; SANTOS, F.A.M.; JOLY, C.A.; MARTINELLI, L.A. Forest structure and live aboveground biomass variation along the elevational gradient of tropical Atlantic moist Forest (Brazil). **Forest Ecology and Management**, v.260, p.679-691, 2010.
- ARAGÃO, L.E.O. et al. Above and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soil. **Biogeosciences**, v. 6, p. 2759-2778, 2009.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 37-58, março, 1987.
- ARCOVA, F.C.S. **Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambientes de floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP**. 2013. 175p. Tese (Doutorado em Ciências) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- ARMANI, G. **Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP**. 2014. 21p.

Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.H.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; RIZZO, L.V.; JUNIOR, C.P.; PAIXÃO, M.A.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.; CORREIA, A.L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.168-189, 2006.

ARREDONDO, J.T.; JOHNSON, D.A. D.A. Root architecture and biomass allocation of three range grasses in response to nonuniform supply of nutrients and shoot defoliation. **New Phytology**, v. 143, p.373-385, 1999.

ATKINSON, D.; MACKIE-DAWSON, L. Root growth: methods of measurement. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Eds.) **Soil analysis: physical methods**. New York: Marcel Decker, 1991. v.11, p.447-509.

ATKINSON, D. Root characteristics: why and what to measure. In: SMIT A.L.; BENGOUGH A.G.; ENGELS, C., van NOORDWIJK, M., PELLERIN, S., van de GEIJN, S.C. (Eds.). **Root methods: a handbook**. Berlin: Springer Verlag, 2000. p.1-32.

BACKES, A.; FERNANDES, A. V.; ZENI, D. J. Produção de serrapilheira em uma floresta com *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil. **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.247-259, 1998.

BALIEIRO, F. C.; DIAS, L. A.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serrapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acácia Mangium* Wild. **Ciência Florestal**, v.14, n.1, p. 59-65, 2004.

BARROS, F.; MAMEDE, M.C.H.; MELO, M.M.R.F.; LOPES, E.A.; JUNG-MENÇAOLLI, S.L.; KIRIZAWA, M.; MUNIZ, C.F.S., MAKINO-WATANABE, H.; CHIEA, S.A.C. MELHEM, T.S. 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: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p.93-110.

BARBOSA, L.M.; MATHEUS, D.R.; NETO LEAL, A.C. (Coords.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – diagnóstico: estudos socioeconômico, ecológico e legislativo para a 80 caracterização, zoneamento e implantação do Plano de Manejo do PEFI e do seu programa de eco-desenvolvimento**. São Paulo: [S.n.], 2008. v.1. Relatório Técnico-científico.

BENITES, V. M.; MOUTTA, R. O.; COUTINHO, H. L. C.; BALIEIRO, F. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.4, p. 685-690, 2010.

- BERNER, R.A.; BERNER, E.K. **Global environment: water, air, and geochemical cycles.** New Jersey: Princeton University Press, 2012. 444p.
- BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEIL, C.; MORAES, J.F.L. The use of stable isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, v. 82, p. 43-58, 1998a.
- BICUDO, D.C.; FORTI, M.C.; BICUDO, C.E. **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI):** Unidade de Conservação Ameaçada pela Urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 2002. 351p.
- BIZUTTI, D.T.G. **Ciclagem do fósforo em floresta ombrófila densa dos núcleos de Picinguaga e Santa Virgínia – SP.** 2011. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Centro de Energia Nuclear e Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BLOOMFIELD, J.; VOGT, K. A.; VOGT, D. J. Decay rate and substrate quality of fine roots and foliage of two tropical tree species in the Luquillo experimental forest, Puerto Rico. **Plant and Soil**, v.150, p. 233-245, 1993.
- BONGERS, F.; POORTER, L.; Van ROMPAEY, R.; PARREN, M. Distribution of twelve moist forest canopy tree species in Liberia and Cote d'Ivoire: response curves to a climatic gradient. **Journal of Vegetation Science**, v.10, p. 371-382, 1999.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BREDA, E.M. **Água grau reagente para laboratório e outros fins especiais.** Campinas: UNICAMP, 2001. 31p.
- BROUWER, R. Some aspects of the equilibrium between overground and underground plant parts. **Jaarboek IBS**, Wageningen, v. 213, p.31-39, 1963.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** Rome: FAO, 1997. 55p.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. **Interciencia**, v.17, n.1, p. 8-18, 1992.
- BURGER, D. M. **Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP.** 2005. 112f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- BURGES, N.; WARD, D.; HOBBS, R.; BELLAMY, D. Reedbeds, fens and acid bogs. In: SUTHERLAND, W. J.; HILL, D. A. (Eds.). **Managing habitats for conservation.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p.149-196.

- CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.H.; BAUGARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v.111, p.1-11,1997.
- CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 176 f. Tese – (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A. VALADARES, J. M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2009. 77p. (IAC, Boletim Técnico, 106).
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo**, Campinas, v. 12, n.1, p.11-33, 1987.
- CAO, G.M.;TANG, Y.H.;MO, W.H.; WANG, Y.S.; LI, Y.N.; ZHAO X.Q. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan plateau. **Soil Biology and Biochemistry**,v.36, p.237–243, 2004.
- CARVALHO, J.O.P. **Análise estrutural da regeneração natural em floresta dropical densa de Tapajos no estado do Pará**. 1982. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba,1982.
- CASARTELLI, M.R.; MIRLEAN,N.; PERALBA,M.C.;BARRIONUEVO,S.; GÓMEZ-REY,M.X.;MADEIRA,M. An assessment of the chemical composition of precipitation and throughfall in rural-industrial gradient in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Monitoring Assessment**, v.144, p.105-116, 2008.
- CAVELIER, J. Mist and fog interception in el fin cloud forests in Colombia andVenezuela. **Journal of Tropical Ecology**, v.5, p.309–322,1989.
- CERATI, T.M.; MATHEUS, D.R.; SOUZA, A.Q.;BONOMO, M.D.R. Gestão participativa em uma unidade de conservação urbana: a busca de estratégias para conservar o Parue Estadual das Fontes do Ipiranga,São Paulo,Brasil. **Revista Intergacehs**, v.6, n. 1, p.1-17.2011.
- CHAPIN,III, F.S.; KOFINAS, G.P.; FOLKE, C. **Principles of ecosystem stewardship: resilience-based natural resource management in a changing world**.New York, Springer, 2009.
- CHAMBERS,J.Q.; SANTOS, J.; RIBEIRO,R.J.; HIGUCHI, N. Tree damage, allometric relationships and above—ground net primary production in central Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, v.152,n.1/3,p.73-84, 2001.
- CICCO, V. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de Mata Atlântica, Cunha, SP**. 2004. 124p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CICCO, L.S. **Evolução da regeneração natural de florestas ombrófila densa alto-montana e a produção de água em microbacia experimental, Cunha – SP.** 2013. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

CLARCK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, W.; CHAMBERS, J.Q.; THOMLINSON, J.R.; NI, J.; HOLLAND, E.A. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. **Ecological Applications**, v.1, n.2, p.371-384, 2001.

COELHO, C.A.S.; CARDOSO, D.H.F.; FIRPO, M.A.F. **A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil.** Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Coelhoetal.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório da qualidade do ar.** Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 01 mar. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório de qualidade das águas litorâneas do estado de São Paulo: balneabilidade das praias.** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2006. 365p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo.** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2014. 134p.

COUTEAUX, M.; BOTTNER, P.; BERG, B. Litter decomposition climate and litter quality. **Tree**, v.10, n.2, p. 63–66, 1995.

CONCEIÇÃO, F.T. ; BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v.19, n.4, p.575-591, 2004.

CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B.; ANTUNES, M.L.P.; ANGELUCCI, V.A. Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Química Nova**, v.34, n.4, p.610-616, 2011.

CONTI, J.B.; FURLAN, S.A. Geocologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J.L. (Org.) **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2003. p.67-207.

CONTI, J.B. **Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região leste/nordeste paulista.** 1975. 82p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

COSTA G. S.; FRANCO A. A.; DAMASCENO R. N.; FARIA S. M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p. 1-10, 2004.

- COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; BASTOS, A.L.; ALBUQUERQUE, A.W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v.13, p.56-62, 2009.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A.; TOTTERDELL, I.J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, v.408, p.184-187, 2000.
- CUNHA NETO, F. V.; LELES, P. S. S.; PEREIRA, M. G.; BELLUMATH, V.G.H.; ALONSO, J.M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n. 3, p. 379-387, 2013.
- CUNHA, E.G.S.; CAMARGO, V.L. Quantificação de biomassa e estoque de carbono em restauração florestal no Sul da Bahia. In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL (CONEFLOR), 4., 2013, Vitória da Conquista (BA). **Anais...** Vitória da Conquista: UESB, 2013. p. 1-7.
- DAUBENMIRE, R. **Plant communities**. New York: Harper and Row, 1968. 300p.
- DAVIDSON, E.A.; FIGUEIRA, A.M.; CARVALHO, C.J.R.; MARTINELLI, L.A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature**, v.447, n.7147, p.995-998, 2007.
- De GROOT, R.S. **Functions of nature**: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Groningen: Wolters-Noordhoff, 1992.
- DIXON, R.K.; SOLOMON, A.M.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; TREXIER, M.C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science** v. 263, n. 5144, p.185-190, 1994.
- EISSENSTAT, D.M.; VAN REES, K.C.J. The growth and function of pine roots. **Ecological Bulletins**, v.43, p.76-91, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa – CNPS, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 306p.
- ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological Monographs**, v.77, p.377- 404, 2007.
- EUA. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. SOIL SURVEY DIVISION, SOIL CONSERVATION SERVICE. **Soil survey manual**. Washington, D.C.: USDA, 1993. 437P. (USDA. Agriculture Handbook, 18).



