

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Qualidade do Solo em Sistemas Agroflorestais na  
Mata Atlântica**

**Patricia Dias Tavares**

**2014**



**INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA  
MATA ATLÂNTICA**

**PATRICIA DIAS TAVARES**

*Sob a Orientação da Professora*  
**Eliane Maria Ribeiro da Silva**

*e Co-orientação da Pesquisadora*  
**Cristiane Figueira da Silva**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2014

634.99  
T231q  
T

Tavares, Patricia Dias, 1986-  
Qualidade do solo em sistemas agroflorestais na Mata  
Atlântica / Patricia Dias Tavares – 2014.  
112 f.: il.

Orientador: Eliane Maria Ribeiro da Silva.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia –  
Ciência do Solo, 2014.  
Bibliografia: f. 91-112.

1. Agrossilvicultura – Mata Atlântica – Teses. 2.  
Física do solo - Mata Atlântica – Teses. 3. Química do solo -  
Mata Atlântica – Teses. 4. Biologia do solo – Mata Atlântica  
– Teses. 5. Agricultura sustentável – Mata Atlântica – Teses.  
I. Silva, Eliane Maria Ribeiro da, 1956- II. Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**PATRICIA DIAS TAVARES**

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestra em Ciências,  
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2014.

---

Eliana Maria Ribeiro da Silva. Dra. Embrapa Agrobiologia  
(Orientadora)

---

Irene Maria Cardoso. Dra. UFV

---

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais, Gleusa e Eliotério, pela existência, pela condução da vida e pelos ensinamentos que proporcionaram esse momento. Ao meu filho Arthur, pela experiência de amor e dedicação incondicional. À minha irmã Gabriela, pelo companheirismo e momentos de cumplicidade.

À minha orientadora Eliane Maria Ribeiro da Silva, pela oportunidade e confiança para a realização do trabalho, além dos momentos de amizade. À minha Co-orientadora Cristiane Figueira da Silva, pela contribuição, companheirismo e dedicação durante a realização do trabalho. Ao professor Marcos Gervasio Pereira, pela oportunidade de desenvolver a pesquisa e pelos ensinamentos durante o curso de mestrado.

Agradeço imensamente à Comunidade Quilombola do Campinho da Independência, em especial ao Sr. Domingos, agricultor que maneja a área onde a pesquisa foi conduzida; e ao Vaguinho da Associação de Moradores, pela confiança durante o desenvolvimento do estudo.

Aos pesquisadores da Embrapa Agrobiologia que apoiaram o trabalho, Orivaldo José Saggin Júnior, Maria Elizabeth Fernandes Correia e Bruno José Rodrigues Alves. Aos técnicos Itamar Garcia, pelas ajudas no laboratório, dias de campo e conversas durante o café; ao Telmo pelas análises de solo, e ao Roberto, pela ajuda nas triagens de fauna do solo.

Aos colegas do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos, em especial ao Wanderlei, à Vanessa, Anderson e Gilsonley, pelas ajudas nas coletas e análises de solo.

Ao Daniel Carvalho e professor Emanuel de Araújo, pelo trabalho de campo, identificação do material botânico e sugestões sobre a parte de fitossociologia.

À Ana Carolina e Sam pela ajuda na elaboração do desenho esquemático das áreas.

Agradeço também à pesquisadora Janaina e ao professor André Nunes pelas sugestões nas análises estatísticas.

Ao Marquinhos e Vagner, funcionários da secretaria do programa, pelo apoio. Meu muito obrigada também aos colegas de turma, que no decorrer do curso auxiliaram nos momentos de estudo e desenvolvimento de trabalhos, principalmente durante as disciplinas.

Aos amigos do Núcleo de Agroecologia da UFRRJ (NIA-UFRRJ), que me incentivaram a cursar o mestrado e me apoiaram durante todo o curso, além de proporcionarem momentos de descontração e carinho.

Ao Robson, Cristhiane e Da Ros pelo apoio, amizade e incentivo nos estudos e na construção de um mundo melhor.

Agradeço aos amigos de perto ou de longe, aos novos e mais antigos, que me apoiaram imensamente durante esse pequeno percurso e que, de alguma forma, permitiram que esse trabalho fosse concluído. Em especial, Maria Gabriela, Hugo, Jeni, Mayara, Karla, Iris, Samira, Roseline, Rodrigo, Camila, Nana, Joana, Ro, Silvana, Esdras, Chicão, Ray, Marcos, Claudinha, Úrsula e Tamires.

Manifesto meu agradecimento também ao CPGA-CS, UFRRJ e Embrapa Agrobiologia pelo apoio; e à CAPES, pela bolsa de estudo e pelo suporte financeiro no decorrer da pesquisa.

## RESUMO

TAVARES, Patricia Dias. **Qualidade do solo em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A manutenção da qualidade do solo pode ser considerada um aspecto chave para a sustentabilidade da agricultura, podendo ser alcançada através de práticas agrícolas orientadas pelos princípios dos processos ecológicos. Nesse sentido, os Sistemas Agroflorestais (SAF) são considerados sistemas que, ao longo do tempo, fornecem mais estabilidade e resiliência às áreas produtivas em nível local, para os ambientes acima e abaixo do solo. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos do solo a partir da implantação de SAF (SAF-1 e SAF-2), comparando com mata nativa (Mata) e área de prática Agrícola Anual (AgAn) no município de Paraty, situado no estado do Rio de Janeiro (RJ). O estudo foi realizado no Quilombo do Campinho da Independência, localizado no distrito de Paraty-Mirim. Foram analisadas a composição florística e estrutura horizontal da comunidade vegetal das áreas SAF-1, SAF-2 e Mata, bem como os índices de diversidade, equitabilidade e similaridade dessas áreas. Para as análises dos atributos do solo, foram coletadas amostras de terra em duas diferentes épocas do ano, seca e chuvosa. Foi feita a caracterização química das áreas, bem como dos teores do carbono orgânico total do solo (COT) e suas frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4). A estabilidade dos agregados foi avaliada por meio dos índices de agregação, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG). Em seguida, foi analisada a atividade microbiana e os teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, e feito o levantamento das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (morfológica) considerando sua riqueza e diversidade, além da quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) na classe de agregados >2mm. Por último, foi estimada a abundância e diversidade da mesofauna do sistema solo-serrapilheira e da serrapilheira. As alterações que aconteceram na composição florística dos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) permitem inferir na ocorrência de um processo de regeneração natural, ocasionado pela interação com as outras áreas de floresta. O pH do solo das áreas estudadas apresenta valores baixos, que os caracteriza como ácidos, porém os valores dos demais nutrientes e o elevado teor de carbono orgânico total indicam que o manejo adotado nas áreas de SAFs e AgAn estão mantendo essas características próximas ao proporcionado pela Mata. Os solos das áreas analisadas apresentaram níveis de agregação semelhantes; e a cobertura vegetal, as diferentes formas de manejo e a variação sazonal estão influenciando a população de FMA. Foi possível observar também que os componentes biológicos (FMA, mesofauna edáfica e biomassa microbiana) foram mais sensíveis às variações de manejo e à sazonalidade do que os atributos químicos e físicos. O manejo agroflorestal e o adotado na área de agricultura não estão promovendo degradação da glomalina, quando se utiliza como referência os valores observados na Mata. De modo geral, o desenvolvimento dos SAFs está contribuindo para a formação de um agroecossistema que integra a área de agricultura, promovendo melhorias na qualidade do solo e conexão com as áreas florestais próximas.

**Palavras-chave:** Agroecossistemas. Atributos do solo. Recuperação ambiental.

## ABSTRACT

TAVARES, Patricia Dias. **Soil quality in agroforestry systems in Mata Atlântica**. 2014. 112 p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Institute of Agronomy, Soils Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

The maintenance of soil quality can be considered as a key aspect for the sustainability of agriculture, and it can be achieved through agricultural practices guided by the principles of ecological processes. In this way, agroforestry systems (SAFs) are considered systems that, over time, provide more stability and resilience to productive areas at a local level, for the environments above and below ground. The objective of this study was to evaluate soil properties starting from the deployment of SAF (SAF- 1 and SAF- 2), comparing it with a native forest (Mata) and annual agricultural area (Agan) in the municipality of Paraty, RJ. The study was conducted at the Quilombo do Campinho da Independência, located in the district of Paraty-Mirim. Floristic composition and horizontal plant community structure of SAF- 1, SAF- 2 and Mata areas were analyzed, as well as diversity indexes, equitability and similarity of these areas. For soil properties analysis, soil samples were collected in two different seasons, dry and rainy. Chemical characterization of the area was made, as well as the levels of total soil organic carbon (COT) and its oxidizable fractions (F1, F2, F3 and F4). Aggregate stability was evaluated by aggregation indexes, mean weighted diameter (DMP) and geometric mean diameter (DMG). The microbial activity in the soil and the contents of carbon and nitrogen from the microbial biomass of the soil was analyzed. The record of the species of arbuscular mycorrhizal fungi (morphological) was done by considering its richness and diversity, in addition to the quantification of protein related to glomalin (PSRG) in the class of aggregates > 2 mm and from the soil. Finally, the abundance and diversity of mesofauna of the soil-litter system and litter was estimated. The changes that happened in the floristic composition of the agroforestry systems (SAF- 1 and SAF- 2) allow the inference that a natural regeneration process is occurring, due to the interaction with other forest areas. The soil pH of the studied areas presents low values, which characterizes them as acids, but the amounts of the remaining nutrients and the high level of the total organic carbon indicates that the adopted management in the SAFs and in the AgAn areas are keeping these characteristics close to the Forest ones. The soils of the analyzed areas showed similar levels of aggregation. The vegetation, the different ways of management and seasonality are influencing the population of FMA. The biological components, FMA, soil mesofauna and microbial biomass were more sensitive to changes in management and to the seasonality than the chemical and physical attributes. The agroforestry management and the one adopted in the agriculture area are not promoting degradation of glomalin, when using as reference the values observed in the Mata. In a general way, the development of SAFs are contributing to the formation of an agroecosystem that integrates the area of agriculture promoting improvements in soil quality and connection to the nearby forests.

**Keywords:** Agroecosystems. Soil properties. Environmental recovery.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Comunidade Quilombola do Campinho da Independência no município de Paraty (RJ). Imagem de satélite obtida com o *Google Earth*. ..... 18
- Figura 2.** Eventos mensais de precipitação para o município de Paraty (RJ), durante o período de coletas no campo, de janeiro de 2012 a abril de 2013. Dados adquiridos através da página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação A619 Parati (RJ). ..... 19
- Figura 3.** Eventos mensais de temperatura para o município de Paraty (RJ), durante o período de coletas no campo, de janeiro de 2012 a abril de 2013. Dados adquiridos através da página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação A619 Parati (RJ). ..... 20
- Figura 4.** Vista parcial das áreas de estudo A (Sistema Agroflorestal 1 - SAF-1), B (Sistema Agroflorestal 2 - SAF-2), C (área de Agricultura Anual - AgAn) e D (Floresta Secundária - Mata), no município de Paraty (RJ). ..... 24
- Figura 5.** Desenho esquemático com a organização espacial das áreas de estudo, na Comunidade do Quilombo do Campinho da Independência, município de Paraty (RJ). 1 (Sistema agroflorestal 1 - SAF-1); 2 (Sistema agroflorestal 2 - SAF-2); 3 (área de Agricultura Anual - AgAn) e 4 - (Floresta Secundária - Mata). ..... 24
- Figura 6.** Extrator Berlese - Tullgren do Laboratório de Fauna do Solo da Embrapa Agrobiologia utilizado no estudo. .... 32
- Figura 7.** Estoque de nutrientes e biomassa da serrapilheira, na época seca para as áreas SAF-1, SAF-2 e Mata, no município de Paraty (RJ). O eixo 1 explica 53,08% da variância, e o eixo 2 explica 46,91%. .... 48
- Figura 8.** Estoque de nutrientes da serrapilheira e biomassa da serrapilheira, na época chuvosa, para o SAF-1, SAF-2 e Mata, no município de Paraty (RJ). O eixo 1 explica 73,71% da variância, e o eixo 2 explica 26,28%. .... 48
- Figura 9.** Número de esporos em áreas de Mata, Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e Agricultura Anual (AgAn) referentes a duas épocas, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre épocas e mesma letra minúscula não diferem entre áreas pelo teste T de Bonferroni a 5%. ..... 63
- Figura 10.** Número médio de espécies de FMA em áreas de Mata, Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e Agricultura Anual (AgAn) referentes a duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre épocas e mesma letra minúscula não diferem entre áreas pelo teste T de Bonferroni a 5%. ..... 64
- Figura 11.** Dendrograma da ocorrência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nas áreas Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata) agrupados através da análise de Cluster pela distância euclidiana no município de Paraty (RJ). Diagrama A - época seca; Diagrama B - época chuvosa. .... 67
- Figura 12.** Frequência relativa dos grupos da mesofauna do solo para as quatro áreas, Mata, Agricultura Anual (AgAn) e Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) para a época chuvosa, no município de Paraty (RJ). ..... 73



- Figura 13.** Frequência relativa dos grupos da mesofauna do solo para as quatro áreas, Mata, Agricultura Anual (AgAn) e Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) para a época seca, no município de Paraty(RJ). ..... 73
- Figura 14.** Diagramas da análise multivariada de agrupamento *Cluster* com base na ocorrência dos grupos da comunidade da fauna do solo dos Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, no município de Paraty (RJ). Diagrama A - época chuvosa; Diagrama B - época seca. .... 77
- Figura 17.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre os diferentes grupos taxonômicos e os estoques de nutrientes e biomassa da serrapilheira em relação às áreas avaliadas (Sistemas Agroflorestais (SAF e SAF2), Mata e Agricultura anual (AgAn)) para a época seca, no município de Paraty(RJ). Valor de explicação Eixo 1 (68,92%) e Eixo 2 (31,07%). ..... 85
- Figura 18.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre os diferentes grupos taxonômicos e os estoques de nutrientes e biomassa da serrapilheira em relação às áreas avaliadas (Sistemas Agroflorestais (SAF e SAF2), Mata e Agricultura Anual (AgAn)) para a época chuvosa, no município de Paraty(RJ). Valor de explicação Eixo 1 (95,08%) e Eixo 2 (4,19%). ..... 86
- Figura 19.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre atributos químicos (pH, Mg, Ca, Al, P), índices de agregação (DMP e DMG), C, N e atividade da Biomassa microbiana do solo (C-BMS, N-BMS e RBS), quocientes microbianos (qCO<sub>2</sub>, qMIC) e teores das diferentes frações da proteína do solo e dos agregados relacionada à glomalina (PSRG) (GFE, GT, GFEA, GTA), em relação às áreas avaliadas (SAF-1, SAF-2, Mata e AgAn) para a época seca, no município de Paraty (RJ). ..... 87
- Figura 20.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre atributos químicos (pH, Mg, Ca, Al, P), índices de agregação (DMP e DMG), C, N e atividade da Biomassa microbiana do solo (C-BMS, N-BMS e RBS), quocientes microbianos (qCO<sub>2</sub>, qMIC) e teores das diferentes frações da proteína do solo e dos agregados relacionada à glomalina (PSRG) (GFE, GT, GFEA, GTA), em relação às áreas avaliadas (SAF-1, SAF-2, Mata e AgAn) para a época chuvosa, no município de Paraty (RJ). ..... 88

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> Composição das espécies implantadas nos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), na Comunidade Quilombola do Campinho da Independência, município de Paraty (RJ). .....  | 22 |
| <b>Tabela 2.</b> Valores médios de temperatura do solo nas áreas Sistema Agroflorestal 1 e 2 (SAF-1 e SAF-2), área de Agricultura anual (AgAn) e Floresta Secundária (Mata), em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). .....  | 29 |
| <b>Tabela 3.</b> Espécies levantadas no ano de 2013 nos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), na Comunidade do Campinho da Independência, município de Paraty, (RJ). .....   | 35 |
| <b>Tabela 4.</b> Índices fotossiológicos do Sistema Agroflorestal (SAF-1) na Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ). .....  | 40 |
| <b>Tabela 5.</b> Índices fotossiológicos do Sistema Agroflorestal (SAF-2) na Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ). .....  | 41 |
| <b>Tabela 6.</b> Parâmetros fotossiológicos do fragmento florestal (Mata) na Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ). .....  | 42 |
| <b>Tabela 7.</b> Índices de diversidade, equitabilidade e similaridade das áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e da Mata da Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ). .....  | 44 |
| <b>Tabela 8.</b> Estoque de nutrientes e biomassa da serrapilheira a partir da fração folhas em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e Mata, no município de Paraty (RJ). .....   | 47 |
| <b>Tabela 9.</b> Propriedades químicas do solo em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para as épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty (RJ). .....  | 50 |
| <b>Tabela 10.</b> Propriedades químicas do solo em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para as épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty (RJ). .....   | 52 |
| <b>Tabela 11.</b> Frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4) em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para as épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty (RJ). .....   | 55 |
| <b>Tabela 12.</b> Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em área de Sistemas Agroflorestais SAF (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em diferentes épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ). .....  | 57 |
| <b>Tabela 13.</b> Respiração basal do solo (RBS), carbono (C-BMS) e nitrogênio (N-BMS) da biomassa microbiana, quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano do solo ( $qMIC$ ) em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, referentes a duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). ..... | 60 |
| <b>Tabela 14.</b> Frequência relativa de espécies de FMA em área de Sistemas Agroflorestais SAFs (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). .....  | 66 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 15.</b> Proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG), em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, nas épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty (RJ). .....  | 69 |
| <b>Tabela 16.</b> Número total de indivíduos coletados, grupos taxonômicos e porcentagem relativa da mesofauna do solo coletados em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). ..... | 71 |
| <b>Tabela 17.</b> Número total de indivíduos coletados, grupos taxonômicos e porcentagem relativa da mesofauna do solo coletados em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). ..... | 74 |
| <b>Tabela 18.</b> Densidade total da mesofauna edáfica, riqueza média e índices ecológicos nos Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1, SAF-2), área de Agricultura Anual (AgAn) e Floresta Secundária (Mata) no município de Paraty (RJ). .....  | 76 |
| <b>Tabela 19.</b> Número total de indivíduos coletados nas áreas SAF-1, SAF-2 e Mata, grupos taxonômicos e porcentagem relativa da mesofauna da serrapilheira coletados em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). .....  | 79 |
| <b>Tabela 20.</b> Número e porcentagem dos indivíduos coletados na serrapilheira em áreas de Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1, SAF-2) e mata para os diferentes grupos funcionais da fauna do solo, município de Paraty (RJ). .....  | 81 |
| <b>Tabela 21.</b> Densidade dos grupos taxonômicos, riqueza e índices ecológicos de diversidade (Shannon) e equabilidade (Pielou) em serrapilheira para áreas de sistemas agroflorestais 1 e 2 (SAF-1, SAF-2) e Mata em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ). .....   | 83 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 1  |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                   | 3  |
| 2.1. Mata Atlântica e Contexto Local.....                        | 3  |
| 2.2. Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas .....                | 4  |
| 2.3. Sistemas Agroflorestais e os Serviços Ecosistêmicos .....   | 7  |
| 2.4. Qualidade do Solo e Sistemas Agroflorestais .....           | 9  |
| 2.5. Atributos Químicos do Solo .....                            | 10 |
| 2.5.1. Fertilidade do solo.....                                  | 10 |
| 2.5.2. Carbono orgânico e suas frações oxidáveis .....           | 11 |
| 2.6. Atributos Físicos do Solo .....                             | 12 |
| 2.6.1. Estabilidade dos agregados e índices de agregação .....   | 12 |
| 2.7. Atributos Biológicos do Solo .....                          | 12 |
| 2.7.1. Fauna do solo .....                                       | 12 |
| 2.7.2. Matéria orgânica e biomassa microbiana do solo .....      | 14 |
| 2.7.3. Fungos micorrízicos arbusculares .....                    | 15 |
| 2.7.4. Glomalina.....  | 16 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....                                       | 18 |
| 3.1. Área de Estudo .....  | 18 |
| 3.1.1. Localização .....   | 18 |
| 3.1.2. História do Quilombo do Campinho da Independência.....    | 21 |
| 3.1.3. Caracterização dos sistemas agroflorestais .....          | 22 |
| 3.2. Caracterização da Vegetação.....                            | 25 |
| 3.2.1. Amostragem .....  | 25 |
| 3.2.2. Estrutura horizontal.....                                 | 25 |
| 3.2.3. Diversidade, equibilidade e similaridade .....            | 27 |
| 3.2.4. Classificação da Vegetação.....                           | 28 |
| 3.3. Coleta e Análise da Serrapilheira .....                     | 28 |
| 3.4. Amostragem e Análise dos Dados de Solo.....                 | 28 |
| 3.4.1. Coleta das amostras do solo .....                         | 28 |
| 3.4.2. Temperatura do solo.....                                  | 28 |
| 3.5. Análises Químicas, Físicas e Microbiológicas.....           | 29 |
| 3.5.1. Caracterização química .....                              | 29 |
| 3.5.2. Frações oxidáveis do carbono orgânico .....               | 29 |
| 3.5.3. Estabilidade dos agregados .....                          | 29 |
| 3.5.4. Avaliação da atividade e biomassa microbiana do solo..... | 30 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5.5. Avaliação da densidade e diversidade de FMA por meio das características morfológicas dos esporos ..... | 30 |
| 3.5.6. Quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) no solo e em classes de agregados..... | 31 |
| 3.6. Mesofauna do Solo .....   | 31 |
| 3.6.1. Amostragem e extração.....  | 31 |
| 3.6.2. Grupos taxonômicos e funcionais e índices de diversidade.....   | 32 |
| 3.7. Tratamento Estatístico dos Dados .....  | 33 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 34 |
| 4.1. Composição Florística e Fitossociológica dos Sistemas Agroflorestais e da Mata.....                       | 34 |
| 4.1.1. Composição florística dos sistemas agroflorestais.....  | 34 |
| 4.1.2. Estrutura horizontal dos sistemas agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e da mata.....                         | 36 |
| 4.1.3. Diversidade, equibilidade e similaridade dos sistemas agroflorestais e da mata..                        | 44 |
| 4.1.4. Estoque de nutrientes e biomassa de serrapilheira.....  | 46 |
| 4.2. Propriedades Químicas do Solo.....  | 48 |
| 4.3. Frações Oxidáveis do Carbono Orgânico .....   | 54 |
| 4.4. Agregação do Solo .....   | 56 |
| 4.5. Biomassa Microbiana do Solo.....  | 58 |
| 4.6. Fungos Micorrízicos Arbusculares .....  | 62 |
| 4.6.1. Número de esporos e espécies de fungos micorrízicos arbusculares.....                                   | 62 |
| 4.6.2. Composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares .....                                       | 64 |
| 4.6.3. Análise multivariada de agrupamento.....  | 67 |
| 4.7. Proteína do Solo Relacionada à Glomalina .....  | 68 |
| 4.8. Mesofauna do Solo e da Serrapilheira.....   | 71 |
| 4.8.1. Mesofauna do solo .....   | 71 |
| 4.8.2. Mesofauna da serrapilheira .....  | 79 |
| 4.9. Análise Multivariada .....  | 87 |
| 5. CONCLUSÕES .....  | 89 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 90 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 91 |