EWEL, J.J. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v.17, p.245-271, 1986.

FASSBENDER, H.W.; ALPIZAR, L.; HEUVELDOP, J.; FOLSTER, H.; ENRIQUEZ, G. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. **Agroforestry Systems**, v.6, p.49-62, 1988.

FENG, Y.L.; WANG, J.F.; SANG, W.G. Biomass allocation, morphology and photosynthesis of invasive and non invasive exotic species grown at four irradiance levels. **Acta Oecology**, v.31, p.40-47, 2007.

FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M.G.; MAGALHAES, L.M.S.; CRUZ, A.R.; GIACOMO, R.G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* benth.) e Andiroba (*Carapa guianensis* aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.2, p. 163-175, 2006.

FERNANDES, E.C.M.; BIOT, Y.; CASTILLA, C.; CANTO, A.; MATOS, J.C.S.; GARCIA, S.; PERIN, R.; WANDELLI, E. The impact of selective logging and Forest conversion for subsistence agriculture and pastures on terrestrial nutrient dynamics in the Amazon. **Ciência e Cultura**, v.49, p.34-47, 1997.

FERNANDES, A.J.; REIS, L.A.M.; CARVALHO, A. Caracterização do meio físico. In: BICUDO, D.C.; FORTI, C.E.M. (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação que resiste a urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado, 2002. p. 51-62.

FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO, F.J.; MIRANDA, S.A.F.; SILVA, M.S.R.; VITAL, A.R.T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, v.36, n.1, p.1-10, 2006.

FIELD, C.B.; BEHRENFELD, M.J.; RANDERSON, J.T.; FALKOWSKI, P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. **Science** v.281, n.5374, p.237-240, 1998.

FLOWER-ELLIS, J.G.K.; PERSSON, H. Investigation of structural properties and dynamics of Scots pine stands. **Ecological Bulletins**, v.32, p.125-138, 1980.

FORTI, M.C. et al. Rainfall and throughfall chemistry in the Atlantic Forest: a comparison between urban and natural areas (São Paulo State, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, Germany, v.9, n.6, p.570-585, 2005.

FORTI, M.C.; ALCAIDE, R.L.M. **Protocolo de determinação de ânions inorgânicos em soluções aquosa por cromatografia iônica**: Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias – LAQUATEC. Disponível em: <http://mtc->

[m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.20.16.17/doc/publicacao.pdf](http://m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.20.16.17/doc/publicacao.pdf).

Acesso em: 21 nov. 2014.

FURIAN, S. M.; PFEIFER, R.M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, SP, v.40, n.2, p.183-193, 1986.

GIFFORD, R.M. **Carbon content of woody roots**: revised analysis and a comparison with woody shoot components.[S.l.]: National Carbon Accounting System, 2000. 16p.

GILL, R.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v.147, p.13-31, 2000.

GIRARDIN, C.A.J.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MAMANI-SOLÓRZANO, M.; HUARACA HUASCO, W.; DURAND, L.; FEELEY, K.J.; RAPP, J.; SILVA-ESPEJO, J.E.; SILMAN, M.; SALINAS, N.; WHITTAKER, R.J. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. **Global Change Biology**, v.16, p.3176–3192, 2010.

GLEESON, S.K.; GOOD, R.E. Root allocation and multiple nutrient limitations in the New Jersey Pinelands. **Ecology Letters**, v.6, p. 220-227, 2003.

GODBOLD, D.L.; BRUNNER, I. Tree roots in a changing world. **Journal of Forest Research**, v.12, p.78-82, 2007.

GOLLEY, F. B.; MC GINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. J.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1978. 256 p.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, p.601-616, 2001.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F. ; TORRES, E. **Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de milho e soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 25 p.

GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2000. Cap.8, p.221-267.

GOWER, S. T.; VOGT, K. A.; GRIER, C. C. Carbon dynamics of rocky mountain Douglas-fir: influence of water and nutrient availability. **Ecological Monographs**, v.62, p. 43–65, 1992.

GOWER, S.T. Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. **Annual Review of Environment and Resources**, v.28, p. 169-204, 2003.

- GRACE, J.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N.; MEIR, P. Productivity of tropical rain forests. In: MOONEY, H.; ROY, J.; SAUGER, B. (Ed.). **Terrestrial global productivity: past, present and future**. San Diego, CA: Academic Press, 2001. p.401- 426.
- GREEN, J. J.; DAWSON, L. A. PROCTOR, J.; DUFF, E. I.; ELSTON, D. A. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. **Plant and Soil**, v.276, p.23-32, 2005.
- GUO, D. L.; MITCHELL, R. J.; HENDRICKS, J. J. Fine root branch orders respond differentially to carbon source sink manipulations in a long leaf pine forest. **Oecologia**, v. 140, p.450-457, 2004.
- HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144p.
- HABERL, H.; GEISSLER, S. Cascade utilization of biomass: strategies for amore efficient use of a scarce resource. **Ecological Engineering**, v.16, S1, p.111–121, 2000.
- HAO, Y; et al. Roots of pioneer trees in the lower sub-tropical area of Dinghushan, Guangdong, China. **Journal of Zhejiang University Science B**, v.7, n.5, p.377-385, 2006.
- HENDRICKS, J. J.; HENDRICK, R. L.; WILSON, C. A.; MITCHELL, R. J.; PECOT, S. D.; GUO, D. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. **Journal of Ecology**, v.94, p.40-57, 2006.
- HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. The demography of fine roots in a northern hardwood forest. **Ecology**, v.73, p.1094-1104, 1992.
- HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. **Canadian Journal of Forest Research**, v.23, n.12, p.2507-2520, 1993.
- HERTEL, D.; LEUSCHBER, C. A comparison of four different fine root production estimates with ecosystem carbon balance data in a Fagus-quercus mixed forest. **Plant and Soil**, v.239, p.237-251, 2002.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v.28, n.2, p. 153-165, 1998.
- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant Soil**, v.237, p.173-195, 2001.
- HOUTHTON, R. A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, v.11, p.945-958, 2005.

- HOUGHTON, R.A.; HALL, F.; GOETZ, S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research:Biogeosciences**, v.114, n.G2, G000935, 2009.
- HOORENS, B.; AERTS, R.; STROETENGA, M. Litter quality and interactive effects in litter mixtures: more negative interactions under elevated CO<sub>2</sub>? **Journal of Ecology**, v.90, p.1009–1016, 2002.
- HUANG, S. et al. Multivariate analysis of trace element concentrations in atmospheric deposition in the Yangtze River Delta, east China. **Atmospheric Environment**, v.43, n.36, p.5781-5790, 2009.
- HUNTINGFORD, C. Towards quantifying uncertainty in predictions of Amazon “dieback”. **Philosophical Transaction of the Royal SocietyB: Biological Sciences**, v.363, n.1498, p.1857-1864, 2008.
- INSTITUTO AGRONOMO DE CAMPINAS – IAC. **Mapas dos solos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solossp/pdf/Latossolos.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Efetivo dos rebanhos bovinos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/comparamun/compara.php?lang=&coduf=29&idtema=159&codv=v01&search=bahia%7Capora%7Csintese-das-informacoes-2015>. Acesso em: 21 set. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População no último censo de 2010 do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- INSTITUTO FLORESTAL. **Plano de manejo do Parque Estadual Serra do Mar**. Disponível em: [http://iflorestal.sp.gov.br/files/2013/03/Plano\\_de\\_Manejo\\_Pe\\_Serra\\_do\\_Mar.pdf](http://iflorestal.sp.gov.br/files/2013/03/Plano_de_Manejo_Pe_Serra_do_Mar.pdf). Acesso em: 26 nov. 2014.
- INSTITUTO FLORESTAL. **Mapa florestal dos municípios do Estado de São Paulo: Cachoeira Paulista**. Disponível em: <http://s.ambiente.sp.gov.br/sifesp/cachoeirapaulista.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama, Japan: IPCC/IGES, 2003.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **“2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories”**. Hayama, Japan: IGES, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS ( INPE). **Portal do monitoramento de queimadas e incêndios**. Disponível em:<http://www.inpe.br/queimada>. Acesso em: 16 out. 2016.

IWASA, Y.; ROUGHGARDEN, J. Shoot/root balance of plants: optimal growth of a system with many vegetative organs. **Theoretical Population Biology**, v.25, n.1, p. 78-105. 1984.