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo de sistemas produtivos apontado, cada vez mais, como um desafio para manter a produtividade conciliada à conservação do meio ambiente. Tal desafio se amplia quando se considera a condição de grande parte dos ecossistemas florestais – em sua maioria, extremamente fragmentados e imersos em matrizes agrícolas. Na Mata Atlântica, essa é uma realidade que levanta preocupações, no que tange às formas de conservação do ecossistema, e manutenção e ampliação das áreas remanescentes, tentando conservar não só a sua estrutura, mas também a sua funcionalidade. A efetividade dos ecossistemas florestais pode ser avaliada através de serviços ecossistêmicos proporcionados por esses ambientes. Os serviços podem ser comprometidos de acordo com os diferentes tipos de manejo, adotados dentro e no entorno dessas áreas.

Muitos remanescentes de Mata Atlântica encontram-se protegidos através da criação de Unidades de Conservação (UC), que apresenta diferentes restrições de uso e manejo de acordo com cada categoria disposta no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). A região onde o município de Paraty(RJ) está inserido é considerada importante para a conservação da Mata Atlântica, pois possui grandes áreas remanescentes, sendo boa parte sob a forma de UC. A criação dessas unidades, associada à construção da BR-101 no final da década de 1960 e início da década de 1970, culminou em uma série de conflitos com as populações originárias que residiam na região. Esses conflitos vão desde as disputas territoriais de origem fundiária, proporcionados pela especulação imobiliária, até aos que impedem essas populações de desenvolverem suas atividades produtivas, como a agricultura.

Atualmente, muitas comunidades tradicionais residem dentro e/ou no entorno das UCs, o que gera um desafio para a sua manutenção, a exemplo da comunidade Quilombola do Campinho da Independência, localizada no interior da área de proteção ambiental do Caiuruçu, município de Paraty(RJ). Essa comunidade teve origem a partir de três mulheres negras escravas que ganharam a terra de seu senhor, e através de processos de luta e resistência, conseguiram a titulação da terra, que possui organização em núcleos familiares (LIMA, 2009). A comunidade se organiza através da associação de moradores e tenta se inserir em processos que possam garantir fonte de renda e consequente manutenção das famílias na localidade. A agricultura é uma dessas fontes de renda, pois garante a soberania e segurança alimentar das famílias, além de proporcionar a comercialização do excedente tanto na cidade quanto no abastecimento do restaurante comunitário, ponto turístico da região.

A agricultura é considerada uma atividade que pode promover impactos dentro da UC, sendo assim imposta restrição para o seu desenvolvimento à comunidade. Nesse sentido, como forma de harmonizar a relação entre os Sistemas Agrícolas e a UC, foi proposto a algumas comunidades da região a implantação de unidades demonstrativas de Sistemas Agroflorestais (SAFs), através do projeto PRODETAB - Paraty, desenvolvido por meio da parceria entre a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Embrapa Agrobiologia e IDACO. Desde então, foram implantadas unidades demonstrativas nessa comunidade com base no trabalho comunitário e na cooperação entre os grupos e equipes das outras instituições envolvidas. Desde a implantação das unidades demonstrativas, essa é uma prática bastante disseminada, tanto dentro da comunidade, quanto em outros agrupamentos na região, fazendo com que as áreas de SAF aumentassem consideravelmente.

Os SAFs são reconhecidos por conciliar a produção agrícola e florestal, aliado à conservação dos recursos naturais. Esses sistemas são considerados estruturalmente e funcionalmente mais complexos, comparados a culturas individuais ou monoculturas de árvores (NAIR et al., 2008a e b). Nos SAFs, espécies agrícolas são manejadas em consórcio

com espécies arbóreas (NAIR et al., 2008a e b). Nesse sentido, a incorporação do componente arbóreo ao sistema produtivo, de modo geral, promove benefícios como: a fixação de N<sub>2</sub> atmosférico, ciclagem de nutrientes (pela presença de raízes mais profundas), acúmulo de matéria orgânica, e manutenção da fauna do solo e da qualidade química, física e biológica (TONRQUIST et al., 1999; SOUZA et al., 2012).

Apesar do conhecimento sobre os benefícios proporcionados pelos SAFs, estudos são importantes para tentar avaliar o quanto estes contribuem para a prestação de serviços ambientais. A qualidade do solo pode ser considerada um serviço ambiental, pois ajuda a regular vários processos, tais como a infiltração e qualidade da água, e armazenamento de carbono, sendo essencial para a manutenção dos sistemas produtivos. Desse modo, SAFs são considerados formas de manejo que conseguem proporcionar melhorias na qualidade do solo e conexão entre áreas de remanescentes florestais.

A avaliação da qualidade do solo é feita através da seleção de algumas de suas propriedades, que são consideradas como atributos indicadores (DORAN & PARKIN, 1994). Um bom indicador deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e barata mensuração (DORAN & ZEISS, 2000). O uso integrado dos atributos químicos, físicos e biológicos como indicadores, destacada a sua indissociabilidade, torna possível entender mecanismos e processos associados ao estabelecimento e manutenção da qualidade do solo, correlacionados às diferentes formas de manejo.

O manejo dos agroecossistemas exerce influência direta sobre a biodiversidade e manutenção dos serviços ambientais em diferentes compartimentos. Na Comunidade Quilombola do Campinho, além da incorporação dos SAFs aos agroecossistemas, também são mantidas pequenas áreas com sistemas agrícolas tradicionais, cujo manejo é baseado na rotação, pousio e consórcios entre culturas, como inhame, mandioca, milho, banana, feijão, entre outros insumos. O arranjo espacial entre esses sistemas geralmente faz com que os mesmos fiquem uns próximos aos outros, e com entorno de floresta. Nesse sentido, atenção especial deve ser dada para a matriz agrícola formada, sua contribuição para a manutenção da biodiversidade, bem como a promoção de serviços ambientais.

Nesse contexto, o presente estudo se baseou na hipótese de que a constituição de agroecossistema formado por áreas de SAFs e Agricultura Anual associados a ecossistemas florestais contribuem para manter a qualidade edáfica semelhante à área de floresta. Nesse viés, o objetivo deste estudo foi avaliar atributos do solo sob Sistemas Agroflorestais, comparando com Mata Nativa e área de prática Agrícola Anual no município de Paraty (RJ).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Mata Atlântica e Contexto Local

A Mata Atlântica é considerada um *hotspot* mundial de biodiversidade, ou seja, constitui em uma das áreas mais ricas e mais ameaçadas do planeta, sendo também reserva da biosfera da UNESCO (RBMA, 2014), considerada Patrimônio Nacional pela Constituição Federal de 1988 (SOS MATA ATLÂNTICA, 2012).

Esse bioma foi submetido à intensa exploração até chegar aos níveis de fragmentação encontrados hoje. Isso se deve, em grande parte, ao processo de colonização e exploração econômica dos recursos naturais iniciado no Brasil a partir do século XV, com a chegada dos colonizadores europeus. Desde então, todas as riquezas naturais dispostas nesse ambiente começaram a ser exploradas demasiadamente, sem qualquer preocupação com o seu esgotamento ao longo dos anos. Assim, com a exaustão de algumas áreas mais próximas do litoral, novas áreas eram “desbravadas”, empurrando a exploração para o interior do país e deixando para trás um enorme legado de devastação ambiental (DEAN, 1996).

Desse modo, muitas das áreas remanescentes encontram-se altamente fragmentadas, inseridas em matrizes agrícolas e em regiões com alta densidade populacional, como a região sudeste. Dados disponibilizados pela ONG SOS Mata Atlântica em 2014, relatam que atualmente restam apenas 8,5% da cobertura original, considerando remanescentes florestais acima de 100 hectares. Somados todos os fragmentos de floresta nativa acima de três hectares, estima-se um valor de 12,5%.

Em algumas regiões do país, consideráveis áreas de Mata Atlântica se encontram sob a forma de Unidades de Conservação (UCs). Nas regiões do litoral sul do estado do Rio de Janeiro, Vale do Paraíba do estado do Rio de Janeiro, e litoral norte do estado de São Paulo existe um grande número de Unidades de Conservação que compõem o Mosaico de Unidades de Conservação da Região da Serra da Bocaina (Mosaico Bocaina), que abrange uma área de 221.754 hectares, com participação de nove municípios. São 10 Unidades de Conservação e suas zonas de amortecimento (CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA, 2007).

A conservação da biodiversidade dos ecossistemas florestais é necessária e tem sido preocupação mundial, norteando diversas pesquisas (LIU et al., 2012; TSCHARNTKE et al., 2011; TORNQUIST et al., 1999). Esses ambientes são responsáveis por muitos benefícios, entre eles, os chamados serviços ecossistêmicos (BARAL et al., 2014; KALABA et al., 2013; BHAGWAT et al., 2008; FOLEY et al., 2005). Esses serviços são responsáveis por dar suporte à manutenção da vida a partir de processos como a formação do solo, a ciclagem de nutrientes e produção primária. Os benefícios podem ser destacados em três escalas: A primeira seria a promoção dos serviços, como a produção de alimentos e fibras, manutenção do ciclo hídrico, dos ciclos biogeoquímicos e dos recursos genéticos. A segunda pode ser apresentada como a regulação desses serviços através de processos ecossistêmicos, proporcionando equilíbrio climático, regulação hídrica e purificação da água. Por último, podem ser destacados os serviços culturais, que são imateriais e propiciados pelos ecossistemas, como os vinculados às questões religiosas e espirituais, à recreação e ao ecoturismo, inspiração, educação e patrimônio cultural (POWLSON et al., 2011).

Assim, apesar da relevância desses serviços, os mesmos se encontram ameaçados pelo desaparecimento alarmante dos ecossistemas florestais (FAO, 2010). Além de estarem vinculados à conservação da biodiversidade, também têm estreita relação com as formas de manejo dos agroecossistemas e gestão da agrobiodiversidade. Desse modo, formas de manejo que respeitam a dinâmica de ecossistemas naturais podem contribuir com a manutenção e a promoção dos serviços ecossistêmicos (JACKSON et al., 2012).



Ao mesmo tempo, apesar da importância de se conservar a biodiversidade, seja nos eco ou nos agroecossistemas, existem muitos conflitos pelo uso da terra, em especial, no interior e no entorno das UCs. Nestas áreas, o uso só é permitido legalmente, sendo bastante restritivo. Por consequência, ocorrem muitos conflitos, ocasionados devido ao fato de muitas populações, principalmente tradicionais e de agricultores familiares, terem sua base econômica na agricultura e no extrativismo. Logo, a garantia da integridade da biodiversidade dentro e no entorno das UCs é uma das principais questões para a gestão dessas unidades, já que essas áreas também são responsáveis por processos mantenedores da biodiversidade protegida pela unidade. Entretanto, o cuidado com as UCs não pode se dar em função das comunidades que ali vivem, pois essas constituíram formas e mecanismos de sobrevivência em interação com a biodiversidade local, promovendo o que vem sendo chamado de sociobiodiversidade, levando à necessidade de estabelecer formas de convivência entre as comunidades e os dispositivos legais previstos em cada categoria das Unidades de Conservação.

No município de Paraty, existe grande proporção de áreas florestadas, que desempenham importante papel na conectividade desses fragmentos florestais aos grandes fragmentos do litoral norte de São Paulo (Plano Diretor Municipal, 2010). O município apresenta mais de 80% de suas áreas florestadas, sendo 70% com elevado grau de conservação (Plano Diretor Municipal, 2010). Atualmente, a cidade possui uma população de 37.533 mil habitantes, dos quais 73,76% residem no meio urbano, enquanto que 26,24% residem no meio rural (IBGE, 2010). De acordo com o senso agropecuário realizado em 2006, o município possui 491 estabelecimentos agropecuários, que compreendem uma área total de 24.238 ha, representando aproximadamente 26% da extensão territorial do município. Dos estabelecimentos agropecuários, a maioria possui uma área individual inferior a 50 ha, que os caracteriza como familiares.

De acordo com os dados do IBGE, pode-se inferir que, apesar da população urbana ser representada por um número maior de habitantes, existe uma população no meio rural exercendo atividades agropecuárias que pode ser considerada importante para a economia e abastecimento local. Uma das peculiaridades de Paraty é a presença de unidades produtivas características da produção familiar - sejam assentamentos rurais, comunidades tradicionais (caíças, indígenas, quilombolas) ou proprietários -, que de alguma forma dependem da produção agropecuária para geração/complementação de sua renda. Apesar disso, o município apresenta alguns entraves para o desenvolvimento agrícola, como as disputas por terras devido ao enorme potencial turístico que estimula a especulação imobiliária. Há também inúmeras restrições do ponto de vista ambiental, visto que a maioria das áreas se encontra dentro ou no entorno das Unidades de Conservação (SIMÕES et al., 2011; CONTI & ANTUNES, 2012; ANDRADE et al., 2013; FERRAZ & LOBÃO, 2013). Muitas das atividades econômicas desenvolvidas na região foram marcadas pela degradação ambiental. Diante da grande área ainda florestada e das pressões existentes, fica evidente que a área da qual o município de Paraty faz parte compreende um importante espaço para a conservação de remanescentes da Mata Atlântica, o que aumenta a necessidade de estabelecer estilos de agricultura em conformidade com a produção agrícola e a conservação ambiental.

## **2.2. Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas**

Como é sabido, o desenvolvimento da agricultura, por muito tempo, esteve vinculado à degradação ambiental (PRIMAVESI, 2002; TSCHARNTKE et al., 2011), uma vez que para que se pudesse fazer agricultura era necessário desmatar imensas áreas de floresta. No Brasil essa foi uma das práticas que ajudaram a promover o estado de degradação encontrado em muitos dos biomas, inclusive a Mata Atlântica (Dean, 1996). Essa prática, principalmente nos

ecossistemas tropicais, levou à exaustão dos solos, à simplificação dos ambientes e como consequência a novos desafios para a manutenção da agricultura (TSCHARNTKE et al., 2011). Muitos são os prejuízos provocados por essa visão reducionista do sistema agrícola, porém algumas pesquisas vêm apresentando formas de manejo que conseguem promover certa harmonia com o ecossistema, reestabelecendo algumas relações ecológicas e contribuindo para melhoria da qualidade do solo e aumento da produção vegetal (SOUZA et al., 2012; TSCHARNTKE et al., 2011; GLIESSMAN, 2001; NAIR, 1998).

O solo é considerado fundamental não só para manter a produção de alimentos, mas também para a prestação de outros serviços essenciais ao futuro da humanidade, como a promoção e regulação dos aspectos culturais dos serviços ecossistêmicos. No entanto, os solos podem ser considerados não renováveis na escala de tempo de várias gerações humanas, o que gera a necessidade de realização de pesquisas que ofereçam bases para práticas de manejo e, assim, evitem danos irreversíveis aos solos, na busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis (POWLSON et al., 2011).

Dados publicados em 2011 pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentos (FAO), apresentam uma avaliação global do estado dos recursos dos solos do planeta, revelando que 25% estão degradados. Tal fato traduz o resultado de práticas agrícolas, que apesar de nos últimos 50 anos terem apresentado aumento da produção alimentar, têm contribuído para degradar os recursos do solo, água e a diversidade genética natural, dos quais a produção alimentar é dependente. O mesmo relatório alerta ainda que, em decorrência do crescente aumento da população mundial, a demanda de produção de alimentos aumentará em média 70% até 2050.

Alguns autores (GLIESSMAN, 2001; CARDOSO et al., 2003) afirmam que as práticas agrícolas ditas convencionais não consideram a dinâmica ecológica dos agroecossistemas, e que têm como base seis componentes que formam a sua “espinha dorsal”, a saber: 1) Cultivo intensivo do solo; 2) Monocultura; 3) Irrigação; 4) Aplicação de fertilizantes inorgânicos; 5) Controle químico de pragas; e 6) Manipulação genética de plantas cultivadas. Esses componentes, utilizados de forma integrada, podem resultar em diferentes formas de degradação do solo, como a salinização, alagamento, compactação, contaminação por agrotóxicos, declínio na qualidade de sua estrutura, perda de fertilidade e erosão. Dessa forma, a perda da capacidade produtiva do solo se torna inevitável, principalmente pela erosão, que ocorre quando a terra torna-se exposta à ação do vento e da chuva, fazendo com que as camadas mais superficiais sejam removidas e comprometendo, assim, a produção agrícola.