JACKSON, R. B.; HOFFMANN, W.A. Vegetation-climate feedbacks in the conversion of tropical savanna to grassland. **Journal of Climate**, v.13, p.1593-1602, 2000.

JACKSON, R.B.; MOONEY, H.A.; SCHULZE, E.D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.94, p.7362-7366, 1997.

JIMÉNEZ, E.M.; MORENO, F.H.; PEÑUELA, M.C.; PATIÑO, S.; LLOYD, J. Fine root dynamics for forests on contrasting soils in the Colombian Amazon. **Biogeosciences**, v.6, p.2809-2827, 2009.

JORDAN, C.F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. New York: John Wiley and Sons, 1985. 190p.

JORDAN, H.; HERRERA, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical? **American Naturalist**, Chicago, v.117, n.2, p. 167-180, 1981.

JOURDAN, C.; SILVA, E.V.; GONÇALVES, J.L.M.; RANGER, J.; MOREIRA, R.M.; LACLAU, J.P. Fine root production and turnover in Brazilian Eucalyptus plantations under contrasting nitrogen fertilization regimes. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.396-404, 2008.

LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; KRUSCHE, A.; AYRES, G.P.; FERRAZ, E.S.B.; BALLESTER, M.V. Chemical composition of rain water and anthropogenic influences in the Piracicaba river basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v.35, p.4937-4945, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: EPU, 2000. 531p.

LASKOWSKI, M.J.; WILLIAMS, M.E.; NUSBAUM, H.C.; SUSSEX, I.M. Formation of lateral root meristems is a two stage process. **Development**, v.121, p.3303-3310, 1995.

LAURANCE, W.F. Conserving the hottest of the hotspots. **Biological Conservation**, v. 142, e1137, 2009.

LAVELLE, P. et al. A hierarchical model for decomposition terrestrial ecosystems: applications to soils of umids tropics. **Biotropica**, Washington, DC, v.25, n.2, p.130-150, 1993.

LEAL,T.F.M.; FONTENELE,A.P.G.; PEDROTTI,J.J. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da Cidade de São Paulo. **Química Nova**, v.27, p.855-861, 2004.

LEPPÄLAMMI-KUJANSUU, J.; ARO, L.; SALEMAA, M.; HANSSON,K.; KLEJA,D.B.; HELMISAARI,H. Fine root longevity and carbon input into soil from below- and aboveground litter in climatically contrasting forests. **Forest Ecology and Management**, v.326, p.79-90. 2014.

LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v.16,n.1, p.197-206,1982.

LIMA, T.T.S.; MIRANDA,I.S.;VASCONCELOS,S.S. Effects of water and nutrient availability on fine root growth in eastern Amazonian forest growth, Brazil.**New Phytologist**, v.187, p.622-630, 2010.

LIMA,T.T.S.; MIRANDA,I.S.; VASCONCELOS,S.S. Fine root production in two secondary forestsites with distinct ages in Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v.42, n.1, p.95-104, 2012.

LIMA, J.A.S. **Biomassa arbórea e estoques de nutrientes em fragmentos florestais da APA São João: o efeito da fragmentação sobre a Mata Atlântica da baixada litorânea fluminense**. 2009. 203p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais)- Universidade Estadual do Norte Fluminense,Campos dos Goytacazes, RJ, 2009.

LOPEZ, B.C.; SABATE,S.; GRACIA, C.A. Fine root dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. **Tree Physiology**, v.18, p.601-606, 1998.

LUIZÃO,R.C.C.; LUIZÃO, F.J.; PAIVA, R.Q.; MONTEIRO, T.F.; SOUSA,L.S.; KRUIJTS,B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**,v.10, p.592-600, 2004.

LUIZÃO,F.J. Nutrient cycling in the Amazon: responses to environmental and climate changes. **Science and Culture**,v.59, p.31-36, 2007.

LUKAC, M. Fine root turnover. In: MANCUSO, S. (Ed.). **Measuring roots**.Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.p.363-373.

MACHADO, E.L.M.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; CARVALHO,W.A.C.; SOUZA, J.S.; BORÉM,R.A.T.; BOTEZELLI,L. Análise comparativa da estrutura e florado compartimento arbóreo-arbustivo de um remanescente florestal na fazenda Beira Lago,Lavras, MG. **Revista Árvore**,Viçosa, v.28, n.4, p.499-516, 2004.

MAEGHT, J.L.; REWALD, B.; PIERRET, A. How to study deep roots: and why it matters. **Frontiersin PlantScience**, v.4, p.299, 2013.

- MAJDI,H.; NYLUND, J.E.;AGREN,G. Root respiration data and minirhizotron observations conflict with root turnover estimates from sequential soil coring.**Journal of Forest Research**, v.22, p.299-303, 2007.
- MAKARIEVA, A.M.; GORSHKOW, V.G.; Li, B.L. Precipitation on land versus distance from the ocean: evidence for a forest pump of atmospheric moisture. **Ecological Complexity**, v. 6, p. 302-307, 2009.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**.2.ed.Piracicaba: POTAFOS, 1997.319p.
- MALHI, Y.; DOUGHTY, C.; GALBRAITH, D.The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests.**Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.366, n.1582, p.3225-3245, 2011.
- MALHI,Y. et al.The above-ground coarse wood productivity of 104 neotropical forest plots. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p. 563-591, 2004.
- MALHI, Y.L.E.O.; ARAGÃO, D.; GALBRAITH, C.; HUNTINGFORD, C.; FISHER, R.; ZELAZOWSKI, P.; SITCH, S.; MCSWEENEY, C.; MEIER, P. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the NationalAcademy of Sciences**,v.106, n.20, p.610–20, 2009.
- MALHI, Y.; DOUGHTY, C.; GALBRAITH, D.The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests.**Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 366,n.1582, p.3225–3245,2011.
- MARENCO,J.A.; NOBRE,C.A.; SELUCHI, M.E.; CUARTAS,A.; ALVES, L.M.; MEDIONDO, E.M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n.106,p.31-44, 2015.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA,M.M.; FONSECA, S.; MARQUES,J.J.G.S.M. Perdas de soloeágua por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.395-403, 2003.
- MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecídua no Município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, p. 405-412, 1999.
- MARKESTEIJN, L.; POORTER, L. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance.**Journal of Ecology**, v. 97, p. 311–325, 2009.
- MEDINA, E.; CUEVAS, E.; Patterns of nutrient accumulation and release in Amazonian forests of theupper Rio Negro basin. In: PROCTOR, J. (Ed.).**Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**.Oxford: Blackwell, 1989. p.140-217.

MEI, L.; GU, J.; ZHANG, Z.; WANG. Responses of fine root mass, length, production and turnover to soil nitrogen fertilization in *Larix gmelinii* and *Fraxinus mandshurica* forests in Northeastern China. **Journal Forestry Research**, v.15, p.194-201, 2010.

MELILLO, J.M.; MCGUIRE, A.D.; KICKLIGHTER, D.W.; MOORE, B.; VOROSMARTY, C.J.; SCHLOSS, A.L. Global climate change and terrestrial net primary production. **Nature**, v.363, p.234-240, 1993.

MELO, S.L.M.; GONÇALVES, J.L.M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.1-111, 2008.

MELLO, W.Z. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 114, p.235-242, 2001.

MENEZES, C.E.G.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; ANJOS, L.H.C.; PAULA, R.R.; SOUZA, M.E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.3, p.439-452, 2010.

MESSIER, C.; PUTTONEN, P. Coniferous and non-coniferous fine root and rhizome production in Scots pine stands using the infrowth bag method. *Silva Fennica*, v.27, n.3, p.209-217, 1993.

METCALFE, D.B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L.E.O.C.; COSTA, A.C.L.; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P.H.L.; JUNIOR, J.A.S.; ALMEIDA, S.S.; DAWSON, L.A.; MALHO, Y. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v.311, p.189-199, 2008.

METCALFE, D.; MEIER, P.; WILLIAMS, M. A comparison of methods for converting rhizotron root length measurements into estimates of root mass production per unit ground area. **Plant and Soil**, v. 301, p. 279–288, 2007.

MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E.C.; PIRES, M.; FACHEL, J. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. **Atmospheric Environment**, v.38, p.1641-1656, 2004.

MOKANY, K.; RAISON, R.J.; PROKUSHKIN, A.S. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v.1, n.1, p. 1-13, 2005.

MONKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v.12, n.1, p. 84–96, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.



- NADELHOFFER, K.J.; ABER, J.D.; MELILLO, J.M. Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: a new hypothesis. **Ecology**, v. 66,p.1377-1390, 1985.
- NADELHOFFER, K.J.; RAICH, J.W. Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. **Ecology**, v.73, n.4, p.1139-1147, 1992.
- NEILL, C.; MELILLO, J.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v.7, p.1216-1225, 1997.
- NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DACIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures.**Nature**, v. 372, p.666-669, 1994.
- NEU, V.**O ciclo do carbono na bacia do Alto Xingu: interações entre ambientes terrestre, aquático e atmosférico.**Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.113p.
- NIMER, E. Clima da região Sudeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- NOMURA, N.; KIKUZAWA, K. Productive phenology of tropical montane forests: fertilization experiments along a moisture gradient. **Ecological Research**, v.18, p. 573–586, 2003.
- NORBAY, R.; JACKSON, R. Root dynamic and global change: seeking and ecosystem perspective. **New Phytologist**, v.147, p. 3-12, 2000.
- ODUM, H.T. **Systems ecology: an introduction**. New York: Wiley,1983. 644p.
- OLIVEIRA,F.M. ; OLIVEIRA, R.A. **Análise do potencial energético do Aterro Sanitário de Cachoeira Paulista – SP**. 2012. 60p. Monografia (Engenharia Industrial Química), Escolade Engenharia de Lorena,Lorena, 2012.
- OLIVEIRA, L.R.R. de. **Deposição atmosférica de elementos-chave, através de chuva,em floresta ombrófila densa no Parque Estadual da Serra do Mar**. 2007. 57p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo,Piracicaba, 2007.
- OLIVEIRA, L.P.; MENDONÇA, A.V.R.; MATTA, B.M.; SOUZA,J.S.; CERQUEIRA NETO, J.S. Quantificação de biomassa e carbono de fragmento de Mata Atlântica localizada na APA do Pratigi.In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL (CONEFLOR),4., 2013,Vitoria da Conquista (BA).**Anais...**Vitória da Conquista: UESB, 2013.p.1-5.

- OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v.44, n.2, p.322-331, 1963.
- OSTERTAG, R. Effects of nitrogen and phosphorus availability on fine root dynamics in Hawaiian montane forests. **Ecology Society of America**, v.82, p.485-499, 2001.
- PAGANO, S. N. Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v.49,n.3, p. 633-639,1989.
- PELI, V.; ASTOLFO,R.; FORNARO,A. Análise da concentração em massa e composição elementar do Material Particulado fino (MP2,5) em Cachoeira Paulista,São Paulo: agosto de 2010 a outubro de 2011. **Ciência e Natura**, v.37, p.91-97, 2015.
- PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; AMORIM, T.A.; MENEZES, C.E.G. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de Floresta Atlântica. **Bioscience Journal**, v.29, n.5, p. 1317-1327, 2013.
- PERSSON,H. Fine root production,mortality,and decomposition in forest ecosystems. **Vegetatio**, v.41, p.101-109, 1979.
- PHILLIPS et al.. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B : Biological Science**, v. 359, p.381-407, 2004.
- PHILLIPS, O.L.; ARAGÃO, L.E.O.C.; LEWIS, S.L.; FISHER, J.B.; LLOID,J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**,v.323, p.1344-1347, 2009.
- PINHEIRO, R.C. **Variabilidade entre materiais genéticos de Eucalyptus spp quanto à distribuição de raízes finas em latossolos profundos**. 2014. 95p.Dissertação (Mestrado em Ciências Agronomica) – Universidade Estadual Paulista,Botucatu, 2014.
- PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional na Reserva Florestal Mata do Paraíso, em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, p. 653-663, 2009.
- PIVELLO, V.R.; PECCININI, A.A.A vegetação do PEFI. In: BICUDO, D.C.; FORTI, M.C.; BICUDO,C.E.M. (Eds.). **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, 2002.p. 75-92.
- POWERS, J. S.; TRESEDER, K. K.; LERDAU, M. T. Fine roots, arbuscular mycorrhizal hyphae and soil nutrients in four neotropical rain forests: patterns across large geographic distances. **New Phytologist**,v.165, p. 913-921, 2005.
- PREGITZER, K.S. Fine roots of trees a new perspective. **New Phytologist**, v.154, p.267-270, 2002.

PREGITZER, K. S.; KING, J. S.; BURTON, A. J.; BROWN, S.E. Responses of tree fine roots to temperature. **New Phytologist**, v.147, p. 105-115, 2000.

PROGRAMA QUEIMADAS DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Monitoramento de queimadas no Estado de São Paulo. Disponível em: <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>. Acesso em: 18 set. 2017.

PRIESS, J.; THEN, C.; FOLSTER, H. Litter and fine root production in three types of tropical premontane rain forest in SE Venezuela. **Plant Ecology**, v.143, p. 171-187, 1999.

QUADROS, M.F.L.; MACHADO, L.H.R.; CALBETE, S.R.; BATISTA, N.N.M.; OLIVEIRA, G.S. **Climatologia de precipitação e temperatura**. Disponível em: <http://cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>. Acesso em: 07 mar. 2018.

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FONTES, L.T.G. (Orgs.). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF: INMET, 2009. 465p.

RANZINI, M. **Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da serra do mar, SP, com o modelo TOPMODEL**: simulação do comportamento hidrológico em função do corte raso. 132p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RANIERI, M.G.A. **Caracterização tecnológica das argilas da cidade de Cunha para fins de cerâmica artística**. 2007. 104p. Dissertação (Mestrado em Mecânica na área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá-SP, 2007.

RASSE, D.P.; STOLAKI, S.; PERESTA, G.; DRAKE, B. Pattern of canopy air CO<sub>2</sub> concentration in a brackish wetland: analysis of a decade of measurements and the simulated effects on the vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 114, p.59-73, 2002.

REBELO, C. F. **Ciclagem de nutrientes minerais em floresta pluvial tropical de encosta e em floresta sobre restinga na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP**: decomposição da serapilheira. 1994. 133p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

REIS,M.G.F.; BARROS,N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS,N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.).**Relação solo eucalipto**.Viçosa:Folha de Viçosa, 1990.p.265-302.

REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRE, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.54, p.99-112,1999.

REZENDE, J.C.F. **A ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado e a influência de queimadas controladas**. 2001. 121p. Tese (Doutorado em Ecologia)- Universidade de Brasília, Brasília, DF,2001.

RIBEIRO, S.C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, v.34, n.3, p.495-504, 2010.

RODRIGUES, R.C.; MOURÃO, G.B.; VALINOTE, A.C.; HERLING, V.R. Reservas orgânicas, relação parte aérea- raiz e c-n e eliminação do meristema apical no capim – xaraés sob doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Animal Brasileira**, v.8, n.3, p.505-514, 2007.

ROCHA, I, F L. **Estudo dos parques paulistanos**. São Paulo: SINAENCO, 2008.

ROITMAN, I.; FELFILI, J.M.; REZENDE,A.V. Tree dynamics of a fire-protected cerrado sensu stricto surrounded by forest plantations,over a 13 years period (1991-2004) in Bahia, Brazil. **Plant Ecology**, v.197, p.255-267, 2008.

ROPPA,C. **Avaliação da dinâmica de restauração de ecossistemas perturbados da Mata Atlântica em uma região de exíguos atributos ambientais,Nova Iguaçu – RJ**. 2009. 133p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica,RJ,2009.

ROSADO, B.H.P.; MARTINS, A.C.; COLOMEU, T.C.; OLIVEIRA, R.S.; JOLY, C.A.; AIDAR, M.P.M. Fine root biomass and root length density in a lowland and montane tropical rain forest, SP, Brazil.**Biota Neotropica**,v.11, n.3, 2011.

RUBENS, B.; POESEN, J.; DANJON, F.; GEUDENS, G.; MUYS, B. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture a review. **Trees**, v.21, p.385-402, 2007.

RYTTER, R.M. Biomass production and allocation, including fine root turnover, and annual N uptake in lysimeter grown basket willows. **Forest Ecology and Management**, v. 140, p.177-192, 2001.

SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, 1976. 409p.

SANFORD, R.L. Fine root biomass under light gap opening in an Amazon rain forest. **Oecologia**, v.83, p.541-545, 1990.

SANFORD JUNIOR, R. L. Fine root biomass under a tropical forest light gap opening in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v.5, p.251–256, 1989.

SANTOS, M.P.; FUNARI, F.L. Clima local. In: BICUDO, D.C.; FORTI, M.C.; BICUDO, C.E.M.(Eds.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI):** uma unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p.29-48.

SANTOS, F. G.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; FOLONI, J.M.; FILHO, M.R.A.; KER, J.C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2015-2025, 2008.

SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO, F.A.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C.R. Alteração na estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista no período entre 1979 e 2000. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.283-295, 2006.

SCHLESINGER, W.H.; ANDREWS, J.A. Soil respiration and the global carbon cycle. **Biogeochemistry**, v.48, p.7-20, 2000.

SCHLITTLER, F.H.M.; MARTINS, G.; CÉSAR, O. Decomposição da serapilheira produzida na floresta do Morro do Diabo (região do Pontal do Paranapanema, Estado de São Paulo). **Naturalia**, v.18, p. 149-156, 1993.

SCHROTH, G.; KOLBE, D. A method of processing soil core samples for root studies by subsampling. **Biology and Fertility of Soils**, v.18, p.60-62, 1994.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai (CESP), 1996. p 35-39.

SHEIL, D.; MURDIYARSO, D. How forests attract rain: an examination of a new hypothesis. **BioScience**, Washington, v.59, n.4, p. 341-347, 2009.