Nas regiões tropicais, esses processos, a depender do manejo, são ainda mais intensos, uma vez que, diferente do que ocorre nas regiões temperadas, a fertilidade dos solos é baseada na ciclagem de nutrientes. Assim, a maior parte dos nutrientes encontra-se armazenada na biomassa, e a manutenção da fertilidade do solo está relacionada aos teores de matéria orgânica. Com isso, a destruição da cobertura florestal e da matéria orgânica do solo promove a remoção da maior parte do estoque de nutrientes dos ecossistemas, diminuindo a fertilidade e, conseqüentemente, a capacidade produtiva do solo (SOUZA et al., 2012; CARDOSO et al., 2003; PRIMAVESI, 2002).

É urgente a necessidade de se estabelecer práticas agrícolas e/ou formas de agricultura que conciliem a produção de alimentos e a recuperação/manutenção dos recursos naturais (FAO, 2011; MAGCALE-MACANDOG et al., 2010; KNOKE et al., 2009). Isso pode levar à manutenção da produtividade das áreas cultiváveis a longo prazo, através de uma produção sustentável de alimentos. Para alguns autores (GLIESSMAN, 2001; SOUZA et al., 2012), essa sustentabilidade pode ser alcançada através de práticas agrícolas orientadas pelos princípios dos processos ecológicos que ocorrem nas áreas produtivas e nos contextos mais amplos dos quais elas fazem parte.

Para tanto, além do sistema produtivo em si, é importante a atenção para a paisagem onde esse sistema está inserido (KUMARASWAMY & KUNTE, 2013). Nessa perspectiva, as áreas agrícolas que mantêm conectividade entre os remanescentes florestais têm maior capacidade de auxiliar a conservação da biodiversidade, em comparação às áreas onde falta essa conectividade e complexidade de *habitat* (KUMARASWAMY & KUNTE, 2013; BENNETT et al., 2006; BENTON et al., 2003; LOREAU et al., 2003). Além disso, a conservação da diversidade de espécies arbóreas nativas ainda tem potencial para alavancar serviços ecológicos, como a manutenção da qualidade do solo. Existem práticas que fortalecem a diversidade de espécies e a restauração dos serviços dos ecossistemas, como a reabilitação de fragmentos florestais, estabelecimento de matas ciliares, o uso de Sistemas Agroflorestais, e a conservação de fragmentos florestais remanescentes que ajudam na formação de corredores e estabelecem conectividade na paisagem (NAIR, 2008).

Nas regiões tropicais, onde a maior parte dos remanescentes florestais se encontra imersos em matrizes agrícolas, é importante analisar a qualidade da matriz para a manutenção de processos ecológicos na escala de paisagem. A conservação no nível de paisagem não está relacionada apenas à existência da atividade agrícola, mas, além disso, em como a agricultura é conduzida. Logo, estilos de agricultura mais sustentáveis apresentam maiores possibilidades de promover a conservação da biodiversidade. Isso se dá através de estratégias "ganha-ganha", onde a produção de alimentos é conciliada à conservação e promoção da biodiversidade. Essa perspectiva permite a constituição de metapopulações, metacomunidades e estabelecimento de processos de paisagem que ajudam a determinar a biodiversidade. Assim, esse processo ocorre quando há a constituição de paisagens integradas através de agroecossistemas "amigos" da biodiversidade e fragmentos florestais de alta biodiversidade, e, nesse contexto, os Sistemas agrícolas de pequena escala representam a melhor opção para alcançar esses objetivos, pois os agricultores adotam estratégias que consideram as relações ecológicas e a extratificação dos ambientes, garantindo melhor produção (PERFECTO et al., 2009; PERFECTO & VANDERMEER, 2010).

As estratégias que priorizem a intensificação ecológica podem adotar uma abordagem definida como compartilhamento de área ou "áreas em favor da vida natural", na qual as áreas produtivas são estabelecidas em conjunto ou integradas com áreas naturais (áreas conservadas), ao invés da segregação entre as mesmas, ou seja, a separação de áreas naturais e produtivas (PHALAN et al., 2011a). Os Sistemas Agroflorestais são uma forma de compartilhamento, pois permitem a associação entre culturas agrícolas de ciclo curto e espécies arbóreas perenes, promovendo interações ecológicas, bem como favorecendo alguns processos na escala da paisagem. A consolidação de paisagens com essas "áreas amigas" podem servir para a conservação da biodiversidade e da agrobiodiversidade.

As pequenas unidades produtivas possuem elevado potencial para a adoção dessa estratégia, com respectiva promoção e manutenção da biodiversidade nativa e serviços ecossistêmicos (ROSSET, 1999). Além disso, a consolidação desses mosaicos produtivos são mais adequados para a implementação de iniciativas para a conservação de espécies nativas e seu manejo, com vistas à geração de renda, que poderá ter como base o conhecimento tradicional (SINGH & SUREJA, 2008; ABBONA et al., 2007; CHALMERS & FABRICIUS, 2007; Reed et al., 2007).

Nesses sistemas, a biodiversidade é parte do processo produtivo. Jackson et al. (2012) observam que as contribuições proporcionadas pela agrobiodiversidade podem ser analisadas sob dois aspectos, ou duas escalas: o próprio sistema produtivo e a paisagem. No sistema produtivo, ela auxilia na sustentação da produção agrícola e agropecuária, no processo de ciclagem de nutrientes, na supressão de patógenos, no controle de pragas e na nutrição humana (REMANS et al., 2011; LETOURNEAU et al., 2011; JARVIS et al., 2011; GEIGER et al., 2010; JACKSON et al., 2007). Na escala de paisagem, os benefícios vão desde

melhorar a qualidade da água, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a polinização e o controle de pragas, até a proteção dos ecossistemas florestais próximos (GEIGER et al., 2010; JACKSON et al., 2007; TSCHARNTKE et al., 2005). Desse modo, o desafio para a intensificação ecológica é estimular a adoção de sistemas agrícolas resistentes e ricos em biodiversidade, que promovam a sustentabilidade, bem como apoiem a geração de renda para os agricultores, protegendo os habitats florestais dos efeitos adversos da agricultura.

Jackson et al. (2012) estudaram oito paisagens agrícolas em diferentes regiões do mundo que tinham como base a intensificação ecológica dos sistemas produtivos, bem como a participação social na construção dessas experiências. Duas das experiências analisadas ocorreram no Brasil, sendo uma delas baseada no manejo agroflorestal em áreas de Mata Atlântica na Zona da Mata Mineira, apontando que o uso desses sistemas contribui para o estabelecimento de paisagens agrícolas mais biodiversas, como foi discutido.

### **2.3. Sistemas Agroflorestais e os Serviços Ecossistêmicos**

As formas de manejo e uso das terras podem ser determinantes para a manutenção da agrobiodiversidade e, conseqüentemente, para a qualidade do solo. Assim, sistemas agrícolas como os Sistemas Agroflorestais (SAF) vêm sendo apontados como adequados para o manejo e uso das terras das regiões tropicais (CARDOSO et al., 2003; MENEZES et al., 2008; CASTRO et al., 2009, FRANCO et al., 2002; JOSE, 2009; KNOKE et al., 2009; NAIR et al., 2009; NEGASH et al., 2012; MBOW et al., 2014). Entre os vários conceitos para definir o que são os SAFs, o Centro Mundial Agroflorestal os descreve como “sistemas dinâmicos de manejo dos recursos naturais, com bases ecológicas que, por meio da integração de árvores em unidades produtivas e em paisagens agrícolas, contribuem para a diversificação e sustentação da produção, promovendo benefícios sociais, econômicos e ambientais para os que usufruem da terra em todos os níveis”. Segundo NAIR et al. (2008), essencialmente todas as definições referem-se a sistemas de uso da terra nos quais espécies perenes (árvores, arbustos, palmeiras e bambus) são intencionalmente utilizadas e manejadas em associação com cultivos agrícolas e/ou animais.

Para esses autores, esse conceito parte da premissa de que os sistemas de uso da terra que são estruturalmente e funcionalmente mais complexos, comparados a monoculturas agrícolas ou arbóreas, resultam em maior eficiência quanto ao uso dos recursos (água, luz, nutrientes), maior diversidade estrutural e conseqüentemente rigorosa ciclagem de nutrientes (NAIR et al., 2008). Assim, em escala de tempo, esses sistemas que, acima e no solo, fornecem mais estabilidade e resiliência em nível local, podem vir a oferecer conectividade com florestas e outras características à paisagem, em níveis locais e de bacias hidrográficas (NAIR et al., 2009; SOUZA et al., 2012).

A maior estabilidade e resiliência observada no solo se deve à contribuição do componente arbóreo em vários aspectos fundamentais para a promoção de melhorias na qualidade do solo, como fixação de N<sub>2</sub>, ciclagem de nutrientes (pela presença de raízes mais profundas), aporte de matéria orgânica, e manutenção da fauna e da qualidade química, física e biológica do solo (ROUSSEAU et al., 2012; TSCHAENTKE et al., 2012; TONRQUIST et al., 1999). A manutenção da cobertura vegetal fornece entrada contínua de matéria orgânica ao sistema, a partir do aporte de resíduo acima do solo ou da decomposição radicular. Esse aporte contínuo de biomassa é fundamental para a manutenção da qualidade do solo em agroecossistemas tropicais, em grande parte, porque fornece proteção ao solo contra a erosão, por exemplo, com a permanência da serapilheira; fornece alimentos para organismos; melhora a estrutura do solo; e contribui para a retenção da umidade e a ciclagem de nutrientes (SOUZA et al., 2012; KIBBLEWHITE et al., 2008; TIAN et al., 2007).

Cada vez mais, os SAF são reconhecidos como prestadores de serviços ao ecossistema, promovendo benefícios ambientais e geração de bens econômicos, a partir do trabalho multifuncional da paisagem (MBOW et al., 2014; NEGASH et al., 2014; JOSE, 2009; KNOKE et al., 2009). Com isso, atualmente esses sistemas são vistos a partir de uma abordagem integrada da ciência aplicada, que tem potencial para o manejo agrícola e a mitigação de problemas ambientais, encontrados tanto em nações desenvolvidas quanto nas que se encontram em desenvolvimento (NAIR et al., 2009).

No ano de 2013, a FAO lançou um documento indicando que o incentivo à implantação de agroflorestas deve constar na agenda política dos países. Nesse sentido, os autores sugerem que os Sistemas Agroflorestais podem desempenhar um papel estratégico para ajudar muitos países a cumprir os principais objetivos do desenvolvimento nacional, especialmente aqueles relacionados à erradicação da pobreza, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. Em muitas cidades e vilas, os seus resultados positivos podem ser vistos em alimentos, lenha e gestão de bacias hidrográficas, contribuindo para um sistema de alimentação mais resiliente. No Brasil, no ano de 2006, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução 369 de 28 de março, reforçou a flexibilização do uso das APPs pela agricultura familiar, representando um avanço significativo na adequação da legislação sobre as áreas protegidas (LIMA, 2014), o que desencadeou novas formas de encarar o uso destas e de pensar o papel dos SAFs. Nota-se que o reconhecimento dos SAFs enquanto sistemas que podem conciliar a conservação ambiental, com a promoção da segurança e soberania alimentar, além da geração de renda, vem aumentando tanto na esfera política quanto entre os órgãos voltados ao meio ambiente.

Em contrapartida, não há indicação de um desenho de SAF a ser seguido, pois não existe um único modelo para a implantação, ou seja, esse deve ser desenvolvido de acordo com as particularidades de cada ambiente, levando-se em conta as necessidades do agricultor e o objetivo para o qual o sistema será implantado (MDA, 2008; CARDOSO et al., 2001). Isto porque as formas e a diversidade dos “desenhos agroflorestais” acompanham a diversidade de ecossistemas, já que os mesmos têm como base os processos de sucessão que ocorrem naturalmente em determinado local. Tal abordagem pode ser denominada “modelo análogo” (GLIESSMAN, 2001).

A partir do reconhecimento dos SAFs na promoção dos serviços ecossistêmicos, muitos estudos vêm sendo realizados, principalmente a partir da década de 1980, sobre os benefícios dos SAF para a promoção da sustentabilidade ambiental e social (CASTRO et al., 2009; NAIR, 1998). Os estudos científicos, entretanto, não podem relegar a segundo plano o conhecimento tradicional acumulado na prática dessa atividade, já que os SAFs são formas de uso antigas e praticadas por populações originárias de muitos países (NAIR, 1998).

Dentre as principais linhas de estudos sobre os SAF, encontram-se o sequestro de carbono, a conservação da biodiversidade e a manutenção e/ou recuperação da qualidade dos solos (JOSE, 2009).

Froufre et al. (2011), na intenção de avaliarem o potencial dos Sistemas Agroflorestais para o estoque de carbono, analisaram o carbono do solo, da serrapilheira, biomassa arbórea e herbácea de SAFs multietratos em comparação com capoeiras em diferentes estágios de recuperação, Sistemas Agrícolas convencionais e pastagem, na região do Alto Vale do Ribeira, em São Paulo (SP). Os autores concluíram que existe grande potencial da prática agroflorestal para o sequestro de carbono, o que deve ser acompanhado de melhorias nos tratamentos silviculturais.

Souza et al. (2012) estudaram diferentes aspectos influenciados pelos Sistemas Agroflorestais voltados para o cultivo do café na Zona da Mata Mineira, tais como: o critério de seleção das espécies arbóreas pelos agricultores; a contribuição do café agroflorestal para a biodiversidade regional e conservação das espécies arbóreas; como esses sistemas ajudam a

estabelecer condições microclimáticas para a produção de café e os efeitos sobre as características químicas e biológicas do solo em comparação com o plantio de café a pleno sol e fragmentos florestais de referência, compreendendo como está a qualidade da serrapilheira das espécies selecionadas nos SAFs. Neste estudo, os autores chegaram à conclusão de que as áreas de SAF podem contribuir com a conservação de espécies nativas, além de auxiliarem na moderação da temperatura, ao contrário do café a pleno solo, o que poderia ajudar as áreas agrícolas diante das previsões de aumento de temperatura em um cenário de mudanças climáticas.

Quanto à influência desse sistema de manejo sobre a qualidade do solo, os estudos adotam diferentes enfoques, que podem ser analisados de forma integrada e que estão correlacionados, sendo estes do ponto de vista químico, físico e biológico do solo (SOUZA et al., 2012; TSCHARNTKE et al., 2011; XAVIER et al., 2011; LIMA et al., 2010; MENEZES et al., 2008; SILVEIRA et al., 2007; ASSIS JUNIOR, 2003; FRANCO et al., 2002; TORNQUIST et al., 1999).

Autores como SILVEIRA et al. (2007), por exemplo, estudaram a contribuição dos SAFs com base no aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira. Esses autores desenvolveram estudos em áreas de SAFs regenerativos e análogos (SAFRAS), com diferentes composições: mínimo (sistema mais simplificado, bananal enriquecido), absoluto (sistema adensado e diversificado) e modificado (o mesmo do anterior com adubação química sintética), no município de Paraty(RJ). Os resultados desse estudo mostraram que o SAFRA mínimo foi o sistema que apresentou maior estoque de serrapilheira (32,4 Mg ha<sup>-1</sup>) e também maiores teores de nutrientes. O nutriente mais aportado foi N, quando desconsiderados o C e H. O manejo dos SAFRAS com base na poda contribuiu com aumento da ciclagem de nutrientes, o que proporcionou aumento dos teores de nutrientes na serrapilheira. Esses autores consideraram esses sistemas promissores para o restabelecimento das funções ecológicas, quando comparados à capoeira e à monocultura de banana.

Em outra perspectiva, LIMA et al. (2010) estudaram a densidade e a diversidade da macrofauna invertebrada e a sua relação com os atributos químicos do solo em cinco agroecossistemas diferentes (sistema ecológico com três anos de adoção, Sistemas Agroflorestais com seis e dez anos de adoção, agricultura de corte e queima, e floresta nativa), no município de Esperantina. Para esses autores, o manejo agroflorestal favoreceu a ocorrência de organismos que contribuem diretamente com a modificação da estrutura do solo por meio da sua movimentação, os quais são denominados engenheiros do ecossistema (LAVELLE et al., 1997). A conclusão do estudo foi que os SAFs propiciam melhores características químicas do solo e aumentos na abundância e riqueza da macrofauna invertebrada do solo.

#### **2.4. Qualidade do Solo e Sistemas Agroflorestais**

O solo pode ser entendido como um sistema aberto complexo onde ocorrem processos químicos, físicos e biológicos, que são altamente influenciados pelos processos de uso e manejo. A manutenção de sua qualidade pode ser considerada um aspecto chave para a sustentabilidade da agricultura (KASCHUK et al., 2010), definida como o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (ZILLI et al., 2003; BRUGGEN & SEMENOV, 2000). Tal conceito refere-se à capacidade do solo de sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas, dos animais e do próprio ser humano (PEZARICO et al., 2013; SPOSITO & ZABEL, 2003; DORAN & PARKIN, 1994).

Quando o termo qualidade do solo começou a ser utilizado, seu conceito era diretamente relacionado à fertilidade do solo, e esta vista quase sempre associada a um solo

quimicamente rico e à capacidade de promover a produção agrícola. No entanto, esse processo evoluiu para um entendimento mais amplo, no qual percebe-se que não basta o solo apresentar apenas riquezas químicas para ser considerado um solo de qualidade (ZILLI et al., 2003).

A estimativa de atributos edáficos relacionados à sua funcionalidade possibilita monitorar indiretamente a qualidade do solo (REINERT, 1998) e sua utilização como indicadores importantes para o planejamento e a avaliação de práticas de manejo que sejam ecológica e economicamente viáveis (ARSHAD & MARTIN, 2002; DORAN & ZEISS, 2000). Para ser considerado um bom indicador, essas propriedades devem se mostrar sensíveis às variações de manejo, relacionadas com as funções desempenhadas pelo solo, capazes de elucidar os processos do ecossistema, sendo compreensível e útil para o agricultor e, de preferência, de fácil e barata mensuração (DORAN & ZEISS, 2000).

Desse modo, alguns componentes das propriedades físicas, químicas e biológicas podem ser avaliados na tentativa de utilizá-los como indicadores dessas propriedades. Assim, é possível comparar diferentes formas de manejo e a influência destes sobre as propriedades do solo, na perspectiva de buscar formas de manejo que sejam mais compatíveis com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, bem como que não influenciem de forma negativa nos ecossistemas naturais e em processo de regeneração. Nessa perspectiva, nos últimos anos, diferentes estudos vêm adotando algumas propriedades do solo como indicadores de sua qualidade, em resposta às diferentes formas de manejo.

Silva (2006) estudou os indicadores de qualidade do solo em SAF em Paraty (RJ), onde foi avaliado o reflexo do manejo agroflorestral de duas unidades demonstrativas (SAF-1 e SAF-2) na regeneração de atributos do solo, como as características químicas, a atividade microbiana e a estrutura da comunidade de macro e mesofauna, em comparação com um mandiocal e um fragmento de mata secundária. Nesse estudo, os indicadores biológicos foram capazes de apresentar resposta ao manejo agroflorestral mais rapidamente do que as características químicas do solo.

Pezarico et al. (2013) estudaram atributos físicos (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e textura) e microbiológicos (carbono da biomassa microbiana do solo, atividade microbiana e quocientes metabólico e microbiano) de dois SAFs (SAFA e SAFB), comparados a outros sistemas de produção (Ervat em sistema silvicultural e Lavoura com soja), e uma área sob vegetação natural (Mata), no município de Amambai (MS). Nessa pesquisa, as variáveis que melhor descreveram os aspectos de qualidade do solo foram porosidade total e microporosidade, quando relacionadas aos atributos físicos do solo. Em relação aos atributos microbiológicos, destacaram-se os valores analisados de carbono da biomassa microbiana e de carbono orgânico. Para esses autores, a diversidade de espécies dos Sistemas Agroflorestrais contribuiu, de forma significativa, para a melhoria da qualidade do solo, quando comparados aos sistemas de monocultivo (Lavoura e Ervat).

## **2.5. Atributos Químicos do Solo**

### **2.5.1. Fertilidade do solo**

Em ecossistemas florestais tropicais, a fertilidade do solo é baseada na ciclagem de nutrientes, oriundos da biomassa vegetal. Logo, a substituição das áreas de floresta por sistemas agropecuários mais simplificados colocam os solos em situação de vulnerabilidade, alterando suas características químicas, físicas e biológicas. Essas alterações podem apresentar diferentes impactos, que serão mais ou menos intensos de acordo com as propriedades originais do solo, o histórico, bem como o tempo e a intensidade de uso (PERIN

et al., 2003). Tais mudanças, por sua vez, interferem nos processos que garantem a disponibilidade de nutrientes para a produção vegetal.

Um dos fatores mais afetados pela remoção da vegetação natural é o conteúdo de C do solo, que, com o passar do tempo, pode influenciar a disponibilidade de nutrientes, comprometendo sua fertilidade. As principais alterações decorrentes desse processo são a alta saturação por alumínio, baixa disponibilidade de nutrientes, matéria orgânica do solo (MOS) e capacidade de troca de cátions (Mendonça et al., 2008). Iawata et al. (2012) estudaram o efeito dos Sistemas Agroflorestais com diferentes tempos de adoção e da agricultura de corte e queima sobre os atributos químicos do solo em áreas de cerrado do estado do Piauí. Os autores relataram que os Sistemas Agroflorestais promoveram a melhoria dos indicadores químicos do solo, levando ao aumento do pH, redução da saturação por alumínio, aumento dos teores de nutrientes e maior estabilidade da qualidade química do solo sob efeito da sazonalidade. Aliado a isso, o aporte de material orgânico e a grande biodiversidade dos Sistemas Agroflorestais aumentaram os teores de carbono e nitrogênio, garantindo maior permanência deste material e maiores efeitos benéficos promovidos pela matéria orgânica. Segundo os autores, a estrutura e a composição dos Sistemas Agroflorestais permitiram uma maior distribuição dos nutrientes do solo ao longo do perfil, devido à estratificação das espécies e enraizamentos diferenciados.

Em outro estudo semelhante, Souza et al. (2008) avaliaram atributos físicos e químicos dos solos de sete parcelas com cinco anos e meio de uso agroflorestal, avaliados na camada de 0-0,2 m, que foram comparados aos atributos dos respectivos solos de florestas remanescentes adjacentes no norte do Estado de Rondônia. Esses autores observaram que os valores de pH e os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram mais altos nos plantios agroflorestais quando comparados aos solos das florestas remanescentes. Os teores de matéria orgânica, P e K do solo nos Sistemas Agroflorestais mantiveram-se com valores semelhantes aos da floresta, cinco anos e meio depois de sua instalação, indicando que esses sistemas preservaram algumas propriedades químicas do solo durante o período considerado.

### **2.5.2. Carbono orgânico e suas frações oxidáveis**

Alguns estudos apontam perdas consideráveis no conteúdo de C com o desmatamento e cultivo dos solos (MARIN et al., 2009; PORTUGAL, 2009; ROSA et al., 2003). As diferentes frações de carbono orgânico do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas distintas, e a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica (PORTUGAL, 2009). Além das mudanças na quantidade de matéria orgânica em solos cultivados, também têm sido observadas mudanças na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e labilidade (RANGEL et al., 2008; BLAIR et al., 1995).

As frações oxidáveis do C do solo são denominadas de F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, a graus decrescentes de oxidação com concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico (CHAN et al., 2001). As frações F1 e F2 estão associadas à disponibilidade de nutrientes e com a formação de macroagregados, sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo e altamente correlacionada com a fração leve livre da MOS (MAIA et al., 2007). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas com compostos de maior estabilidade química e massa molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS. Logo, o entendimento sobre a dinâmica dessas frações diante das diferentes formas de uso do solo assume relevância, uma vez que irão indicar se há equilíbrio entre as mesmas, o que é fundamental para a saúde do agroecossistema.

Barreto et al. (2008) estudaram o fracionamento químico e físico da matéria orgânica do solo sob diferentes formas de uso (Mata Atlântica; Cacao (*Theobroma cacao*) e Pastagem (*Brachiaria decumbens*) em uma microbacia no sul da Bahia. Esses autores constataram que a



substituição da mata pelo cultivo do cacau no sistema cabruca (sub-bosque) ou pela pastagem não alterou os teores de carbono orgânico total (COT) e de suas frações na área estudada. Alguns autores relatam que em áreas manejadas com práticas conservacionistas como pastagem bem manejada, florestas plantadas e Sistemas Agroflorestais, podem ser reduzidas as perdas de carbono, através da manutenção e até aumento da matéria orgânica do solo (MOS) (CORBONE et al., 2013; FONTES, 2006; BARRETO et al. 2006; D'ANDREA et al., 2004; FREIXO et al., 2002; FREITAS et al., 2000).

## **2.6. Atributos Físicos do Solo**

### **2.6.1. Estabilidade dos agregados e índices de agregação**

A boa agregação é fundamental para o condicionamento do solo e desenvolvimento dos sistemas agrícolas. A conversão de áreas florestais em áreas agrícolas e as formas intensivas de manejo têm proporcionado grandes danos à agregação do solo (MATOS et al., 2008, LOSS et al., 2009). A matéria orgânica é um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados; assim, fatores que afetem o seu conteúdo causam deterioração da estrutura do solo (LOSS et al., 2010; WENDLING et al., 2005; Haynes & Swift, 1990), e outras propriedades físicas igualmente serão afetadas, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água (BAYER & MIELNICZUK, 1999). Além disso, cabe ressaltar a importância dos organismos na promoção da agregação do solo. Um exemplo prático, nesse contexto, é a ação dos fungos micorrízicos arbusculares, que auxiliam no processo tanto pela formação de hifas quanto na produção de glomalina (BERBARA et al., 2012). A glomalina se constitui como importante componente do carbono orgânico do solo, contribuindo para a sua agregação e estruturação, com a consequente redução dos processos erosivos (BERBARA et al., 2012).

Logo, a degradação dos agregados causa ao solo diminuição das condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e o deixa vulnerável ao aumento da erosão hídrica. Algumas formas de manejo que mantém a cobertura do solo e a diversidade de culturas contribuem para a conservação e restauração de sua estrutura, tais como a rotação de culturas, o sistema de pousio, o plantio direto, Sistemas Agroflorestais e silvipastoris (MENDONÇA et al., 2001; CAMPOS et al., 1999). Alguns estudos têm mostrado o papel dos Sistemas Agroflorestais em contribuir com a melhoria na qualidade física do solo e, conseqüentemente, com o processo de agregação (SILVA, et al., 2011; CARVALHO et al., 2004;).

Para a avaliação da estabilidade dos agregados, são utilizados alguns índices, como o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), os quais foram propostos por Kemper & Chapil (1965). O DMP é maior à medida em que a porcentagem de agregados aumenta, e mostra a estabilidade da estrutura frente aos processos desagregantes da água, podendo indicar também o grau de susceptibilidade frente à erosão hídrica (CASTRO FILHO et al, 1998; BERTOL et al., 2008). Já o DMG apresenta uma estimativa dos agregados de maior ocorrência.

## **2.7. Atributos Biológicos do Solo**

### **2.7.1. Fauna do solo**

A fauna do solo pode ser descrita como o conjunto de animais invertebrados que colonizam o ambiente formado pela camada de resíduos orgânicos superficiais (serrapilheira ou palhada), e o solo propriamente dito (DONNAGEMMA et al., 2010). Esses animais são muito sensíveis às mudanças que ocorrem no ambiente, sejam as naturais, sazonais, ou as

propiciadas por manejos agrícolas (CASTANHO et al., 2012; DONNAGEMA et al., 2010; BARETTA et al., 2003). Com isso, a composição das comunidades da fauna pode ser utilizada como indicador biológico de qualidade do solo, voltado para caracterizar o estado de degradação de determinada área e acompanhar a evolução de um processo de recuperação ambiental (DONNAGEMA et al., 2010).

Existe grande diversidade entre os organismos da fauna, com conseqüente influência em processos importantes tanto para o solo quanto para o funcionamento do ecossistema (MANHÃES et al., 2013; MOÇO et al., 2010; MOÇO et al., 2009). Tais organismos desempenham diferentes funções, atuando direta ou indiretamente sobre a disponibilidade de recursos para outros organismos, através da promoção de modificações no ambiente físico e químico. Alguns deles, como as minhocas, formigas e cupins, devido à habilidade de interferir sobre a dinâmica da matéria orgânica, modificar o ambiente físico em que vivem e influenciar na estrutura do solo e na dinâmica da água, são denominados engenheiros do ecossistema (LAVELLE et al., 2006).

De modo geral, a fauna edáfica apresenta ligação com a ciclagem de nutrientes; decomposição da matéria orgânica; melhoria de atributos físicos como agregação, porosidade; infiltração de água e funcionamento biológico do solo (CASTANHO et al., 2012; MANHÃES et al., 2013). Os organismos podem ser divididos por classes de tamanho, que influenciam a sua capacidade de deslocamento e determinam a sua influência sobre a ciclagem de nutrientes. Assim, é feita a seguinte classificação: microfauna (diâmetro corporal < 0,2 mm), mesofauna (diâmetro corporal entre 0,2 e 2,0 mm) e macrofauna do solo (diâmetro > 2,0 mm).

A mesofauna tem como principal função atuar indiretamente na decomposição da matéria orgânica e, ao que tudo indica, controlar a população de microrganismos (HÖFER et al., 2001; BECK et al. 1997). De acordo com o exposto, esses organismos vêm sendo utilizados como indicadores de qualidade do solo, e estudos têm demonstrado a influência de diferentes formas de manejo sobre a fauna (MANHÃES et al., 2013; MOÇO et al., 2010; SILVA et al., 2009). Em alguns desses trabalhos, os manejos baseados no aporte de matéria orgânica e na manutenção de uma camada de cobertura do solo propiciam melhores condições para a manutenção da abundância da sua biodiversidade (MOÇO et al., 2009).

Moço et al. (2010) estudaram ainda as relações entre a comunidade de invertebrados e a qualidade da serrapilheira e dos atributos do solo em diferentes Sistemas Agroflorestais no sul da Bahia. O solo e a serrapilheira foram coletados em cinco SAFs de cacau- sistema de cacau renovado com *Erythrina* sp. (CRE); sistema de cacau renovado sob floresta natural - cabruca (CRF); cacau sob *Erythrina* sp. (CE); sistema cacau sob floresta natural - cabruca (CNF); e uma área de germoplasma de cacau (CGC), sendo também coletadas amostras em uma área de floresta natural (NF). Esses autores verificaram que os atributos do solo e a qualidade da serrapilheira afetaram a diversidade da fauna, cujos organismos consistem em potenciais reguladores dos grupos funcionais. Os componentes químicos relacionados à acidez, nutrição e palatabilidade foram os mais decisivos para a abundância e diversidade de espécies; e a comunidade da fauna foi mais relacionada à qualidade da serrapilheira do que à qualidade do solo. Logo, o manejo da serrapilheira pode ser uma boa prática para manter as atividades da fauna e contribuir com as funções ecossistêmicas nesses ambientes.

Manhães et al. (2013) analisaram as comunidades de meso e macrofauna edáfica de áreas sob pastagem degradada recuperadas com leguminosas. O foco da pesquisa foram três áreas com diferentes coberturas vegetais: área de pastagem com leguminosas, pastagem degradada e Floresta Secundária natural. As amostras foram coletadas em diferentes períodos, na estação seca (julho a setembro) e na chuvosa (fevereiro), na região norte do estado do Rio de Janeiro. Após o estudo, os autores relataram que a variação sazonal influenciou na densidade e na riqueza dos grupos funcionais, em especial os micrófagos, predadores e

herbívoros. No entanto, essa influência foi dependente da cobertura vegetal, visto que a maioria dos indivíduos encontrados nas três coletas e nos três tipos de cobertura vegetal pertencem a dois grupos funcionais: insetos sociais (Formicidae) e micrófagos (Collembola). Os tipos de cobertura vegetal demonstraram homogeneidade na distribuição da fauna do solo e serrapilheira, e o desenvolvimento de uma camada de serrapilheira devido às árvores leguminosas na pastagem degradada refletiu em maior abundância e diversidade da fauna do solo.

### **2.7.2. Matéria orgânica e biomassa microbiana do solo**

A matéria orgânica do solo (MOS) é responsável por promover uma série de benefícios ao ambiente (JANDL et al., 2014; GOSLING et al., 2013; PRIMAVESI, 2002). Essa é considerada um dos principais componentes responsáveis por fornecer energia e nutrientes aos ecossistemas, garantindo a produtividade dos solos em geral (XAVIER et al., 2006). Dentre os benefícios promovidos pela manutenção da MOS, destaca-se o fornecimento de energia para aumentar a atividade microbiana, o que, consequentemente, aumenta a ciclagem de nutrientes, influenciando a CTC do solo, e ainda, melhora as propriedades físicas do mesmo (JANDL et al., 2014; XAVIER et al., 2006; BALOTA et al., 2004).

Diante dos benefícios promovidos pela MOS, estudos vêm sendo realizados para avaliar a contribuição dos diferentes sistemas de manejo para melhorar seu aporte no solo (PEZARICO et al., 2013; GOSLING et al., 2013; LOSS et al., 2010; CONTU et al., 2006). De maneira geral, as práticas conservacionistas priorizam a manutenção da MOS, condicionada ao manejo menos intensivo, que promove acréscimos consideráveis no conteúdo total de C no solo e tem ação efetiva nas variações dos diferentes compartimentos da MOS. Assim, torna-se necessário a avaliação dos indicadores mais sensíveis às práticas de manejo, visando o monitoramento de seus impactos positivos ou negativos. Nesse sentido, algumas pesquisas têm evidenciado que determinados compartimentos da MOS são capazes de demonstrar, de forma mais rápida, as alterações nos conteúdos de C no solo relacionadas ao manejo (PEZARICO et al., 2013; SILVA et al., 2012; KASCHUK et al., 2011).

Dessa forma, a biomassa microbiana vem sendo apontada como um indicador promissor, devido à sensibilidade em relação aos diferentes manejos aplicados ao solo. Essa pode ser considerada de resposta mais rápida, quando comparada à matéria orgânica total do solo (MOS) e às propriedades físico-químicas, ou mesmo à produtividade da cultura (KASCHUK et al. 2010; BALOTA et al., 2003).

A BMS atua como agente de transformação da MOS no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia, podendo ser definida como a parte viva da MOS (AQUINO & ASSIS, 2005). A mesma corresponde à menor fração do carbono orgânico total (COT) do solo e constitui a parte potencialmente mineralizável do N disponível para as plantas.

Para tanto, a avaliação da BMS vem sendo muito utilizada na comparação entre solos de Floresta Secundária nativa e sistemas de manejo diferenciados sob as mesmas condições experimentais (KASCHUK et al., 2010). Essa avaliação pode fornecer estimativas do C e N da BMS, bem como auxiliar na determinação da respiração basal do solo (BMS) e no quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ).

Assis Júnior et al. (2003), ao realizarem estudos em áreas sob manejo agroflorestal em diferentes regiões do Brasil, vêm utilizando esse indicador para caracterizar a influência desses sistemas sobre a qualidade do solo. De modo geral, esse indicador desempenha papel de destaque no cenário da sustentabilidade ambiental, e pode ser estimado por métodos relativamente simples (SILVA et al., 2007a; SILVA et al., 2007b; ASSIS JÚNIOR, 2003).

Silva et al. (2012) mensuraram o efeito de dois tipos de manejo agroflorestal na atividade e biomassa microbiana do solo, comparando-os a uma área com Agricultura Anual e

uma mata secundária no município de Paraty(RJ). Os resultados mostraram maior sensibilidade dos microrganismos às mudanças de cobertura vegetal do que os atributos químicos do solo. Na mesma linha, Pezarico et al. (2013), pesquisando indicadores de qualidade do solo em Sistemas Agroflorestais, relataram que, entre os atributos microbiológicos, destacam-se os valores analisados de carbono da biomassa microbiana e de carbono orgânico.

### **2.7.3. Fungos micorrízicos arbusculares**

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são considerados os fungos de solos mais abundantes na maioria dos ecossistemas tropicais, e frequentemente o maior componente da biomassa microbiana dos solos cultivados, podendo chegar a quase 50% da biomassa microbiana (MORELL et al., 2009; BERBARA et al., 2006). Entre os microrganismos do solo, os FMA possuem a capacidade de realizar simbiose mutualista com espécies vegetais, produzindo uma série de benefícios para ambos, e, de modo geral, para o ecossistema/agroecossistema no qual estão inseridos (STÜMER & SIQUEIRA, 2011; BEDINI et al., 2007). Tão importante a associação micorrízica, J. L. Harley proferiu a seguinte sentença: “Plantas não têm raízes, elas têm micorrizas”, como forma de caracterizar essa singular associação, na qual, segundo o mesmo, a maioria das espécies de plantas encontra-se envolvida (BERBARA et al., 2006).

Essa simbiose é uma das associações mais antigas descrita na natureza, caracterizada por seu caráter mutualista nutricional, no qual a planta supre o fungo energeticamente através de seus produtos fotossintéticos, e o fungo fornece à planta, nutrientes e água (HONRUBIA, 2009; BERBARA et al., 2006). Através dessa simbiose, há um aumento na capacidade dos vegetais em absorver os nutrientes disponíveis no solo, o que possibilita aumentar a sua competitividade interespecífica e produtividade (BERBARA et al., 2006). A simbiose é considerada responsável por uma série de benefícios para os ecossistemas, sendo fundamental para a construção e estabilidade dos mesmos (ANGELINI et al., 2012; BERBARA et al., 2006).

Desde a identificação de sua existência, muitos são os estudos que cada vez mais revelam as funções surpreendentes desempenhadas pelos FMA através da associação com plantas. Dentre as funções, estão as de proporcionar melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no solo para a planta; armazenamento de carbono; estruturação do solo e até mesmo a determinação da composição da comunidade vegetal de um ambiente em função da diversidade desses fungos. Além disso, cabe dizer que pode haver funções que não foram totalmente desvendadas (MORELL et al., 2009; BERBARA et al., 2006; AUGÉ et al., 2001). Cardoso & Kuyper (2006) apontam, em seus estudos, a importância desta associação simbiótica para os solos tropicais, visto que a atividade e a diversidade da comunidade biológica têm sido consideradas essenciais para o aumento da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Diante do exposto, pode-se dizer que a estrutura da comunidade de FMA é um importante indicador de qualidade do solo (ANGELINI et al., 2012). Nobre et al. (2010) estudaram os FMA em sistemas de aléias no estado do Maranhão, e relataram que esse sistema aumenta o potencial infectivo dos FMA nativos, sendo que este varia com a espécie de leguminosa arbórea associada, estação chuvosa e a proximidade das árvores. Stümer & Siqueira (2011), por sua vez, realizaram pesquisas em seis áreas diferentes na região ocidental da Amazônia (floresta intocada e áreas convertidas em pastagem, culturas agrícolas, Sistemas Agroflorestais e Floresta Secundárias mais novas e antigas). O número total de esporos encontrados foi variável entre os diferentes usos. A riqueza média de espécies foi duas vezes maior nas áreas de culturas agrícolas, SAFs e florestas secundárias (jovens e antigas), em

relação à floresta nativa e pastagem. Foi observado ainda que o uso do solo influenciou a comunidade de FMA, a frequência e a ocorrência de esporos das espécies de FMA, ou seja, a diversidade de espécies e abundância de esporos. Esses autores inferiram que a conversão da floresta primária nas diferentes formas de uso não reduziu a diversidade de FMA, comprovando que as práticas adotadas na região mantêm elevada sua variedade. Trabalhos de outros autores, como Lacombe et al. (2009), tentaram compreender se os sistemas consorciados com espécies arbóreas aumentavam a diversidade e a estabilidade de comunidades microbianas do solo no Canadá. Nesse meio, encontraram maior incidência de FMA nos sistemas consorciados com árvores, e atentaram para a necessidade de pesquisas futuras que explorem o papel das raízes das árvores na manutenção dos FMA e outros organismos benéficos do solo.