SIERRA, J.; MARBÁN, L. Nitrogen mineralization pattern of an oxisol of Guadeloupe, French West Indies. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.1-9, 2000.

SILVA JÚNIOR, M.C.; SILVA, A.F.. Distribuição dos troncos das árvores mais importantes do cerrado na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba (EFLEX)-MG. **Acta Botanica Brasílica**, v.2, n.1-2, p.107-126, 1988.

SILVA, V.T.; MADRI, P.S.; FERRACIN, T.P.; BIANCHINI, E.; TOREZAN, J.M.D.; PIMENTA, J.A. Comparação entre parâmetros abióticos e a estrutura florestal de um fragmento de floresta e um reflorestamento abandonado de eucalipto (*Eucalyptus saligna*

Smith) no parque ecológico da Klabin, Telêmaco Borba/PR. **Semina: Ciências Biológicas da Saúde**, Londrina, v.31, n.1, p.37-51, 2010.

SILVA, C.A. **Estoque e produção de raiz fina ao longo de um gradiente altitudinal de Floresta Atlântica na Serra do Mar, São Paulo, Brasil**. 2015. 43p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2015.

SILVA, D.B. **Reciclagem de latas de alumínio**: confecção de plaquinhas para a identificação de plantas, amostras e parcelas experimentais. Brasília: Embrapa, 2011. (Circular Técnica 90).

SILVA, W.B.; PONTELLI, M.E.; PIETROBELLI, G. Physical and chemical properties of surface coverage in hill slope with tunnel erosion, Guarapuava (PR). **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.8, n.3, p.879-894, 2012.

SILVER, W.L.; MIYA, R.K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. **Oecologia**, v.129, p.407–419, 2001.

SILVER, W.L.; THOMPSON, A.W.; MCGRODDY, M.E.; VARNER, R.K.; DIAS, J.D.; SILVA, H.; CRILL, P.M.; KELLER, M. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, v.11, p.290-306, 2005.

SILVER, W.L.; NEFF, J.; VELDKAMP, E.; KEKKER, M.; COSME, R. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, v.3, p.193-209, 2000.

SILVER, W. L.; THOMPSON, A. W.; MCGRODDY, M. E., et al. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, v.11, p.290-306, 2005.

SMITH, S.W.; ROBERTSON A.H.J.; MEHARG A.A.; PAKEMAN R.J.; JOHNSON D.; WOODIN S.J, VAN DER WAL R. Milling plant and soil material in plastic tubes over-estimates carbon and under-estimates nitrogen concentrations. **Plant and Soil**. v.369, p.509–513, 2013.

SNOWDON, P.; EAMUS, D.; GIBBONS, P.; KHANNA, P.; KEITH, H.; RAISON, J.; KIRSCHBAUM, M. **Synthesis of allometrics, review of root biomass and design of future woody biomass sampling strategies**. Canberra: Australian Green-house Office, 2000. 114p. (National carbon Accounting System Technical Report, 17).

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. **Geoderma**, v.105, p.21-48, 2002.

SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS - INPE. **Mapas SOS Mata Atlântica**. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br>. Acesso em: 13 jan. 2017.

SOUSA-NETO, E. R.; CARMO, J. B.; KELLE, M. et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in a gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic forest. **Biogeosciences**, v.8, p.733-742, 2011.

SOUSA, V.C; JOVITO, M. T.; CARNEIRO, J. R.; CAPPUCCI, L. J. Projeto de integração dos colaboradores da frente de trabalho com o Parque Ciência e Tecnologia USP. In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA - ANAP, 2008, Tupã - SP. **Anais....Tupã - SP**, 2008. (ISSN 1980-0827).

SOUZA, P.A.; MELLO, W.Z.; MALDONADO,J.; EVANGELISTA,H. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Química Nova**, v.29, n.3, p:471-476, 2006.

SOUZA, D.R.; SOUZA, A.L. Emprego do método BDq de seleção após a exploração florestal em floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.4, p.617-625, 2005.

STEINGROBE, B.; SCHMIDSH, H.; CLAASSEN, N. The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops-influence of soil conditions inside the ingrowth core on root growth. **Journal of PlantNutrition and Soil Science**, v.163, p.617-622, 2000.

STEININGER, M.K. Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v.16, p. 689-708, 2000.

STEELE, S.J.; GOWER, S.T.; VOGEL, J.G.; NORMAN, J.M. Root mass, net primary production and turnover in aspen, jack pine and black spruce forests in Saskatchewan and Manitoba, Canada. **Tree Physiology**, v. 17, p.577-587,1997.

STRUFFALDI-De-VUONO, Y. **Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva do Instituto de Botânica (São Paulo, SP)**.213p. 1985. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford, UK: Blacked Scientific Publications, 1979. 372p.

TATENO, R.; HISHI,T.; TAKEDA,H. Above and belowground biomass and net primary production in a cool temperate deciduous forest in relation to topographical changes in soil nitrogen.**Forest Ecology and Management**, v.193, p.297-306, 2004.

TESSAROLO,G. Choosing the right path for species distribution modeling. **Frontiers of Biogeography**, v.4, p.91-94, 2012.

THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.1351-1361,1993.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A.R. Measuring and monitoring carbon stocks at the Guaraqueçaba climate action project, Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORET CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING, 2002, Taiwan. **Proceedings...**Forestry Research Institute, 2002.p.98-115.

TIERNEY, G.L.; FAHEY, T.J. Fine root turnover in a northern hardwood forest: a direct comparison of the radiocarbon and minirhizotron methods. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 32, p.1692-1697, 2002.

TRESMONDI, A.C.C.L.; TOMAZ, E.; KRUSCHE, A.V.; Avaliação de pH e composição iônica das águas de chuva em Paulínia-SP. **Engenharia Ambiental**, v.2, n.1, p.70-84, 2005.

TRUMBORE, S.; COSTA, E.S.DA.; NEPSTAD, D.C.; CAMARGO, P.B.DE.; MARTINELLI, L.A.; RAY, D.; RESTOM, T.; SILVER, W. Dynamics of fine root carbon in Amazonian tropical ecosystems and the contribution of roots to soil respiration. **Global Change Biology**, v.12, p.217-229, 2006.

TURCIOS, M.M. **Biomassa de raízes em ilhas de mata de savanas de Roraima:** efeito da dimensão do fragmento, distribuição espacial e variáveis edáficas. 2015.53p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2015.

VALENTE, M.L.; SCHUMACHER, M.V.; CORRÊA, R.S.; ARAÚJO, E.F.; TRUBY, P. Quantificação de nutrientes na precipitação em umplântio de *Eucalyptusurophylla* x *Eucalyptus globulus* sub sp. *Maidenii*, Eldorado do Sul, RS. **Scientia Forestalis**, v.44,n.109, p.249-259, 2016.

VARGAS, R.; ALLEN, M.F. Dynamics of fine root, fungal rhizomorphs, and soil respiration in a mixed temperate forest: integrating sensors and observations. **Valdoso Zone Journal**, v.7, p.1055-1064, 2008.

VASCONCELOS, S.S.; ZARIN, D.J.; ARAÚJO, M.M.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CARVALHO, C.J.R.; STAUDHAMMER, C.L.; OLIVEIRA F.A. Effects of seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and quality in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.24, p.27-38, 2008.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal:** manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE, 2012.

VENDRAMI, J.L.; JURINITZ, C.F.; CASTANHO, C.T.; LORENZO, L.; OLIVEIRA, A.A. Litterfall and leaf decomposition in forest fragments under different successional phases on the Atlantic Plateau of the state of São Paulo, Brazil. **Biota Neotropica**, v.12,n.3, p.1-9, 2012.



VITOUSEK, P.M.; MATSON, P.A., VanCLEVE, K. Nitrogen availability and nitrification during succession: primary, secondary, and old-field seres. **Plant and Soil**, v.115, p.229-239, 1989.

VITOUSEK, P. Nitrogen losses from disturbed ecosystems: ecological considerations. In: ROSSWALL, T. (Ed.) **Nitrogen cycling in west African ecosystems**. Stockholm: SCOPE/UNEP, 1980. p.39-53.

VOGT, K.A.; VOGT, D.J.; BLOOMFIELD. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level, **Plant Soil**, v. 200, p.71-89, 1998.

VOGT, K.A.; BLOOMFIELD, J. Tree root turnover and senescence. In: LASSOIE., J.P.; HINCKLEY, T.M. (Eds.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1991. p.287-305.

VOGT, K.A.; VOGT, D. J.; PALMIOTTO, P.A.; BOON, P.; O'HARA, J.; ASBJORNSEN, H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. **Plant and Soil**, v.187, p.159-219, 1996.

WANG, Q.; OTSUBO, K. ; ICHINOSE, T. **Digital map sets for evaluation of land productivity**. Disponível em:  
<<http://www.iscgm.org/html4/pdf/forum2000/DrQinxueWang.pdf>> Acesso em: 02 abr. 2015.

WEST, J.; ESPELETA, J.; DONOVAN, L. Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris-Aristida stricta* savanna ecosystem. **Forest and Ecology Management**, v. 189, n.1/2, p.397-406, 2004.