Além da contribuição dos FMA quanto à produção de hifas e auxílio para mobilização de nutrientes pelas plantas, esses também são responsáveis pela produção de glicoproteínas hidrofóbicas, denominadas glomalina (BERBARA et al., 2006; STEINBERG & RILLIG, 2003), apontada como um componente importante na promoção da qualidade do solo (MORELL et al., 2009; PURIN et al., 2007; STADDON et al., 2003).

#### 2.7.4. Glomalina

A Glomalina refere-se a uma proteína específica (produto do gene), porém, existem outros termos presentes na literatura que definem esta proteína e também devem ser compreendidos (SING, 2012; SOUZA et al., 2012). As dificuldades para se quantificar a glomalina presente no solo podem ser explicadas, em grande parte, ao desconhecimento da sua estrutura molecular, e a significativas limitações metodológicas provenientes desse fato (SING, 2012). Com isso, podem ocorrer algumas divergências na terminologia quanto ao que seria de fato a glomalina.

Diante dessa premissa, Rillig et al. (2004) estabeleceram uma nova terminologia, relacionada aos métodos utilizados para sua extração e quantificação. De modo geral, um dos termos bastante utilizados refere-se à proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG), que relaciona todo o conjunto de proteínas quantificadas pelo método de *Bradford*.

Embora seja possível observar a existência de uma série de problemas nas pesquisas voltadas para esta proteína, nenhum destes trata da definição operacional de PSRG em si, mas da ligação entre esta e os FMA (SING, 2012). Apesar de serem necessários métodos mais confiáveis para comprová-la (SING, 2012, BERBARA et al., 2006), algumas evidências já permitem fazer inferências revelando que, na ausência de FMA, não são encontradas, ou são observadas poucas concentrações dessas proteínas (STEINBERG & RILLIG, 2003).

A glomalina contém uma elevada porcentagem de carbono (27,9 - 43,1%) (RILLIG et al., 2003), chegando a representar até 52% do carbono orgânico total dos solos (SCHINDLER et al., 2007), o qual é incorporado diretamente através da decomposição das estruturas fúngicas (SEGUEL et al., 2008). Esta proteína se encontra fortemente incorporada às paredes das hifas e esporos, o que sugere que ela chega até o solo através da decomposição da hifas e não por secreção (DRIVER et al., 2005). A glomalina possui ainda propriedades adesivas que atuam agrupando as partículas finas do solo, contribuindo com a formação de agregados e também influenciando a dinâmica do C em agroecossistemas, sendo observadas quantidades significativas da proteína no solo, geralmente associadas com o húmus insolúvel e às frações minerais (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996; PURIN et al., 2006; SEGUEL et al., 2008).

Esta associação com a matéria orgânica, através de mecanismos de interações bioquímicas, físico-químicas e biológicas, contribui para a agregação do solo (MORELL et al., 2009; PURIN et al., 2007; STADDON et al., 2003). Rillig et al. (2010) apresentaram evidências de que a PSRG aumenta diretamente a hidrofobicidade e a estabilidade dos

microagregados; e estes, por sua vez, ajudam a diminuir as perdas e decomposição do carbono do solo, contribuindo para o seu armazenamento.

Por meio de uma série de experimentos para avaliar o efeito dos FMA na atividade de enzimas do solo sob a capacidade de sequestro de carbono em áreas de mineração em processo de recuperação, Kuimei et al. (2012) utilizaram substrato de ganga de carvão, cinzas e lama, e plantaram azevém com e sem inóculo de FMA, na China. Após avaliadas as alterações do carbono orgânico do solo (COT), a atividade das enzimas do solo, o conteúdo de PSRG e o efeito dos FMA para o sequestro de carbono, os resultados mostraram que o conteúdo de PSRG (glomalina facilmente extraível e glomalina total) e o COT aumentaram, e os incrementos foram maiores nos tratamentos com inoculação de FMA após 12 meses de crescimento do azevém.

Silva et al. (2012) avaliaram a influência da revegetação com *Eucalyptus camaldulensis* e *Acacia mangium*, em plantio puro e consorciado, na composição e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), bem como na quantidade da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) em uma área degradada pela extração de argila. Os autores relataram que a PSRG foi estreitamente correlacionada com o C e o N do solo. As maiores quantidades de PSRG foram observadas nos plantios, em relação à área com vegetação espontânea, e a revegetação da cava de extração de argila promoveu aumento na quantidade de PSRG.

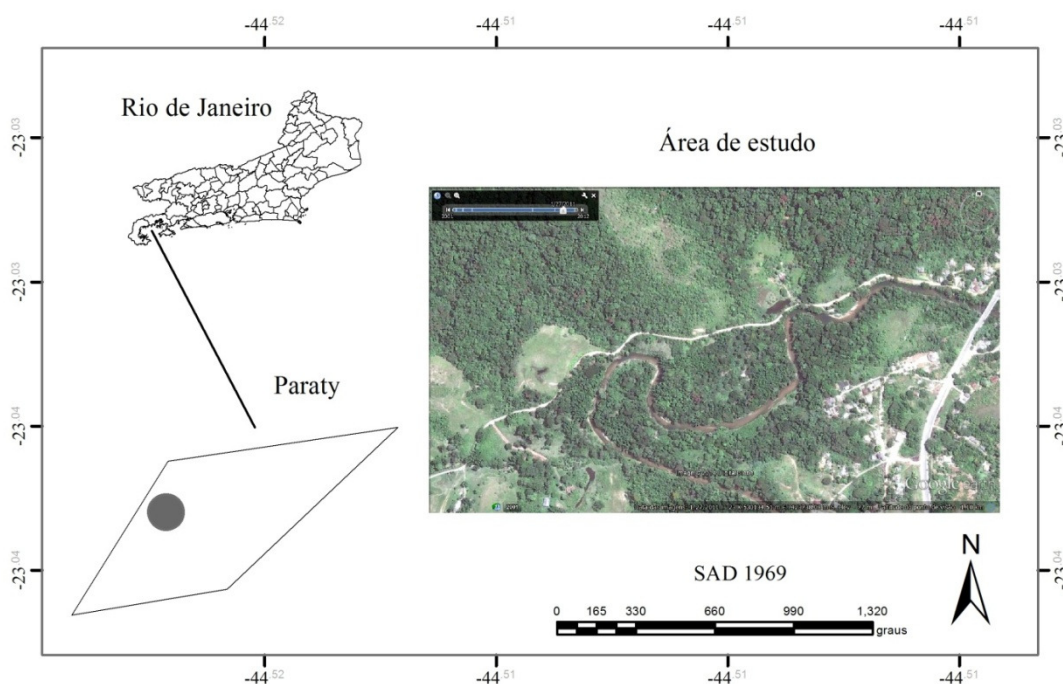
Já autores como Souza et al. (2013) analisaram a relação entre diferentes sistemas de uso da terra e as comunidades de FMA na região semi-árida do estado da Paraíba, no nordeste do Brasil. No estudo, a presença das árvores aumentou a colonização micorrízica, esporulação e produção de propágulos de FMA em todos os três sistemas de uso da terra. Houve maior produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina pelos FMA em parcelas com o cultivo de palma forrageira, independentemente da presença das árvores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

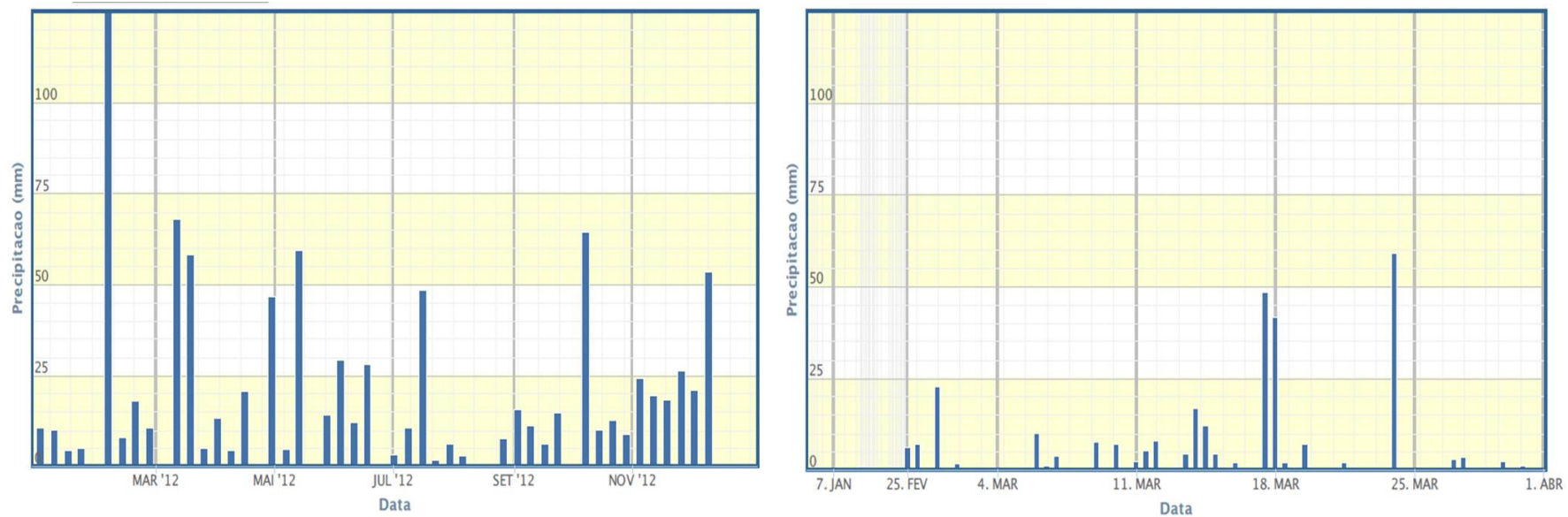
#### 3.1. Área de Estudo

##### 3.1.1. Localização

O estudo foi realizado no Quilombo do Campinho da Independência, localizado no distrito de Paraty-Mirim, município de Paraty (RJ), nas coordenadas geográficas 44°42' oeste e 23°17' sul, e altitude de 60 m acima do nível do mar, conforme demonstrado na Figura 1. O clima da região é do tipo CWa, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas moderadas e verão quente e chuvoso. Nas Figuras 2 e 3, encontram-se as médias de temperatura e precipitação para o período analisado na pesquisa. O Quilombo fica localizado na parte central da área de proteção ambiental (APA) do Cairuçu, às margens do rio Carapitanga e da BR 101, e as vegetações nativas remanescentes são florestas de encosta do tipo ombrófila densa submontana (RADAM, 1983). O trabalho foi conduzido em área de solo argiloso, sob dois Sistemas Agroflorestais, caracterizados pela sua composição vegetal (SAF-1 e SAF-2), ambos com dez anos de implantação (Tabela 1); uma área com Agricultura Anual (AgAn), baseada no sistema de rotação de culturas e pousio; e uma área de Floresta Secundária (Mata).

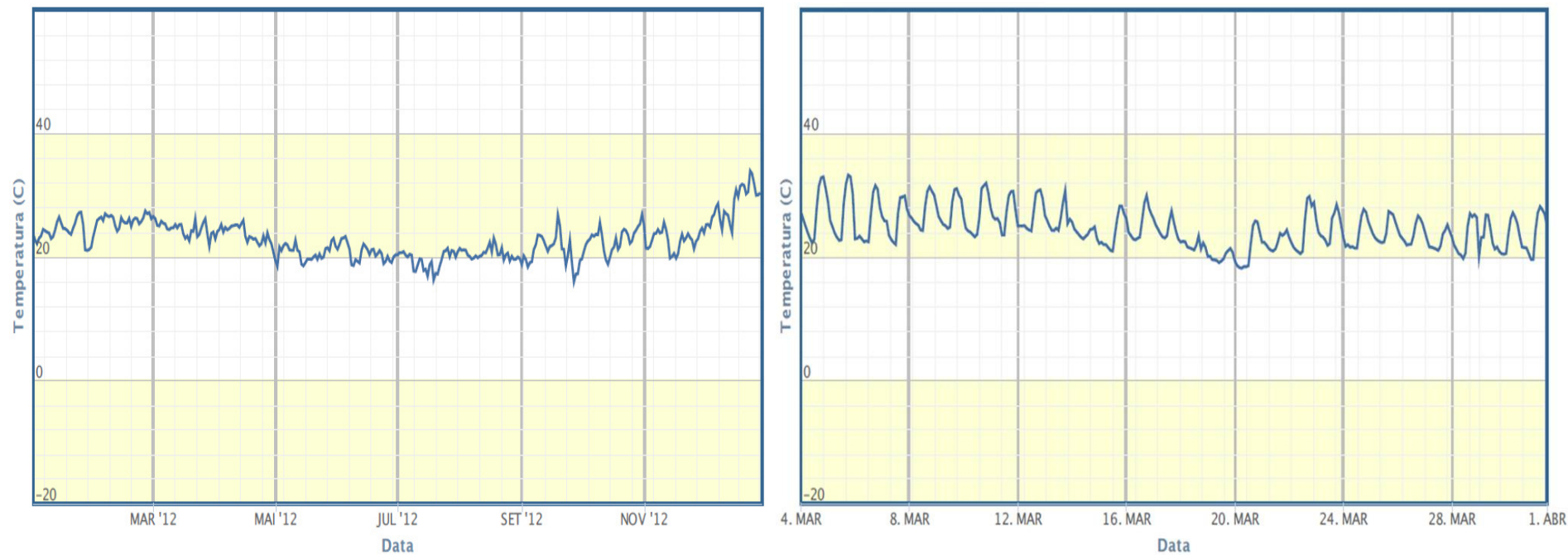


**Figura 1.** Comunidade Quilombola do Campinho da Independência no município de Paraty (RJ). Imagem de satélite obtida com o *Google Earth*.



**Figura 2.** Eventos mensais de precipitação para o município de Paraty (RJ), durante o período de coletas no campo, de janeiro de 2012 a abril de 2013. Dados adquiridos através da página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação A619 Parati (RJ).





**Figura 3.** Eventos mensais de temperatura para o município de Paraty (RJ), durante o período de coletas no campo, de janeiro de 2012 a aril de 2013. Dados adquiridos através da página eletrônica do Instituto Nacional de Metereologia (INMET), estação A619 Parati (RJ).

### 3.1.2. História do Quilombo do Campinho da Independência

A Comunidade do Quilombo do Campinho da Independência está localizada no estado do Rio de Janeiro, no município de Paraty, entre os bairros de Pedra Azul e Patrimônio. A atual área do Campinho se situa onde existiu, na metade do século XIX, a Fazenda da Independência, que apresentava, à época, significativa população escrava. A decadência econômica e regional que acometeu a região de Paraty no final daquele século, provocada pela alteração da rota comercial entre o porto paratyense e as Minas Gerais, e aditivada pelo crescimento do Vale do Paraíba, fez com que os antigos senhores abandonassem gradativamente suas terras agrícolas (LIMA, 2009).

Com o fim da escravidão, as terras do quilombo foram então doadas pelo senhor em um acordo realizado com três escravas - Antonica, Marcelina e Luiza -, que trabalhavam na Casa Grande, sede da antiga Fazenda Independência, onde lá fixaram seus descendentes. Com a abertura da estrada Rio-Santos, BR-101, no final da década de 1970, e a especulação imobiliária em Paraty, grileiros passaram a surgir na área tentando expulsá-los de suas terras. A partir daí, começa a luta pela posse da terra que durou quase trinta anos. Somente em 1999, a comunidade tornou-se a primeira comunidade quilombola do estado do Rio de Janeiro, passando a ter, finalmente, suas terras tituladas.

O reconhecimento como “quilombo” trouxe para a comunidade o incentivo para que o trabalhador rural seja autossustentável, ainda que muitos homens e mulheres trabalhem fora, principalmente como empregados em casas de família em Paraty, ou em condomínios de luxo da região. Atividades como a produção de mudas, implantação de agrofloresta e o turismo étnico são desenvolvidas na comunidade (LIMA, 2009). Durante a caminhada oferecida pelo quilombo para os turistas, é possível seguir por uma trilha ecológica, de cerca de duas horas, que revela elementos como agroflorestas; casa de farinha comunitária; espaço localizado no centro social da comunidade, no qual se localiza a Associação de Moradores; igreja católica; escola primária; casa de venda de artesanato e posto de saúde. Nesse ambiente, acontecem apresentações culturais diversas, como a dança do jongo; aos turistas é permitido apreciar a culinária quilombola e ouvir os griôs, “(...) responsáveis pela manutenção do saber, os “mais velhos”, que transmitem a memória oral às outras gerações, e que hoje passam também para os visitantes parte da história vivida pela comunidade” (LIMA, 2013).

Assim, atualmente as famílias mantêm suas tradições e costumes, como o cultivo de mandioca, fabricação da farinha e produção de artesanato como meios de sobrevivência. A comunidade desenvolveu um roteiro turístico e possui um restaurante muito procurado por turistas que vão a Paraty, que também buscam pelo Jongo (PINHEIRO, 2013).

O grupo também promove atividades vinculadas à promoção da agroecologia, extrativismo e manejo de Sistemas Agroflorestais. A utilização dos SAFs é uma das práticas de manejo para os sistemas agrícolas da comunidade, sendo bastante utilizado. O reconhecimento dessa prática pelas famílias quilombolas vem resultando em muitas áreas de SAFs implantadas, e um dos principais motivos para a adoção desses sistemas é o retorno econômico aliado à conservação dos recursos naturais, observado na prática cotidiana dos agricultores. Em muitos relatos, são apontadas as tentativas de disseminar os SAFs para as outras comunidades da região, inclusive como forma de contornar alguns conflitos socioambientais, muitas das vezes impostos pela presença das Unidades de Conservação e até mesmo da especulação imobiliária (Quilombo Campinho da Independência, 2014; KOINOMIA, 2014).

A oferta de muitos produtos oriundos dos SAFs é uma das formas de manter a geração de renda e a segurança alimentar. Além disso, é possível observar que os SAFs permitem o cultivo e o manejo de muitas espécies que compõem a sociobiodiversidade, que, além do valor econômico, também trazem aspectos culturais, muitas das vezes perdidos com o uso de

cultivos mais simplificados. Desse modo, a comunidade aponta a necessidade de se desenvolverem estudos em suas áreas de SAF para que os resultados sirvam de suporte para a validação e promoção dessa prática, tanto na região quanto em outros locais que possuem realidade semelhante.

### 3.1.3. Caracterização dos sistemas agroflorestais

A implantação das áreas de SAFs foi realizada através de parceria entre a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), a Embrapa Agrobiologia e o Instituto de Desenvolvimento e Ação Comunitária (IDACO), por meio do Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil, no município de Paraty(RJ) (Prodetab-Paraty). Esse projeto foi elaborado a partir da necessidade de estudar formas de manejo que conciliassem a conservação dos recursos naturais, a produtividade e a geração de renda de comunidades localizadas próximas às Unidades de Conservação.

Antes dos SAFs, a área era ocupada com a monocultura de banana e mandioca, práticas que normalmente são conduzidas nessa região. Desse modo, com o objetivo de restaurar a qualidade do solo e promover a geração de renda, para a implantação das duas áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), foram escolhidas espécies que cumprissem as funções de geração de renda (econômico), produção de alimentos (agronômicas de ciclos curto e frutíferas de ciclo longo), fossem renovadoras de fertilidade (adubação verde e arbóreas) madeireiras e potenciais produtoras de óleos e sementes (SILVA, 2006) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição das espécies implantadas nos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), na Comunidade Quilombola do Campinho da Independência, município de Paraty (RJ).

| Espécies   |  |   |   |
|--|--|---|---|
| De interesse econômico   | Frutíferas de ciclo curto  | Alimentares anuais  | De adubação verde   |
| Palmela pupunha ( <i>Bactris gasipaes</i> Kuhnt.)                | Banana variedade ouro ( <i>Musa</i> sp.) e mamão papaya ( <i>Carica papaya</i> L.) | Feijão preto ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.), milho ( <i>Zea mays</i> L.) e mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> L.) | Feijão de porco ( <i>Canavalia ensiformes</i> (L.) DC.), feijão guandu ( <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.) e crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> L.) |
| Espécies renovadoras da fertilidade                              |  |   |   |
| SAF-1  |  | SAF-2   |   |
| Ingá ( <i>Ingasp.</i> )  |  | Urucum ( <i>Bixa orellana</i> L.)   |   |
| Embira de sapo ( <i>Lochocarpus huilleminianus</i> (Tull) Malme) |  | Pau viola ( <i>Cytharexylum myruanthum</i> Cham)  |   |

Continua...

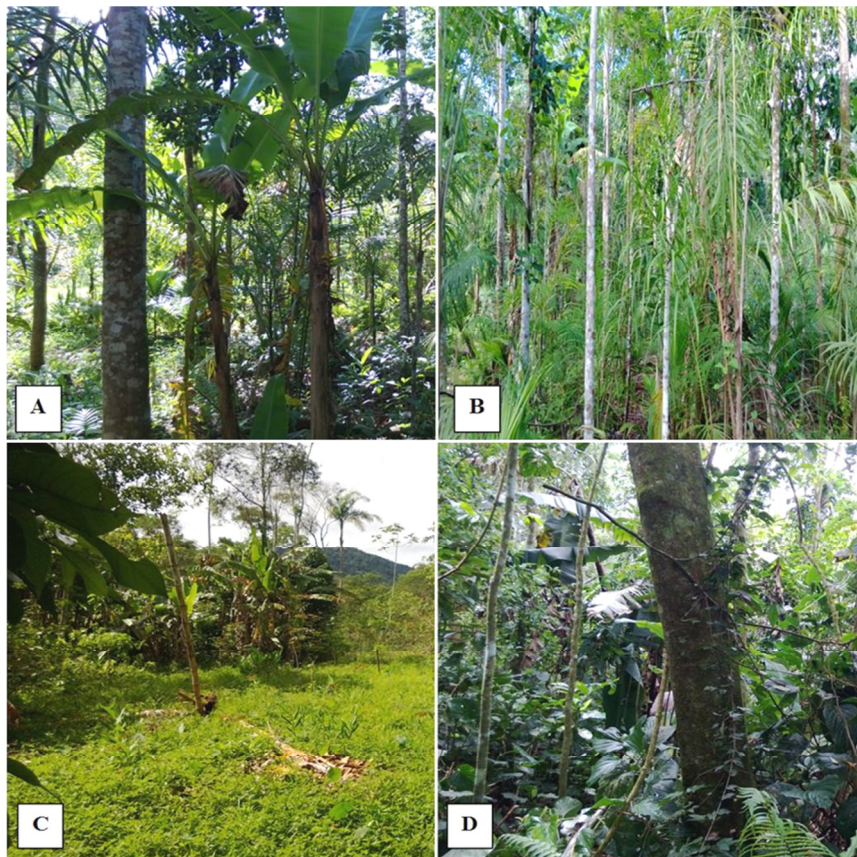
Continuação da **Tabela 1.**

| <b>Espécies frutíferas de ciclo longo</b>                            |   |
|--|---|
| <b>SAF-1</b>   | <b>SAF-2</b>  |
| Abiú ( <i>Pouteria macrophylla</i> Radkl.)                           | Graviola ( <i>Anona muricata</i> L.)                      |
| Jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)                         | Carambola ( <i>Averroha carambola</i> L.)                 |
| <b>Espécies de uso potencial de sementes, óleos e madeira de lei</b> |   |
| Guapuruvu ( <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell) Blake)               | Cedro ( <i>Cedrela fissilis</i> Vell.)                    |
| Araribá( <i>Centrolobium tomentosum</i> Guill.Ex Benth)              | Canela( <i>Nectranda lanceolata</i> Ness et Mart.ex Nees) |
| Jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> L.)                               | Jequitibá ( <i>Cariniana legalis</i> (Mart.) kuntze)      |
| Copaíba ( <i>Copaiba langsdorfii</i> Desf)                           | Bicuiba ( <i>Virola bicuhyba</i> (Schott) Warb.)          |

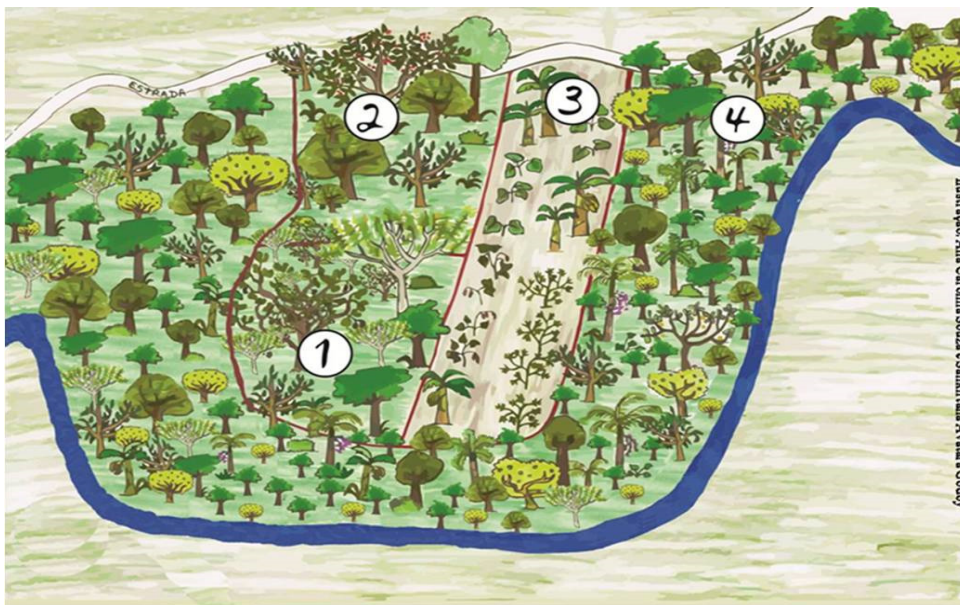
Silva (2006).

Desse modo, a implantação das áreas experimentais foi realizada através de mutirões compostos, principalmente, por moradores da comunidade visitada, membros do Grupo de Agricultura Ecológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (GAE-UFRRJ), e por segmentos da comunidade representados pelo Conselho Municipal das Associações de Moradores de Paraty (COMAMP) (SILVA, 2006).

Desde então, essas áreas experimentais vêm sendo manejadas e novas áreas foram implantadas na comunidade, disseminando a prática entre os moradores locais e as comunidades vizinhas. Como forma de aprofundar o entendimento dos benefícios relatados pelos agricultores, em especial aqueles relacionados ao solo, é necessário realizar estudos mais precisos sobre o que esses sistemas proporcionam. O estudo das características do solo dessas áreas já foi objeto de pesquisa de outros trabalhos, como o desenvolvido por Silva (2006). Além disso, a evolução dos SAFs e sua relação com a Floresta Secundária (Mata) e a área de agricultura (AgAn) também precisam ser investigados, a fim de entender as interações que ocorreram com o passar do tempo. Essas áreas são próximas umas das outras e representam a prática agrícola da comunidade, onde a agricultura é desenvolvida em pequenas áreas nas quais o entorno é composto por fragmentos de floresta. A Figura 4 apresenta a vista parcial das áreas de estudo, e a Figura 5 traduz um esquema da organização espacial dessas áreas.



**Figura 4.** Vista parcial das áreas de estudo A (Sistema Agroflorestal 1 - SAF-1), B (Sistema Agroflorestal 2 - SAF-2), C (área de Agricultura Anual - AgAn) e D (Floresta Secundária - Mata), no município de Paraty(RJ).



**Figura 5.** Desenho esquemático com a organização espacial das áreas de estudo, na Comunidade do Quilombo do Campinho da Independência, município de Paraty(RJ). 1 (Sistema agroflorestal 1 - SAF-1); 2 (Sistema agroflorestal 2 - SAF-2); 3 (área de Agricultura Anual - AgAn) e 4 - (Floresta Secundária - Mata).

## 3.2. Caracterização da Vegetação

### 3.2.1. Amostragem

Para fazer uma descrição das alterações que ocorreram nos dois Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), foi realizado senso das espécies, considerando o tamanho da área de cada SAF de 400 m<sup>2</sup>. Na área de Mata, foram estabelecidas cinco parcelas de 10 m x 5 m (50 m<sup>2</sup>). Em campo, foi utilizada fita métrica para medição das circunferências à altura do peito CAP (1,30m a altura do solo) das árvores presentes nos SAFs, e dentro das parcelas na Mata - nos dois casos foram amostrados indivíduos com CAP ≥ 15 cm. Posteriormente, no processamento dos dados, as circunferências foram transformadas em diâmetro por meio da divisão do respectivo valor por “π”. A altura das árvores foi, então, estimada com auxílio de tesoura de poda alta com cabo telescópico graduado; e, nos SAFs, foram contabilizadas espécies da regeneração natural para que se pudesse observar como está ocorrendo a interação com a área de Mata. Não houve a necessidade de coleta de material botânico, já que todos os indivíduos foram identificados no campo com a ajuda de um especialista. Após o levantamento, os dados inventariados em campo foram tabulados com auxílio do aplicativo Microsoft Excel 2007.

### 3.2.2. Estrutura horizontal

Foram calculados os índices fitossociológicos absolutos e relativos de densidade, dominância e frequência das espécies, bem como o valor de importância e de cobertura de cada uma delas, quantificando assim a participação de cada espécie em relação às outras (MULLER-DOMBOIS & ELLENBERG, 1974). O cálculo dos índices fitossociológicos e área basal foram feitos utilizando-se as seguintes expressões:

- Área basal

$$gi = \frac{\pi \times Db_{30\text{ cm}}^2}{40000}$$

Em que,

$gi$  = Área basal da espécie (m<sup>2</sup>);

$Db_{30\text{ cm}}$  = Diâmetro a altura da base (cm).

- Densidade Relativa

$$DRI = \frac{DA}{\sum_i DA} \times 100$$

Em que,

$DR_i$  = Densidade relativa (%);

$DA$  = Densidade absoluta.

- Frequência Relativa

$$FR_i = \frac{FA}{\sum_i FA} \times 100$$

Em que,

$FR_i$  = Frequência relativa (%);

$FA$  = Frequência absoluta.

- Dominância Relativa

$$DoR_i = \frac{g_i}{\sum_i g} \times 100$$

Em que,

$DoR_i$  = Dominância relativa (%);

$g_i$  = Área basal da espécie (m<sup>2</sup>).

- Índice de Valor de Importância

$$IVI_i = DR_i + FR_i + DoR_i$$

Em que,

$IVI_i$  = Índice de valor de importância (%);

$DR_{ij}$  = Densidade relativa (%);

$FR_{ij}$  = Frequência relativa (%);

$DoR_{ij}$  = Dominância relativa (%).

### 3.2.3. Diversidade, equibilidade e similaridade

- Índice de Shannon Wiener (H') - provém da teoria da informação (LUDWIG & REYNOLDS, 1988), e fornece a idéia do grau de incerteza em prever qual seria a espécie pertencente a um indivíduo da população se retirado aleatoriamente (LAM PRECHT, 1990). Quanto maior o valor de H', maior a diversidade florística da área em estudo. Ele é calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Onde:

$P_i$  – A abundância relativa de cada espécie, calculada pela proporção dos indivíduos de uma mesma espécie, pelo número total dos indivíduos na comunidade:

$$\frac{n_i}{N}$$

$n_i$  – O número dos indivíduos em cada espécie; a abundância de cada espécie.

$S$  – O número de espécies.

$N$  – O número total de todos os indivíduos:

$$\sum_{i=1}^S n_i$$

- Equibilidade conforme Pielou (J') é derivado do índice de diversidade de Shannon, e permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (PIELOU, 1966). Seu valor apresenta uma amplitude de 0 (uniformidade mínima) a 1 (uniformidade máxima). A expressão que a representa é:

$$J' = H'/H_{\max} \text{ sendo } H_{\max} = \ln(S)$$

Onde:

$S$  – número total de espécies amostradas;

$H'$  – Índice de diversidade de Shannon.

- Índice de Jaccar - foi utilizado para o cálculo da similaridade florística (qualitativa) Muller-Dombois & Ellenberg (1974). A fórmula é caracterizada por:

$$I_j = c/(a + b - c)$$



Onde:

$I_j$  = índice de similaridade;

a = número total de espécies presentes no local 1;

b = número total de espécies presentes no local 2;

c = número de espécies comuns aos locais a e b.

Os cálculos para todos os índices foram realizados com auxílio do Microsoft Excel 2007.

### **3.2.4. Classificação da Vegetação**

As espécies identificadas foram classificadas em grupos sucessionais (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax), segundo herbário virtual do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, por meio do site eletrônico: <http://www.jbrj.gov.br/jabot/>.

### **3.3. Coleta e Análise da Serrapilheira**

A coleta da serrapilheira foi feita com o auxílio de um gabarito metálico de 0,25 x 0,25 m. A serrapilheira foi triada nas frações: folhas, material reprodutivo (flores e frutos) e ramos, com até 2 cm de diâmetro. Adotou-se este limite máximo de diâmetro para ramos para padronizar a metodologia com outros estudos realizados em florestas tropicais. Essas frações foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante, e então pesadas em balança de precisão (ARATO et al., 2003). Em seguida, o material referente à fração folhas foi moído, quantificando-se os teores de N, P, K, Ca e Mg, após digestão sulfúrica (TEDESCO, 1997).

### **3.4. Amostragem e Análise dos Dados de Solo**

#### **3.4.1. Coleta das amostras do solo**

As amostras de terra foram coletadas em duas épocas do ano (seca e chuvosa), nos meses de setembro de 2012 e março de 2013, respectivamente. A amostragem foi feita na profundidade de 0-5 cm e 5-10 cm (apenas para a caracterização química, carbono orgânico total e suas frações oxidáveis). Estas foram secas ao ar para análise da quantificação do C, N e atividade da biomassa microbiana, e extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) para análises morfológicas. Para a análise da estabilidade de agregados, foram coletadas quatro amostras indeformadas em cada área, totalizando 16 amostras, na profundidade 0-5 cm, através da abertura de mini trincheiras.

#### **3.4.2. Temperatura do solo**

Foi amostrada a temperatura do solo no momento da coleta com o auxílio de um termômetro digital, sendo coletados em quatro pontos amostrais por área. Os valores médios de temperatura para as duas épocas avaliadas nas quatro áreas podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores médios de temperatura do solo nas áreas Sistema Agroflorestal 1 e2 (SAF-1 e SAF-2), área de Agricultura anual (AgAn) e Floresta Secundária (Mata), em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ).

| Áreas | Temperatura do solo (°C) |         |
|-------|--------------------------|---------|
|       | Seca                     | Chuvosa |
| SAF-1 | 21,50                    | 21,50   |
| SAF-2 | 20,50                    | 20,50   |
| AgAn  | 21,50                    | 21,50   |
| Mata  | 20,50                    | 20,50   |

### 3.5. Análises Químicas, Físicas e Microbiológicas

#### 3.5.1. Caracterização química

Foram analisados os atributos pH em água, cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), fósforo (P), potássio ( $\text{K}^{+}$ ), sódio ( $\text{Na}^{+}$ ) e hidrogênio mais alumínio (H+Al), de acordo com Embrapa (1997); e o carbono orgânico total (COT) pelo método Yeomans & Bremner (1988).

#### 3.5.2. Frações oxidáveis do carbono orgânico

O fracionamento do carbono foi feito por graus de oxidação (CHAN et al., 2001). Amostras de 0,1 g de solo de 250 mL, adicionando-se 10 mL  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,167 mol  $\text{L}^{-1}$  e quantidades de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  foram acondicionadas em erlenmeyer correspondentes às concentrações 3, 6, 9 e 12 mol  $\text{L}^{-1}$ . A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ . O indicador utilizado foi a fenantrolina, e foram obtidas quatro frações de carbono, com graus decrescentes de oxidação:

- Fração 1 (F1): C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido de 3 mol  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Fração 2 (F2): diferença do C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com 6 e 3 mol  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Fração 3 (F3): diferença do C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com 9 e 6 mol  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Fração 4 (F4): diferença do C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com 12 e 9 mol  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### 3.5.3. Estabilidade dos agregados

Os agregados identificados quanto à via de agregação foram passados por peneira de 4,00 mm de malha para que, em seguida, fossem pesados 25 g de agregados que ficaram retidos na peneira de 4,00 mm, sendo estes transferidos para uma peneira de 2,00 mm que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm. Os agregados dispostos na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com auxílio de um borrifador, e, posteriormente, o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yooder. Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com o auxílio de jato d'água, colocado

em placas de Petri previamente pesadas e identificadas, sendo levado à estufa até a obtenção de massa constante. A partir dos dados de massa de agregados, foram calculados o DMP (diâmetro médio ponderado) e o DMG (diâmetro médio geométrico) dos agregados, segundo Embrapa (1997).

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$DMP = \frac{\sum x_i y_i}{\sum y_i}$$

Onde:

$i$  = intervalo de classe:  $8,0 \geq X > 2,0$  mm; de  $2,0 \geq X > 1,0$  mm; de  $1,0 \geq X > 0,5$  mm; de  $0,5 \geq X > 0,25$  mm e de  $0,25 \geq X > 0,105$  mm;

$x_i$  = é o diâmetro do centro de classe (mm);

$y_i$  = é a razão de massa de agregados dentro da classe ( $x_i$ ) e a massa total de agregados.

O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$DMG = \exp\left(\frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i}\right)$$

Onde:

$w_i$  = peso dos agregados de cada centro de classe (g);

$\ln$  = logaritmo natural de  $x_i$ ;

$x_i$  = diâmetro do centro de classe (mm).

#### **3.5.4. Avaliação da atividade e biomassa microbiana do solo**

A quantificação da atividade microbiana foi feita com base na respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ), através de metodologia proposta por Jenkinson & Powlson (1976), adaptada por Silva et al. (2007b). A quantificação do nitrogênio da biomassa microbiana do solo (BMS-N) foi realizada através da metodologia proposta por Brooks et al. (1985), adaptada por Silva et al. (2007a). Enquanto a quantificação do carbono da BMS (BMS-C) foi feita através do método fumigação/extração, proposto por Vance et al., (1987) e adaptado por Silva et al. (2007c).