WITHINGTON, J.M.; ELKIN, A.D.; BULAJ, B.; OLESIŃSKI, J.; TRACY, K.N.; BOUMA, T.J.; OLEKSYN, J.; ANDERSON, L.J.; MODRZYŃSKI, J.; REICH, P.B.; EISSENSTAT, D.M. The impact of material used for minirhizotron tubes for root research. **New Phytologist**, v.160, p.533-544, 2003.

WILLIAMS, M. R.; FISCHER, T.; MELACK, J. Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 31, n.2, p.207-217, 1997.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION GLOBAL ATMOSPHERE WATCH (WMO-GAW). **Manual for the GAW precipitation chemistry programme: guidelines, data quality objectives and standard operating procedures n°160**. Geneva, Switzerland: WMO, 2004..

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

YAVITT, J. B.; WRIGHT, S. J. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. **Biotropica**, v.33, p. 421-434, 2001.

YIN, X.; PERRY, J.A.; DIXON,R.K. Fine root dynamics and biomass distribution in a Quercus ecosystem following harvesting.**Forest Ecology and Management**, v.27, p.159-177, 1989.

ZHANG, Y.; FU, R.; YU, H.; DICKINSON, R. E.; JUAREZ, R. N.; CHIN, M.; WANG, H. A regional climate model study of how biomass burning aerosol impacts land-atmosphere interactions over the Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v.113, n.D14, p.1-13, 2008.

## APÊNDICE

Tabela A.1 – Concentrações medias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuvano sítio do PEFI para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.

Íon	Chuvoso-2015 (chuva=418,8 mm)			Seco-2015 (chuva=427,2 mm)			Chuvoso-2016 (chuva= 1022,7 mm)			Seco-2016 (chuva= 432,6 mm)		
	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
<b>PEFI</b>												
pH	8	5,36	5,19 - 5,54	21	5,92	4,88-6,95	19	5,72	4,53-6,89	13	6,10	4,41-7,78
H <sup>+</sup>	8	4,37	2,44-7,87	21	1,20	0,48-1,90	19	1,91	0,52-3,35	13	0,79	0,42-1,17
Na <sup>+</sup>	8	40,5	22,7-58,3	21	206	0,50-4,12	19	23,4	12,0-34,7	13	37,7	6,80-82,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8	35,5	14,5-56,5	21	8,00	1,90-14,0	19	8,90	5,60-12,2	13	39,5	7,00-85,9
K <sup>+</sup>	8	21,8	9,90-33,6	21	63,6	6,90-120	19	12,8	7,00-18,7	13	23,1	4,70-50,8
Ca <sup>2+</sup>	8	46,0	23,3-68,8	21	60,1	15,1-105	19	21,8	9,40-34,2	13	39,4	5,20-83,9
Mg <sup>2+</sup>	8	10,4	5,50-15,3	21	12,0	2,70-21,2	19	5,30	2,60-7,90	13	10,6	1,40-22,5
Cl <sup>-</sup>	8	66,5	32,8-100	21	376	8,30-761	19	64,4	29,6-99,1	13	74,8	13,6-163
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8	203	91,0-315	21	46,5	15,5-77,4	19	53,3	33,7-72,9	13	136	20,2-293
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8	40,9	10,5-61,4	21	59,0	11,5-108	19	23,3	13,5-33,1	13	46,6	8,00-101
CID	8	44,0	24,6-63,4	18	20,9	7,40-34,3	19	16,3	9,20-23,4	13	43,5	1,40-88,4
COD	8	139	64,2 -197	18	168	41,0-295	19	205	64,0-393	13	438	131-1060

n:número de amostras válidas. Mín-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas.

Tabela A.2 – Concentrações medias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuvano sítio da URCP para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.

Íon	Chuvoso-2015 (chuva= 165,5 mm)			Seco-2015 (chuva= 175,5 mm)			Chuvoso-2016 (chuva= 102,5 mm)			Seco-2016 (chuva= 158,2 mm)		
	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx
<b>URCP</b>												
pH	7	5,14	5,03-5,25	14	5,51	5,27-5,75	13	5,41	5,20-5,62	7	6,04	5,66-6,42
H <sup>+</sup>	7	7,24	5,32-9,11	14	3,09	1,37-4,80	13	3,89	5,81-10,03	7	0,91	0,48-2,28
Na <sup>+</sup>	7	43,0	13,6-72,8	14	50,4	25,9-74,8	13	36,7	11,3-62,1	7	30,5	19,2-41,9
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7	9,20	1,60-16,9	14	20,3	5,70-34,9	13	24,1	3,50-44,8	7	36,3	13,8-58,7
K <sup>+</sup>	7	40,3	2,10-78,6	14	21,4	10,7-32,0	13	19,9	5,20-34,7	7	50,8	21,1-80,5
Ca <sup>2+</sup>	7	25,4	8,5-42,2	14	18,4	9,40-27,3	13	10,0	1,80-18,2	7	24,9	7,40-42,4
Mg <sup>2+</sup>	7	15,9	3,10-28,8	14	5,40	2,70-8,20	13	6,40	1,80-11,1	7	11,0	3,60-18,5
Cl <sup>-</sup>	7	108	50,9-164	14	82,2	44,9-120	13	51,9	16,7-87,2	7	116	61,5-174
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7	82,1	32,1-132	14	106	45,5-166	13	170	47,6-292	7	49,1	19,9-78,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7	37,2	9,10-65,4	14	22,4	11,2-33,6	13	24,2	6,40-42,1	7	22,1	10,8-33,5
CID	7	13,6	5,80-33,2	13	21,0	9,30-32,6	13	28,1	8,00-48,2	7	53,9	15,3-92,5
COD	7	189	129-845	13	167	85,9-248	13	207	98,2-315	7	233	111-356

n:número de amostras válidas. Mín-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas.

Tabela A.3 - Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuvano sítio doPESM-Cn para os períodos chuvosos e secos de 2015 e 2016. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.

Íon	Chuvoso-2015 (chuva= 935,2 mm)			Seco-2015 (chuva= 538,0 mm)			Chuvoso-2016 (chuva= 1344,2 mm)			Seco-2016 (chuva= 412,0 mm)		
	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx	n	MPV ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Min-Máx
<b>PESM-Cn</b>												
pH	17	5,18	5,09 -5,26	19	5,75	5,65-5,86	24	5,53	5,40-5,66	22	5,75	5,58-5,91
H <sup>+</sup>	17	6,61	5,10-8,18	19	1,78	0,87-2,65	24	2,95	1,56-4,29	22	1,78	0,87-2,68
Na <sup>+</sup>	17	14,8	1,50-28,1	19	12,8	5,90-19,8	24	5,50	2,00-7,80	22	96,7	73,0-266
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	17	2,56	0,98-4,13	19	3,70	0,80-6,60	24	9,00	11,5-22,7	22	9,10	2,70-15,4
K <sup>+</sup>	17	1,58	0,44-2,71	19	3,80	1,70-5,90	24	1,30	0,50-9,80	22	19,0	13,0-51,0
Ca <sup>2+</sup>	17	11,5	6,79-16,3	19	4,90	2,80-7,00	24	2,40	1,30-3,10	22	35,6	17,1-88,3
Mg <sup>2+</sup>	17	2,95	1,45-4,44	19	16,2	9,50-41,9	24	1,30	0,80-1,60	22	7,60	2,90-18,0
Cl <sup>-</sup>	17	31,1	2,90-59,2	19	22,4	9,40-35,3	24	8,90	1,60-13,8	22	1,74	130-478
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17	8,70	3,50-13,9	19	13,0	5,40-20,5	24	20,1	9,10-27,5	22	34,5	8,80-60,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17	8,50	4,10-12,9	19	19,2	5,40-43,7	24	4,20	2,50-5,40	22	29,1	3,60-61,7
CID	17	20,4	12,0-28,7	19	13,9	5,80-21,9	24	12,4	7,90-16,8	22	11,1	3,70-18,5
COD	17	66,9	5,80-140	19	52,8	30,0-75,0	24	50,7	37,0-64,0	22	144	29,0-259

n: número de amostras válidas. Mín-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas.

Tabela A.4 - Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuvano sítio do PEFI para os mesmos períodos de medições de raízes finas. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.