#### **3.5.5. Avaliação da densidade e diversidade de FMA por meio das características formológicas dos esporos**

A diversidade foi avaliada através de análise morfológica de esporos de FMA extraídos de amostras de solo. Para extração dos glomerosporos, foram utilizados 50 g do solo (quatro repetições), empregando-se as técnicas de decantação e peneiramento úmido

(GERDEMANN & NICOLSON, 1963), seguidas por centrifugação em água e sacarose (45%) (JENKINS, 1964), e a contagem realizada em placas canaletadas, sob estereomicroscópio. Para identificação dos esporos, foram preparadas lâminas com as soluções fixadoras Melzer e álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG), e identificados segundo suas características morfológicas (Schenck & Pérez, 1987; Blaszkowski, 2013; INVAM, 2013), através dos seguintes endereços eletrônicos: <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/> e <http://invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions>

### **3.5.6. Quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) no solo e em classes de agregados**

A extração e quantificação da PSRG foi realizada em amostras de solo (0-5 cm de profundidade) e em classe de agregado do solo > 2,00 mm. Para a extração da PSRG (considerando para o presente trabalho a glomalina facilmente extraível e glomalina total) das amostras, foi utilizada a metodologia descrita por Wright & Updahyaya (1998). Em cada uma das frações foi utilizado 1,0 g de terra fina seca ao ar. A glomalina facilmente extraível foi obtida a partir da extração em autoclave, utilizando-se 8,0 ml de solução de citrato de sódio 20 mM, pH 7,4, a uma temperatura de 121°C por 30 minutos. A quantidade de glomalina total (GT) foi obtida utilizando-se 8 ml de citrato de sódio 50 mM, a pH 8,0 a 121°C, por 60 minutos. Para extração desta fração, foram realizados mais de um ciclo de autoclavagem, até que as amostras atingissem a cor amarelo-claro. Em ambas as frações, posteriormente à autoclavagem, foram realizadas centrifugações a 5000 g por 20 min, onde o sobrenadante foi removido para posterior quantificação da proteína. A quantificação da glomalina foi então realizada pelo método Bradford (1976), modificada por Wright et al. (1996), disponível no site [www.usda.gov](http://www.usda.gov), utilizando-se microplacas de 96 poços e como padrão o soro-albumina bovina. As concentrações da glomalina, para ambas as frações, foram corrigidas para mg g<sup>-1</sup> de solo, considerando-se o volume total de sobrenadante e o peso das amostras de solo secas.

## **3.6. Mesofauna do Solo**

### **3.6.1. Amostragem e extração**

A coleta da mesofauna do solo tem como objetivo a avaliação da densidade e diversidade de invertebrados do solo, com diâmetro do corpo inferior a 2 mm. O método de extração utilizado foi o modificado de Tullgren, baseado no funil de Berlese, frequentemente denominado de Berlese – Tullgren (Figura 6). Esse método é conhecido por proceder a extração apenas dos indivíduos vivos, o que se mostra mais apropriado para investigações ecológicas. Para a coleta, foram utilizadas as recomendações indicadas pelo Laboratório de Fauna do Solo da Embrapa Agrobiologia (AQUINO et al., 2006).



**Figura 6.** Extrator Berlese - Tullgren do Laboratório de Fauna do Solo da Embrapa Agrobiologia utilizado no estudo.

A coleta foi feita a partir de quatro pontos amostrais em cada área, com o auxílio de uma sonda específica, com altura de 17,5 cm e diâmetro de 8 cm, com boca cortante para facilitar a penetração no solo. Também foram coletadas separadamente amostras da serrapilheira com auxílio de um quadrado metálico de 25 x 25 cm. Após a coleta, as amostras foram imediatamente transportadas para o laboratório, tendo o cuidado para não expô-las ao sol e não empilhá-las e, em seguida, foi procedida a extração. Para isso, as amostras foram colocadas em um funil e expostas à luz e calor por sete dias, para criar um gradiente de temperatura e umidade. Os microartrópodes reagiram ao calor se movendo para baixo e caindo no frasco coletor contendo solução preservativa.

### **3.6.2. Grupos taxonômicos e funcionais e índices de diversidade**

Os organismos obtidos na extração foram classificados em grandes grupos taxonômicos. Os artrópodes das classes Arachnida e Insecta foram classificados até ordem. Dentro de Insecta, foram feitas distinções entre larvas e adultos holometábolos, devido a diferenças funcionais exercidas por esses organismos nesses dois estágios de vida (Dangerfield, 1990). As formigas foram classificadas como Formicidae, separado dos demais Hymenopteras, visto que consistem em um importante grupo indicador da qualidade do solo (LAVELLE, 1997; ARMBRECHT & ULLOACHACÓN, 1997). A classificação dos grupos taxonômicos em grupos funcionais levou em consideração o hábito alimentar, o recurso alimentar e o uso do habitat, e foi feita segundo os critérios propostos por Costa (2002).

Para uma avaliação da estrutura da comunidade de fauna do solo, foram determinados os índices de diversidade de Shannon-Weaver e de equitabilidade de Pielou.

### 3.7. Tratamento Estatístico dos Dados

Os Sistemas Agroflorestais em estudo foram implantados atendendo às demandas dos agricultores como unidades experimentais e de produção no Quilombo do Campinho e em outras comunidades em Paraty. Para adequação à área disponível para plantio, não apresentam delineamento experimental com repetições distribuídas ao acaso. Dessa forma, uma análise de variância se torna inadequada, fazendo com que fosse realizada a comparação de médias duas a duas pelo teste  $t$  de Bonferroni (BAILEY, 1977). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (Teste de Lillifors / BIOESTAT 5.3) e homogeneidade das variâncias (Testes de Cochran e Bartlett / BIOESTAT 5.3). Quando os dados não apresentaram distribuição normal, foi realizada a sua transformação em logaritmo neperiano ( $\ln$ ) para posterior comparação dos valores médios, por meio do teste T de Bonferroni, com a utilização do programa estatístico Sisvar 4.6.

Para maior entendimento das diferentes condições de qualidade ambiental das unidades de estudo, foram selecionadas algumas variáveis de cada uma dessas unidades, submetidas a um tratamento estatístico multivariado de análise de componentes principais (ACP), análise de correspondência e análise de agrupamento de *Cluster*, com o uso do programa estatístico gratuito PAST.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Composição Florística e Fitossociológica dos Sistemas Agroflorestais e da Mata

#### 4.1.1. Composição florística dos sistemas agroflorestais

Com o passar do tempo, em acordo com os princípios da sucessão ecológica adotados em alguns modelos de Sistemas Agroflorestais (SAFs), é comum que algumas espécies saiam do sistema, cedendo lugar a outras, através do manejo e/ou do processo natural de disputa de espaço e luz, bem como ciclo de vida de cada espécie (MDA, 2008; NAIR, 1993).

No caso dos sistemas estudados, foi possível observar que a composição dos ambientes mudou ao longo do tempo, como está sistematizado na Tabela 3. As espécies frutíferas de ciclo curto, com exceção da bananeira (*Musa sp.*); as agrônômicas alimentares e as de adubação verde não fazem parte dos sistemas atualmente. Essas espécies foram comuns nos primeiros anos de manejo dos SAFs, onde cumpriram o papel de promover a geração de renda inicial, garantir a segurança alimentar e ajudar a condicionar o ambiente para o desenvolvimento das espécies arbóreas e de ciclo mais longo. Na Tabela 3, também pode ser observado que houve alterações no momento da implantação dos SAFs, onde algumas das espécies previstas em apenas um deles foram implantadas nos dois. Esse fato provavelmente foi ocasionado pela disponibilidade de mudas dessas espécies.

A palmeira pupunha (*Bactris gasipaes* Kuhnt) foi implantada como espécie de interesse econômico, e é a principal espécie manejada para esse fim. Essa espécie nativa da floresta amazônica vem sendo usada para minimizar o corte desordenado da palmeira jussara (*Euterpe edulis* Mart.) para exploração de palmito. A palmeira pupunha produz palmito em tempo menor (cerca de 2,5 anos, a depender do manejo), além de suportar condições a pleno sol e possuir a capacidade de perfilhar, onde uma palmeira consegue atender a vários ciclos de corte (SILVA, 2003). O palmito da pupunha, por sua vez, é um produto facilmente comercializado na região, seja *in natura* para restaurantes ou feiras direto ao consumidor, seja através de pratos da culinária quilombola servidos no restaurante do próprio Quilombo, que é um dos pontos turísticos do município de Paraty. Logo, o manejo dessa palmeira é fonte de renda interessante para a comunidade, e o uso dessa espécie através dos Sistemas Agroflorestais foi e é incentivado tanto na comunidade como na região, tornando-se cada vez mais comum.

Também foi observado na área dos dois SAFs (SAF-1 e SAF-2) a presença de palmeira jussara (*Euterpe edulis* Mart.), que não foi implantada no início do sistema. Essa palmeira só foi implantada quando o sistema ofereceu condições para o seu estabelecimento, uma vez que possui necessidade de sombreamento para se desenvolver (GALLETI et al. 1999; REIS & KAGEYAMA, 2000). A palmeira jussara é uma espécie originária da Mata Atlântica e encontra-se sob ameaça devido a exploração predatória do palmito. Ao contrário da pupunha, essa palmeira não possui a capacidade de perfilhar, o que resulta na supressão do indivíduo adulto para a extração do palmito. Estudos vêm sendo desenvolvidos no âmbito de fomentar o manejo dos frutos da jussara, que, quando beneficiados, oferecem poupa que pode ser consumida de diversas formas, equivalente ao açaí (*Euterpe oleraceae*), amplamente consumido no Brasil (BARROSO et al., 2010). Desse modo, o cultivo da jussara nos Sistemas Agroflorestais aliado às novas formas de aproveitamento alimentar, contribuem para a conservação dessa espécie e a manutenção da biodiversidade da Mata Atlântica (FROUFE & SEOANE, 2011).

Além das duas palmeiras destacadas anteriormente, duas categorias de espécies escolhidas para os SAFs - as renovadoras de fertilidade e as frutíferas de ciclo longo (Tabela 3) - colaboram com a promoção da biodiversidade associada. As mesmas ajudam a estimular

processos ecológicos responsáveis por serviços ambientais e, de modo geral, contribuem com o restabelecimento e manutenção da qualidade do solo, através da ciclagem de nutrientes (DUARTE et al., 2013; SOUZA et al., 2012; ARATO et al.; 2003), e também para o aumento da biodiversidade e fluxo gênico, uma vez que as árvores frutíferas atraem indivíduos da avifauna, potenciais dispersores de propágulos (TSCHARNTKE et al., 2011). A área onde foram implantados os SAFs (1 e 2) era ocupada anteriormente por sistemas mais simplificados, como a monocultura de banana e mandioca.

Na Tabela 3, também pode ser observada a ocorrência de espécies oriundas do processo de regeneração natural: No SAF-1, foi encontrada apenas uma espécie (*Terminalia* sp.), enquanto no SAF-2, cinco espécies (*Clidemia urceolata*, *Lochocarpus huilleminianus*, *Miconia calvescens*, *Piptadenia paniculata*, *Schinus terebinthifolius*). A área do Quilombo do Campinho se encontra na parte central de uma área de proteção ambiental (APA do Caiuruçu); assim, existem várias fontes de propágulos, espécies provavelmente oriundas dos fragmentos florestais de maior proximidade, que encontraram ambiente propício para iniciar o seu desenvolvimento. O fragmento mais próximo é a área denominada Mata, nesse estudo. O uso de SAFs, com espécies nativas e frutíferas, além da manutenção de serviços ecossistêmicos, pode ser uma alternativa para a restauração ecológica e preservação de florestas nativas (SOUZA et al., 2010).

**Tabela 3.** Espécies levantadas no ano de 2013 nos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), na Comunidade do Campinho da Independência, município de Paraty, (RJ).

| SAF-1  | SAF-2   |
|--|---|
| <b>Espécies renovadoras de fertilidade</b>                               |   |
| Ingá ( <i>Inga laurina</i> )   | Ingá ( <i>Inga edullis</i> e <i>Inga laurina</i> )                        |
|  | Urucum ( <i>Bixa orellana</i> L.)   |
| Embira de sapo<br>( <i>Lochocarpus huilleminiannus</i><br>(Tull.) Malme) | Embira de sapo<br>( <i>Lonchocarpus guilleminiannus</i><br>(Tull.) Malme) |
|  | Pau viola ( <i>Cytherexylum myruanthum</i> Cham)                          |
| <b>Espécies frutíferas de ciclo longo</b>                                |   |
| Abiu ( <i>Pouteria macrophylla</i> Radkl.)                               | Abiu ( <i>Pouteria macrophylla</i> Radkl.)                                |
| Jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)                             | Jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)                              |
| Carambola ( <i>Averrhoa carambola</i> L.)                                | Carambola ( <i>Averrhoa carambola</i> L.)                                 |
| Goiaba ( <i>Psidium guajava</i> )  | Goiaba ( <i>Psidium guajava</i> )   |
| Graviola ( <i>Annona muricata</i> )                                      | Graviola ( <i>Annona muricata</i> )                                       |
| <b>Espécies de uso potencial de sementes, óleos e madeira de lei</b>     |   |
| Guapuruvu ( <i>Schizolobium parahyba</i><br>(vell) Blake)                | Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> )  |
| Araribá ( <i>Centrolobium tomentosum</i><br>Guill. Ex Benth.)            | Canela ( <i>Nectandra lanceolata</i><br>Ness et Mart. ex Nees)            |
| Jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> L.)                                   | Jequitibá ( <i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze);                     |
| Copaíba ( <i>Copaíba langsdorfii</i> Desf)                               | Bicuiba ( <i>Virola bicuhyba</i> (Schott)                                 |

Continua...



Continuação da Tabela 3.

| <b>Espécies oriundas de regeneração natural</b>            |   |
|--|---|
| <i>Terminalia</i> sp.                                      | <i>Clidemia urceolata</i><br>Embira de sapo ( <i>Lochocarpus huilleminianus</i><br>(Tull.) Malme)<br><i>Miconia calvescens</i><br><i>Piptadenia paniculata</i><br><i>Schinus terebinthifolius</i> |
| <b>Espécies que entraram no sistema após a implantação</b> |   |
| Jussara ( <i>Euterpe edulis</i> Mart.)                     | <i>Paineira</i> ( <i>Ceiba speciosa</i> )<br>Jussara ( <i>Euterpe edulis</i> Mart.)   |

A ocorrência das espécies acima destacadas mostra que está ocorrendo interação entre os SAFs e as outras áreas de floresta, o que é interessante, pois trata-se de sistemas silviagrícolas. Em um documento da FUNBIO sobre experiências de áreas do entorno de unidades de conservação, Soares et al. (2004) relatam que a implantação de SAFs como alternativa à atividade agrícola em áreas do entorno de unidades de conservação é reconhecido e estimulado por diminuir o uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, bem como contribuir com o aumento e a manutenção da biodiversidade. As atividades agrícolas influenciam diretamente a biodiversidade dos ambientes nas quais é praticada, e, na maioria dos casos, essa influência é negativa. Para tanto, formas de manejo mais sustentáveis devem ser ao mesmo tempo produtivas e conservadoras do ambiente (ALTIERI, 1995). A incorporação de espécies arbóreas nos agroecossistemas em razão de sua multifuncionalidade proporciona ao sistema produtivo a diversidade geral de organismos (DUELLI & OBRIST, 2003).

Portanto, os SAFs contribuem para a manutenção de estrutura e funcionalidade semelhantes às das florestas. O estabelecimento das espécies a partir das formas de manejo adotadas determinam essas duas características, fundamentais para a qualidade do manejo agroflorestal. Alguns autores (MACDICKEN & VERGARA, 1990; FROUFE & SEOANE, 2011; TSCHARNTKE et al., 2011), conduzindo pesquisas sobre os SAFs em diferentes contextos, têm demonstrado que esses sistemas estão cumprindo seu papel de assegurar a biodiversidade, fluxo gênico e conservação de remanescentes florestais, bem como são definidos como impulsionadores da sucessão ecológica, questões que dependem do propósito do manejo de cada uma das áreas. De modo geral, esses sistemas auxiliam na manutenção da agrobiodiversidade que está vinculada à promoção de segurança alimentar e serviços ecossistêmicos (JACKSON et al., 2012).

#### **4.1.2. Estrutura horizontal dos sistemas agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e da mata**

As palmeiras jussara (*Euterpe edulis* Mart.) e pupunha (*Bactris gasipaes* Kuhnt) presentes nos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) não foram contabilizadas durante o levantamento, pois possuem muitos indivíduos, podendo influenciar na estimativa dos índices que retratam a estrutura horizontal dos Sistemas Agroflorestais. No SAF-1, foram encontradas 11 espécies distribuídas entre sete famílias, com total de 58 indivíduos, densidade absoluta (DA) total de 1.450 ind.ha<sup>-1</sup>, e área basal total de 11,9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). Já no SAF-2, foram encontradas 13 espécies pertencentes a 13 famílias, com um total de 76 indivíduos, DA de 1.900 ind.ha<sup>-1</sup> e área basal de 4,46 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 5). Na Mata, foram encontradas 19 espécies correspondentes a 13 famílias, um total de 75 indivíduos com DA de 1.500 ind.ha<sup>-1</sup> e área basal de 44,12 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 6).

Nos Sistemas Agroflorestais, se destaca a presença de espécies frutíferas: no SAF-1, das 11 espécies levantadas, cinco são frutíferas, o que representa 45% do total de espécies, sendo duas exóticas (jaca - *Artocarpus heterophyllus* Lam. e carambola - *Averrhoa carambola* L.) e três nativas (abiu - *Pouteria macrophylla*, goiaba - *Psidium guajava* L., graviola - *Annona muricata* L.). No SAF-2, também foi registrada a ocorrência das mesmas espécies frutíferas, porém representando 42% do total. O grande número de espécies frutíferas introduzidas em áreas de Sistemas Agroflorestais é comumente relatado na literatura, e contribuem com a diversificação de alimentos para a família, criação animal e extração de fauna, também podendo ser utilizadas para comercialização com a complementação de renda (CARDOSO et al., 2010).

Além das espécies frutíferas, no SAF-1 a família das leguminosas (Fabaceae) apresentou o maior número de espécies, sendo 45% do total. Essa família geralmente é utilizada em áreas de SAFs por possuir a capacidade de se associar a bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico. Isto garante maior capacidade de estabelecimento em áreas degradadas e auxilia a ciclagem de nutrientes, promovendo e ajudando a manter a qualidade do solo (YOUNG, 1989; FRANCO & FARIA 1997; MOÇO et al., 2005; GAMA-RODRIGUES et al. 2008).

No SAF-2, cada espécie pertence a uma família distinta (Tabela 5), logo, foi adotada estratégia diferenciada para o estabelecimento das espécies. Em relação à Mata, a família mais representativa também foi a Fabaceae (leguminosas), que corresponde a 21% do total de espécies; a família Meliaceae a 10%, e as outras famílias, com representação pontual de apenas uma espécie, 5% cada uma do total (Tabela 6). Fabaceae (leguminosas) é apresentada como uma das famílias de maior riqueza e densidade em levantamentos realizados em áreas de Floresta Atlântica (GUEDES-BRUNI et al. 2006; PEIXOTO et al., 2005; IVANAUSKAS et al., 1999).

A Mata apresentou maior área basal (44,12 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>) que os SAFs (SAF-1 - 11,9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e SAF-2 - 4,46 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>). Em áreas de Mata Atlântica, podem ser encontrados diferentes valores de área basal, reflexo de características das áreas, como idade e composição da comunidade vegetal. Enquanto Froufe & Seoane (2011), estudando capoeiras de floresta ombrófila densa atlântica na região do Vale do Ribeira (SP), encontraram área basal variando de aproximadamente 20 (5 e 20 anos) a 35 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (30 anos), Mori et al. (1983) encontraram área basal de 46,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para floresta ombrófila densa no sul da Bahia; e Batista et al. (2012) observaram 16,36 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> nos seus estudos em Pernambuco.