Íon	PEFI														
	P1			P2			P3			P4			P5		
	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
		Chuva (mm)=*			Chuva (mm)=392,66			Chuva (mm)=139,72			Chuva (mm)=174,00			Chuva (mm)=346,12	
pH	2	5,49	5,37 - 5,59	9	5,54	4,36 - 6,70	12	5,93	4,51 - 7,34	8	6,05	4,25 - 7,84	10	5,75	3,92 - 7,57
H <sup>+</sup>	2	3,27	2,90 - 4,53	9	2,91	0,03 - 5,78	12	1,18	0,01 - 2,37	8	0,89	0,16 - 1,61	10	1,77	0,55 - 3,00
Na <sup>+</sup>	2	170	32,1 - 308	9	59,1	15,1 - 103	12	787	65,5 - 1638	8	45,4	14,1 - 75,7	10	38,5	16,9 - 60,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2	106	14,6 - 196	9	29,4	8,80 - 49,8	12	13,9	2,00 - 29,9	8	36,3	7,20 - 65,4	10	22,1	12,0 - 32,1
K <sup>+</sup>	2	58,2	29,3 - 86,9	9	22,4	10,8 - 34,0	12	240	6,20 - 474	8	37,2	14,7 - 59,6	10	22,5	10,6 - 34,4
Ca <sup>2+</sup>	2	272	168 - 713	9	59,1	17,2 - 100	12	156	14,2 - 327	8	56,5	4,30 - 108	10	39,0	17,7 - 60,0
Mg <sup>2+</sup>	2	56,6	13,3 - 126	9	11,1	5,00 - 17,2	12	36,3	1,30 - 73,9	8	14,6	6,70 - 22,6	10	10,1	4,40 - 15,7
Cl <sup>-</sup>	2	394	2,70 - 786	9	105	27,8 - 181	12	1447	147 - 3040	8	122	35,8 - 207	10	67,4	34,9 - 99,8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	430	200 - 660	9	181	75,0 - 287	12	79,9	11,1 - 171	8	141	28,9 - 253	10	161	92,5 - 228
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	239	103 - 581	9	40,0	18,1 - 61,8	12	198	0,40 - 397	8	61,6	27,1 - 96,1	10	46,1	25,1 - 67,2
CID	2	394	130-919	9	35,9	18,6-53,3	10	36,8	3,40-70,2	7	49,8	7,40-92,2	10	28,5	16,7-40,2
COD	2	1045	614 - 2705	9	118,9	47,1 - 190	10	527	60,0 - 993	7	313	103 - 523	10	372	150 - 594

\*Ausência desta medição. N:número de amostras válidas. Min-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas.

Tabela A.5 - Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuvano sítio da URCP para os mesmos períodos de medições de raízes finas. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.

Íon	URCP														
	P1			P2			P3			P4			P5		
	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
	Chuva (mm)=120,00			Chuva (mm)=36,02			Chuva (mm)=41,72			Chuva (mm)=109,95			Chuva (mm)=85,35		
pH	3	5,23	2,27 - 8,19	7	5,17	3,80 - 6,53	7	5,63	3,59 - 7,67	5	5,65	3,57 - 7,72	8	5,30	5,10 - 5,48
H <sup>+</sup>	3	6,05	2,47 - 9,61	7	7,50	4,57 - 10,4	7	3,80	1,34 - 6,25	5	3,96	0,79 - 7,12	8	6,16	3,04 - 9,29
Na <sup>+</sup>	3	101	40,2 - 161	7	43,7	10,4 - 76,9	7	129,2	53,1 - 205	5	131	44,2 - 218	8	59,7	4,90 - 114
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3	16,6	5,80 - 39,0	7	18,6	4,9 - 32,1	7	20,3	3,60 - 36,9	5	68,9	8,4 - 129	8	42,2	4,10 - 88,4
K <sup>+</sup>	3	110	25,7 - 194	7	20,0	3,7 - 36,2	7	37,9	17,3 - 58,4	5	65,4	30,3 - 100	8	29,6	3,90 - 63,0
Ca <sup>2+</sup>	3	59,4	27,4 - 91,4	7	27,9	9,60 - 46,0	7	33,6	16,4-50,6	5	52,5	20,1 - 84,8	8	17,0	1,30- 35,3
Mg <sup>2+</sup>	3	41,4	17,4- 65,3	7	10,4	0,40 - 20,3	7	9,89	5,20 - 14,5	5	16,1	6,20 - 26,0	8	10,3	0,20 - 20,0
Cl <sup>-</sup>	3	274	100 - 446	7	84,5	33,4 - 135	7	213	89,1 - 336	5	210	82,8 - 336	8	82,9	6,60 - 159
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3	184	97,5 - 270	7	103	22,1 - 270	7	163	67,2 - 259	5	337	118 - 556	8	286	23,7 - 548
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3	99,2	37,7 - 160	7	24,0	6,90 - 41,0	7	40,9	17,8 - 63,9	5	67,7	29,8 - 105	8	39,2	0,20 - 78,6
CID	3	200	96,0-304	7	48,0	8,80-105	7	29,7	12,8-46,8	5	59,8	18,9-101	8	45,9	11,7-80,1
COD	3	270	123 - 418	7	161	14,1- 307	7	270	139 - 400	5	456	178 - 734	8	295	114 - 475

N:número de amostras válidas. Min-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas.

Tabela A.6 - Concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos principais íons inorgânicos, exceto para o pH que é adimensional, presentes na água de chuva no sítio do PESM-Cn para os mesmos períodos de medições de raízes finas. Os valores são apresentados com 3 algarismos significativos.

Íon	PESM-cn														
	P1			P2			P3			P4			P5		
	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N	MPV	Min-Máx ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
	Chuva (mm)=224,11			Chuva (mm)=770,08			Chuva (mm)=268,32			Chuva (mm)=88,68			Chuva (mm)=713,04		
pH	8	5,11	4,96 - 5,24	13	5,25	5,16 - 5,32	11	5,51	5,37 - 5,64	4	5,41	5,13 - 5,68	16	5,50	5,32 - 5,66
H <sup>+</sup>	8	8,60	5,76 - 11,4	13	5,93	5,01 - 6,84	11	3,44	2,60 - 4,27	4	4,46	2,14 - 6,76	16	4,31	2,41 - 6,20
Na <sup>+</sup>	8	24,3	6,40 - 42,1	13	21,6	2,00 - 41,2	11	22,5	5,1 - 39,8	4	27,1	12,1 - 42,1	16	9,11	3,90 - 14,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8	16,9	5,40 - 28,4	13	2,23	0,30 - 4,70	11	3,44	0,60 - 6,20	4	22,8	0,50 - 46,2	16	3,59	0,70 - 6,30
K <sup>+</sup>	8	3,15	1,30 - 4,90	13	2,62	0,70 - 4,40	11	5,43	0,70 - 10,1	4	26,7	0,40 - 53,9	16	2,09	1,10 - 3,00
Ca <sup>2+</sup>	8	55,0	20,6 - 89,3	13	8,38	4,10 - 12,5	11	7,06	2,00 - 12,1	4	37,3	10,2 - 64,4	16	3,76	2,30 - 5,20
Mg <sup>2+</sup>	8	7,26	3,00 - 11,5	13	3,91	1,70 - 6,00	11	3,25	1,01 - 5,40	4	10,0	3,60 - 16,3	16	1,90	1,20 - 2,50
Cl <sup>-</sup>	8	49,7	13,8 - 85,5	13	45,2	3,40 - 86,8	11	36,0	6,30 - 65,6	4	52,2	16,7 - 87,5	16	15,8	4,90 - 26,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8	51,5	14,6 - 88,4	13	7,42	1,70 - 13,0	11	13,2	3,20 - 23,0	4	116	6,2 - 237,4	16	31,6	15,9 - 47,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8	49,2	17,7 - 81,0	13	5,79	2,90 - 8,60	11	8,39	3,40 - 13,3	4	30,5	7,10 - 53,8	16	6,63	4,20 - 8,90
CID	8	103	43,5-162	13	14,7	7,80-21,6	11	24,8	1,60-48,0	4	71,7	13,4-130	16	21,5	12,0-31,0
COD	8	109	74,0 - 142	13	89,7	19,0 - 199	11	56,9	23,2- 90,5	4	605	197 - 1012,	16	73,5	46,4 - 101

N:número de amostras válidas. Min-Máx refere-se às concentrações mínimas e máximas absolutas.



Tabela B.1: Matriz de correlação de Pearson (r) entre biomassa, decomposição de raízes finas e variáveis edáficas no sítio do PEFI.

Características	Biomassa	Decomp.	Umid. <sub>solo</sub>	T <sub>média solo</sub>	T <sub>média Ar</sub>	Prec. total	pH	Argila	Silte	Areia	M.O.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K	Ca	Mg
	(g)	(g)	(%)	(°C)	(°C)	(mm)	(KCl)	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )
Biomassa (g)	1	0,114	0,320	0,225	0,109	0,130	0,360	0,001	0,238	0,009	0,325	0,209	0,512	0,209	0,252	0,089	0,100
Decomp. (g)	0,114	1	0,327	0,151	0,104	0,202	0,178	0,430	0,447	0,444	0,495	0,212	0,104	0,266	0,207	0,248	0,286
Umid. <sub>solo</sub> (%)	0,320	0,327	1	0,207	-0,003	0,202	-0,003	0,498	0,301	0,486	0,141	0,200	0,089	0,223	0,118	0,246	0,234
T <sub>média solo</sub> (°C)	0,225	0,151	0,207	1	0,972	0,714	0,493	0,608	-0,001	0,543	0,387	0,446	0,232	0,340	0,083	0,342	0,379
T <sub>média Ar</sub> (°C)	0,109	0,104	-0,003	0,972	1	0,8	0,544	0,510	0,070	0,447	0,378	0,437	0,187	0,291	0,089	0,311	0,347
Prec. total (mm)	0,130	0,202	0,202	0,714	0,800	1	0,392	0,114	0,433	0,044	0,126	0,308	0,189	0,044	0,192	0,077	0,031
pH (KCl)	0,360	0,178	-0,003	0,493	0,544	0,392	1	0,357	0,077	0,331	0,352	0,303	0,144	0,697	0,44	0,763	0,661
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	0,001	0,430	0,498	0,608	0,510	0,114	0,357	1	0,755	0,991	0,746	0,316	0,001	0,508	0,367	0,199	0,521
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0,238	0,447	0,301	-0,001	0,070	0,433	0,077	0,755	1	0,809	0,751	0,006	0,154	0,426	0,528	0,298	0,393
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0,009	0,444	0,486	0,543	0,447	0,044	0,331	0,991	0,809	1	0,768	0,282	-0,006	0,512	0,4	0,439	0,519
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	0,325	0,495	0,141	0,387	0,378	0,126	0,352	0,746	0,751	0,768	1	0,328	0,322	0,432	0,336	0,275	0,417
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,209	0,212	0,200	0,446	0,437	0,308	0,303	0,316	0,006	0,282	0,328	1	0,4	0,044	0,347	0,134	0,258
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,512	0,104	0,089	0,232	0,187	0,189	0,144	0,001	0,154	-0,006	0,322	0,4	1	-0,007	0,324	0,114	0,176
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,209	0,266	0,223	0,340	0,291	0,044	0,697	0,508	0,426	0,512	0,432	0,044	-0,007	1	0,339	0,838	0,729
K (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,252	0,207	0,118	0,083	0,089	0,192	0,440	0,367	0,528	0,400	0,336	0,347	0,324	0,339	1	0,721	0,727
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,089	0,248	0,246	0,342	0,311	0,077	0,763	0,199	0,298	0,439	0,275	0,134	0,114	0,838	0,721	1	0,910
Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,100	0,286	0,234	0,379	0,347	0,031	0,661	0,521	0,393	0,519	0,417	0,258	0,176	0,729	0,727	0,910	1

Tabela B.2: Matriz de correlação de Pearson (r) entre biomassa, decomposição de raízes finas e variáveis edáficas no sítio da URCP.

Características	Biomassa	Decomp.	Umid. <sub>solo</sub>	T <sub>média solo</sub>	T <sub>média Ar</sub>	Prec. total	pH	Argila	Silte	Areia	M.O.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K	Ca	Mg
	(g)	(g)	(%)	(°C)	(°C)	(mm)	(KCl)	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )
Biomassa	1	0,476	0,250	0,063	0,063	0,444	0,234	0,670	0,653	0,644	0,339	0,334	0,513	0,044	0,006	0,209	0,001
Decomposição	0,476	1	0,007	0,001	0,105	0,368	0,071	0,489	0,483	0,467	0,134	0,170	0,284	0,063	0,161	0,001	0,141
Umid. <sub>solo</sub> (%)	0,250	0,007	1	0,302	0,374	0,000	0,243	0,338	0,348	0,316	0,381	0,597	0,529	0,138	0,520	0,145	0,007
T <sub>média solo</sub> (°C)	0,063	0,001	0,302	1	0,926	0,045	0,239	0,110	0,161	0,249	0,479	0,367	0,348	0,167	0,126	0,307	0,484
T <sub>média Ar</sub> (°C)	0,063	0,105	0,374	0,926	1	0,089	0,379	0,008	0,214	0,122	0,279	0,370	0,266	0,126	0,114	0,415	0,503
Prec. total (mm)	0,444	0,368	0,000	0,045	0,089	1	0,134	0,770	0,599	0,834	0,303	0,114	0,118	0,210	0,063	0,158	0,122
pH (KCl)	0,234	0,071	0,243	0,239	0,379	0,134	1	0,259	0,431	0,158	0,293	0,114	0,472	0,397	0,495	0,365	0,342
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	0,670	0,489	0,338	0,110	0,008	0,770	0,259	1	0,935	0,967	0,501	0,397	0,567	0,000	0,114	0,114	0,001
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0,653	0,483	0,348	0,161	0,214	0,599	0,431	0,935	1	0,856	0,371	0,349	0,564	0,105	0,202	0,174	0,105
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0,644	0,467	0,316	0,249	0,122	0,834	0,158	0,967	0,856	1	0,542	0,402	0,541	0,071	0,063	0,077	0,032
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	0,339	0,134	0,381	0,479	0,279	0,303	0,293	0,501	0,371	0,542	1	0,4147	0,640	0,381	0,330	0,063	0,032
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,334	0,170	0,597	0,367	0,370	0,114	0,114	0,397	0,349	0,402	0,415	1	0,545	0,138	0,452	0,286	0,274
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,513	0,284	0,529	0,348	0,266	0,118	0,472	0,567	0,564	0,541	0,640	0,545	1	0,187	0,303	0,319	0,089
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,044	0,063	0,138	0,167	0,126	0,210	0,397	0,000	0,105	0,071	0,381	0,138	0,187	1	0,000	0,000	0,161
K (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,006	0,161	0,520	0,126	0,114	0,063	0,495	0,114	0,202	0,063	0,330	0,452	0,303	0,000	1	0,275	0,567
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,209	0,001	0,145	0,307	0,415	0,158	0,365	0,114	0,174	0,077	0,063	0,286	0,319	0,000	0,276	1	0,806
Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,001	0,141	0,007	0,484	0,503	0,122	0,342	0,001	0,105	0,032	0,032	0,274	0,089	0,161	0,567	0,806	1

Tabela B.3: Matriz de correlação de Pearson (r) entre biomassa, decomposição de raízes finas e variáveis edáficas no sítio do PESM-Cn.

Características	Biomassa	Decomp.	Umid. <sub>solo</sub>	T <sub>média solo</sub>	T <sub>média Ar</sub>	Prec. total	pH	Argila	Silte	Areia	M.O.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K	Ca	Mg
	(g)	(g)	(%)	(°C)	(°C)	(mm)	(KCl)	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )	(mmolc dm <sup>-3</sup> )
Biomassa	1	0,155	0,071	0,245	0,130	0,274	0,032	0,122	0,281	0,001	0,089	0,251	0,114	0,130	0,017	0,055	0,002
Decomposição	0,155	1	0,237	0,118	0,089	0,200	0,095	0,622	0,400	0,381	0,508	0,285	0,303	0,467	0,515	0,467	0,423
Umid. <sub>solo</sub> (%)	0,071	0,237	1	0,032	0,001	0,045	0,173	0,432	0,435	0,470	0,494	0,542	0,110	0,431	0,611	0,629	0,633
T <sub>média solo</sub> (°C)	0,245	0,118	0,032	1	0,969	0,962	0,377	0,395	0,214	0,263	0,071	0,243	0,009	0,362	0,219	0,141	0,221
T <sub>média Ar</sub> (°C)	0,130	0,089	0,001	0,969	1	0,922	0,460	0,361	0,187	0,243	0,095	0,249	0,032	0,279	0,241	0,122	0,123
Prec. total (mm)	0,274	0,200	0,045	0,962	0,922	1	0,382	0,524	0,217	0,369	0,173	0,184	0,084	0,411	0,214	0,239	0,265
pH (KCl)	0,032	0,095	0,173	0,377	0,460	0,382	1	0,045	0,369	0,134	0,055	0,095	0,000	0,055	0,045	0,000	0,205
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	0,122	0,622	0,432	0,395	0,361	0,524	0,045	1	0,593	0,975	0,668	0,440	0,077	0,529	0,713	0,657	0,624
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0,281	0,400	0,435	0,214	0,187	0,217	0,369	0,593	1	0,754	0,499	0,564	0,205	0,192	0,658	0,418	0,475
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0,001	0,381	0,470	0,263	0,243	0,369	0,134	0,975	0,754	1	0,580	0,512	0,122	0,484	0,760	0,649	0,637
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	0,089	0,508	0,494	0,071	0,095	0,173	0,055	0,668	0,499	0,580	1	0,657	0,370	0,619	0,642	0,843	0,777
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,251	0,285	0,542	0,243	0,249	0,184	0,095	0,440	0,564	0,512	0,657	1	0,239	0,704	0,607	0,697	0,732
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0,114	0,303	0,110	0,009	0,032	0,084	0,000	0,077	0,205	0,122	0,370	0,239	1	0,071	0,315	0,202	0,261
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,130	0,467	0,431	0,362	0,279	0,411	0,055	0,529	0,192	0,484	0,619	0,704	0,071	1	0,444	0,711	0,685
K (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,017	0,515	0,611	0,219	0,241	0,214	0,045	0,713	0,658	0,760	0,642	0,607	0,315	0,444	1	0,761	0,655
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,055	0,467	0,629	0,141	0,122	0,239	0,000	0,657	0,418	0,649	0,843	0,697	0,202	0,711	0,761	1	0,857
Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,002	0,423	0,633	0,221	0,123	0,265	0,205	0,624	0,475	0,637	0,777	0,732	0,261	0,685	0,655	0,857	1