A Mata (fragmento florestal de mata secundária) possui área basal próxima ou superior às pesquisas relatadas acima, e a sua composição florística possui grande número de espécies pioneiras. A estrutura florística e os índices fitossociológicos dos fragmentos florestais podem ser alterados quando há aumento de espécies pioneiras, que possuem ciclo de vida curto e investem mais energia na reprodução do que no incremento em diâmetro e altura, quando comparadas às espécies de estágio sucessional mais avançado (as secundárias iniciais e secundárias tardias) que possuem papel funcional determinante no processo de regeneração dos fragmentos (SANCHÉZGÁLLEN et al., 2010). A espécie *Piptadenia paniculata*, que também é classificada enquanto pioneira, apresentou área basal de 22,45 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, sendo a espécie de maior ocorrência e valor de importância (VI) para essa área, principal responsável pelo valor de área basal da Mata. A composição desse ambiente com muitas espécies pioneiras pode indicar que a floresta é jovem e está em processo de regeneração.

Froufe & Seoane (2011) também avaliaram SAFs de diferentes idades implantados na região do Vale do Ribeira, e encontraram valores de área basal para SAFs de 17,1 (4 anos); 14,2 (8 anos) e 15,2  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  (16 anos); enquanto Sambuichi (2006) encontrou área basal de 23,00  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  para áreas de SAF cacau-cabruca (áreas antigas implantadas a partir de meados do século XIX, que são manejadas com raleio da floresta e plantio do cacau, na Mata Atlântica do Sul da Bahia). Esses valores são superiores aos encontrados nos SAF-1 e SAF-2 (1,9 e 4,46  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ , respectivamente), que possuem 10 anos de implantação.

É importante ressaltar que esses SAFs foram implantados com o intuito de serem unidades experimentais para a comunidade e a região, a fim de minimizar os impactos da prática agrícola sobre o ecossistema florestal, considerando que a comunidade se encontra na área central de uma Unidade de Conservação (SILVA, 2006). Desse modo, o tamanho das áreas, o número de espécies implantadas e o espaçamento adotado influenciaram no desenvolvimento das espécies, o que levou a área basal a apresentar valores muito baixos, demonstrando que, ao se tratar de áreas planejadas, as características fitossociológicas em grande parte irão depender das decisões tomadas durante o planejamento da área. Além disso, para o cálculo da área basal, ao contrário do estudo de Froufe & Seoane (2011), não foram consideradas algumas espécies, como a palmeira pupunha (*Bactris gasipaes*) e a bananeira (*Musasp.*). Desse modo, tais valores de área basal seriam maiores se consideradas essas espécies. A área basal dos SAFs, no caso, não influencia o principal propósito de exploração econômica dessas áreas, que é o manejo da palmeira pupunha para a extração de palmito.

A densidade absoluta (DA) foi variável entre as áreas, e o SAF-2 apresentou maior densidade de indivíduos. Os SAFs são sistemas planejados, com número de indivíduos de cada espécie implantado de acordo com esse planejamento. No SAF-1, foi observada maior densidade das espécies com potencial madeireiro, produção de sementes e óleo com DA de 825  $\text{ind}.\text{ha}^{-1}$ . Já no SAF-2, verifica-se maior densidade das espécies frutíferas (875  $\text{ind}.\text{ha}^{-1}$ ) e, também, maior DA de espécies renovadoras da fertilidade quando comparado ao SAF-1.

De modo geral, as espécies jatobá (*Hymenaea courbaril*) no SAF-1, e jequitibá (*Cariniana legalis*) no SAF-2, com 325  $\text{ind}.\text{ha}^{-1}$  cada uma, apresentaram maior DA em ambas as áreas. Apesar disso, elas possuem densidade relativa (DR) diferente, de 22,41% e 16,25% em cada uma das áreas, respectivamente. No SAF-1, a espécie com menor densidade foi a *Termialia sp.*, oriunda de regeneração natural, enquanto que no SAF-2, três espécies que entraram no sistema após a implantação do SAF (proveniente de regeneração ou inseridas pelos agricultores) apresentaram menor densidade *Schinus terebinthifolius*, *Inga edulis*, *Psidium guajava*, com DR de 1,25% cada uma. A *Virola sp.*, apesar de implantada para a produção de madeira, também apresentou baixa DR (3,75%) nesse SAF. Portanto, a organização e riqueza de espécies de cada sistema influenciaram a densidade dos indivíduos.

Na Mata, a maioria das espécies apresentou baixa densidade: 52% das espécies apresentaram DA de 20  $\text{ind}.\text{ha}^{-1}$ , sendo a espécie com maior densidade a *Piptadenia paniculata*, da família Fabaceae, com DA de 560  $\text{ind}.\text{ha}^{-1}$ . A grande quantidade de espécies com baixa densidade é uma característica comum em florestas tropicais em geral (WHITMORE, 1990), considerado um aspecto da distribuição de abundância relativa. Outros estudos realizados em floresta atlântica no sudeste brasileiro encontraram entre 19 e 50% das espécies representadas por apenas um indivíduo (GUEDES-BRUNI & MANTOVANI, 1999; MELO & MANTOVANI, 1994; MANTOVANI, 1993; LEITÃO-FILHO et al. 1993; SILVA & LEITÃO-FILHO, 1982). Esse padrão é considerado um dos mecanismos responsáveis pela manutenção da alta diversidade destas florestas, pois as baixas densidades populacionais e a consequente segregação espacial dos indivíduos da mesma espécie poderiam reduzir a frequência e a intensidade da competição intraespecífica (LIEBERMAN & LIEBERMAN, 1994).

No SAF-1, duas espécies apresentaram maior dominância: o Araribá, com dominância relativa (DoR) de 40,21%; e o Guapuruvu, DoR de 27,17%. As outras espécies presentes nessa área ficaram com DoR inferior a 10%. No SAF-2, a espécie com maior DoR foi o jequitibá (30,51%), seguida da graviola com 14,60%, e o cedro, com 13,72%. As demais espécies apresentaram DoR inferior a 10%. É possível observar que no SAF-1 há a dominância de duas espécies, enquanto no SAF-2 as espécies possuem menores valores de DoR, ou seja, esses não se diferenciam tanto entre as espécies, como no SAF-1.

Verifica-se que na Mata a *Piptadenia paniculata* foi o grupo mais dominante, com DoR 50,88%, seguida pela *Nectandra lanceolata*, com DoR de 14,88%, e da *Vochysia sp.*, DoR 11,95%; enquanto as outras 16 espécies apresentaram DoR abaixo de 10%. A maior dominância dessas espécies é reflexo da maior densidade, bem como do maior porte diamétrico dos indivíduos.

As espécies de maior valor de importância (VI) encontradas no SAF-1 pertencem à família das leguminosas (Fabaceae), sendo o araribá (*Centrolobium tonentosum*) com VI de 61,37, e o guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) com VI de 46,60. Esses dois tipos foram implantados nessa área com o intuito de produzir madeira e sementes. O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), outra espécie da mesma família, apresentou a maior densidade nessa área (325 ind.ha<sup>-1</sup>); no entanto, o seu VI (40,74) foi um pouco menor. Nesse caso, o maior número de indivíduos influenciou no VI, porém essa espécie do gênero (GE) das secundárias tardias não apresentou tanto incremento em diâmetro quanto às outras duas citadas anteriormente.

A *Terminalia sp.*, apesar do menor VI (10,98), é oriunda de regeneração natural, o que demonstra que está ocorrendo fluxo gênico entre as áreas de SAF e Mata, uma vez que essa espécie também foi encontrada na área da Mata. Essa espécie é do GE das espécies consideradas clímax, ou seja, necessitam de ambiente especial para se desenvolverem e se estabelecem em áreas com estágios mais avançados de sucessão. Desse modo, apesar do baixo VI, a ocorrência dessa espécie é importante, pois a partir desse fato é possível considerar que os SAFs estão condicionando ambiente propício para o estabelecimento de espécies provenientes de outras áreas de floresta.

No SAF-2, entre as espécies que apresentaram os maiores valores de importância (VI), exceto as frutíferas, estão: o jequitibá (*Cariniana legalis*), com o maior VI (53,01); e o cedro (*Cedrela odorata*), com VI de 32,47. Essas duas espécies pertencem ao grupo ecológico das secundárias tardias, o que permite inferir que, apesar da elevada DA, não houve tanto incremento em diâmetro e altura.

A espécie *Piptadenia paniculata*, pertencente à família fabaceae, foi a que apresentou o maior VI (101,37) na Mata, seguida pela *Nectandra lanceolata* (VI= 42,70); *Guapira opposita*, com (VI=23,31); *Lonchocarpus guilleminianus* (VI=20,88); *Cecropia pachystachya* (VI=15,93); *Vochysia sp.* (VI=15,91) e a *Cupania oblongifolia* (VI=14,61). Observa-se que a maioria dos VIs estão vinculados à densidade dos indivíduos (Tabela 11). Apenas a espécie *Cupania oblongifolia* apresentou DA superior às outras espécies e VI inferior, pois a mesma possui área basal menor que as outras anteriormente relacionadas.

**Tabela 4.** Índices fotossiológicos do Sistema Agroflorestal (SAF-1) na Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ).

| Espécies   | Família                     | Grupo Ecológico | Altura Média (m) | DAP Médio (cm) | G(m <sup>2</sup> ) | DA (ind.ha <sup>-1</sup> ) | DR (%) | DoA (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | DoR (%) | VI    |
|--|-----------------------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------|---|---------|-------|
| <i>Annona muricata</i> L. (graviola)                     | Annonaceae                  | FR EX           | 3,82             | 8,68           | 0.020388           | 125                        | 8,62   | 0,50                                    | 4,28    | 21,99 |
| <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.(jaqueira)           | Moraceae                    | FR EX           | 10,70            | 8,76           | 0.034171           | 100                        | 6,89   | 0,85                                    | 7,18    | 23,16 |
| <i>Averrhoa carambola</i> L. (carambola)                 | Oxalidaceae                 | FR EX           | 10,18            | 8,74           | 0.027804           | 125                        | 8,62   | 0,69                                    | 5,84    | 23,55 |
| <i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. Ex Benth (araribá) | Fabaceae (Leguminosae)      | SI              | 10,37            | 8,59           | 0.191328           | 175                        | 12,06  | 4,78                                    | 40,21   | 61,37 |
| <i>Copaiba Langsdorfii</i> Desf.(copaíba)                | Fabaceae - Caesalpinioideae | SI              | 10,27            | 8,35           | 0.004808           | 175                        | 12,06  | 0,12                                    | 1,01    | 22,17 |
| <i>Hymenaea courbaril</i> L. (jatobá)                    | Fabaceae - Caesalpinioideae | ST              | 10,10            | 8,47           | 0.04398            | 325                        | 22,41  | 1,09                                    | 9,24    | 40,74 |
| <i>Inga laurina</i> (ingá)                               | Fabaceae                    | P               | 8,81             | 7,82           | 0.006382           | 50                         | 3,44   | 0,15                                    | 1,34    | 13,88 |
| <i>Pouteria macrophylla</i> (bapeba)                     | Sapotaceae                  | FR SI           | 9,93             | 8,22           | 0.014236           | 125                        | 8,62   | 0,35                                    | 2,99    | 20,70 |
| <i>Psidium guajava</i> L.(goiabeira)                     | Myrtaceae                   | FR P            | 5,73             | 7,00           | 0.002578           | 75                         | 5,17   | 0,06                                    | 0,54    | 14,80 |
| <i>Schizolobium parahyba</i> ((Vell.) Blake) (guapuruvu) | Fabaceae - Caesalpinioideae | P               | 10,71            | 9,22           | 0.129299           | 150                        | 10,34  | 3,23                                    | 27,17   | 46,61 |
| <i>Terminalia</i> sp. (amendoeira da praia)              | Combretaceae                | CL              | 3,18             | 2,50           | 0.000796           | 25                         | 1,72   | 0,01                                    | 0,16    | 10,98 |

FR - Frutífera; EX - Exótica *strito sensu*; SI - Secundária Inicial; ST - Secundária Tardia; P - Pioneira; CL - Clímax; DAP - Diâmetro a Altura do Peito; G - Área Basal; DA - Densidade Absoluta; DR - Densidade Relativa; DoA - Dominância Absoluta; DoR - Dominância Relativa; VI - Índice de Valor de Importância.

**Tabela 5.** Índices fotossiológicos do Sistema Agroflorestal (SAF-2) na Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ).

| Espécies  | Família                | Grupo Ecológico | Altura Média (m) | DAP Médio (cm) | G (m <sup>2</sup> ) | DA (ind.ha <sup>-1</sup> ) | DR (%) | DoA (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | DoR (%) | VI    |
|---|------------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|--------|---|---------|-------|
| <i>Annona muricata</i> Linnaeus (graviola)                  | Annonaceae             | FR EX           | 8,88             | 6,07           | 0.03188717          | 300                        | 15     | 0,80                                    | 14,60   | 35,85 |
| <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.(jaqueira)              | Moraceae               | FR EX           | 8,75             | 6,08           | 0.01205586          | 175                        | 8,75   | 0,30                                    | 5,52    | 20,52 |
| <i>Averrhoa carambola</i> L. (carambola)                    | Oxalidaceae            | FR EX           | 8,39             | 6,05           | 0.01280199          | 200                        | 10     | 0,32                                    | 5,86    | 22,11 |
| <i>Bixa orellana</i> L. (urucum)                            | Bixaceae               | P               | 8,81             | 6,06           | 0.00515822          | 175                        | 8,75   | 0,15                                    | 2,67    | 17,68 |
| <i>Cariniana legalis</i> ((Mart.) Kuntze) (jequitibá rosa)  | Lecythidaceae          | ST              | 8,67             | 6,13           | 0.06664103          | 325                        | 16,25  | 1,65                                    | 30,51   | 53,01 |
| <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro)                           | Meliaceae              | ST              | 8,53             | 6,15           | 0.02996294          | 250                        | 12,5   | 0,75                                    | 13,72   | 32,47 |
| <i>Ceiba speciosa</i> (A. St.-Hil.) (paineira)              | Malvaceae              | S               | 7,74             | 4,67           | 0.00298451          | 100                        | 5      | 0,07                                    | 1,37    | 12,62 |
| <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham. (pau viola)            | Verbenaceae            | P               | 9,62             | 6,10           | 0.01288053          | 50                         | 2,5    | 0,32                                    | 5,90    | 14,65 |
| <i>Inga edulis</i> Artius. (ingá)                           | Fabaceae - Mimosoideae | P               | 8,65             | 6,11           | 0.00049087          | 25                         | 1,25   | 0,01                                    | 0,22    | 7,72  |
| <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyme (bapeba)            | Sapotaceae             | FR SI           | 8,435            | 7,00           | 0.01967422          | 175                        | 8,75   | 0,49                                    | 9,00    | 24,00 |
| <i>Psidium guajava</i> L.(goiabeira)                        | Myrtaceae              | FR P            | 7,957            | 7,00           | 0.00384845          | 25                         | 1,25   | 0,09                                    | 1,76    | 9,26  |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi. (aroeira pimenteira) | Anacardeaceae          | P               | 8,76             | 6,22           | 0.00384845          | 25                         | 1,25   | 0,09                                    | 1,76    | 9,26  |
| <i>Virola</i> sp. (virola)                                  | Myristicaceae          | CL              | 8,88             | 6,07           | 0,00920879          | 75                         | 3,75   | 0,23                                    | 4,22    | 14,21 |

FR - Frutífera; EX - Exótica *strito sensu*; SI - Secundária Inicial; ST - Secundária Tardia; P - Pioneira; CL - Clímax; DAP - Diâmetro a altura do peito; G - área basal; DA - Densidade Absoluta.

**Tabela 6.** Parâmetros fotossiológicos do fragmento florestal (Mata) na Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ).

| Espécies  | Família         | Grupo Ecológico | Altura Média (m) | DAP Médio (cm) | G (m <sup>2</sup> ) | DA (ind.ha <sup>-1</sup> ) | DoR (%) | DoA (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | DR (%) | VI    |
|---|-----------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|---------|---|--------|-------|
| <i>Alchornea triplinervia</i> Mull. Arg. (pau óleo)               | Euforbiaceae    | SI              | 14,45            | 10,70          | 0.012541            | 40                         | 2,67    | 0,25                                    | 0,57   | 8,499 |
| <i>Boehmeria caudata</i> Sw. (urtiga)                             | Urticaceae      | P               | 7,00             | 6,50           | 0.03852             | 20                         | 1,33    | 0,078                                   | 0,17   | 4,14  |
| <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul. (embaúba)                    | Cecropiaceae    | P               | 15,73            | 11,33          | 0.146972            | 60                         | 4       | 2,93                                    | 6,66   | 15,93 |
| <i>Cupania oblongifolia</i> Mart. (camboatá)                      | Sapindaceae     | P               | 14,88            | 10,32          | 0.03053             | 80                         | 5,33    | 0,61                                    | 1,38   | 14,61 |
| <i>Guapira opposita</i> (Vell) Reitz. (maria mole)                | Nyctaginaceae   | P               | 13,70            | 10,09          | 0.076128            | 140                        | 9,33    | 1,52                                    | 3,45   | 23,31 |
| <i>Guarea macrophylla</i> Vahl. (pau de arco)                     | Meliaceae       | ST              | 6,37             | 4,50           | 0.003183            | 20                         | 1,33    | 0,06                                    | 0,14   | 4,11  |
| <i>Inga laurinum</i> (ingá)                                       | Fabaceae        | P               | 30,24            | 12,00          | 0.071819            | 20                         | 1,33    | 1,44                                    | 3,25   | 7,22  |
| <i>Lonchocarpus guilleminianus</i> (Tul.) Malme (embira de porco) | Fabaceae        | SI              | 14,11            | 10,36          | 0.110048            | 120                        | 8       | 2,20                                    | 4,99   | 20,88 |
| <i>Miconia calvescens</i> DC (miconia)                            | Melastomataceae | P               | 6,36             | 5,50           | 0.003183            | 20                         | 1,33    | 0,063                                   | 0,14   | 4,10  |
| Morta   | -               | -               | 12,50            | 9,24           | 0.0046              | 40                         | 2,67    | 0,091                                   | 0,20   | 8,13  |
| <i>Nectandra lanceolata</i> Ness & Mart. ex Ness (canela)         | Lauraceae       | ND              | 14,84            | 10,49          | 0.328327            | 220                        | 14,67   | 6,57                                    | 14,88  | 42,70 |

Continua...

Continuação da Tabela 6.

| Espécies                                     | Família                        | Grupo Ecológico | Altura Média (m) | DAP Médio (cm) | G (m <sup>2</sup> ) | DA (ind.ha <sup>-1</sup> ) | DoR (%) | DoA (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | DR (%) | VI     |
|--|--------------------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|---------|---|--------|--------|
| <i>Piper arboreum</i> Aubl. (pariporaba)     | Piperaceae                     | P               | 6,05             | 7,00           | 0.002873            | 20                         | 1,33    | 0,057                                   | 0,13   | 4,09   |
| <i>Piptadenia paliculata</i> Benth. (angico) | Fabaceae                       | P               | 15,30            | 10,80          | 1.122568            | 560                        | 37,33   | 22,45                                   | 50,88  | 101,37 |
| <i>Psychotria</i> sp.                        | Rubiaceae                      | ST              | 7,00             | 8,00           | 0.003852            | 20                         | 1,33    | 0,07                                    | 0,17   | 4,14   |
| <i>Senna multifuga</i> (Rich.) (acácia)      | Fabaceae -<br>Caesalpinioideae | P               | 5,41             | 5,50           | 0.0023              | 20                         | 1,33    | 0,04                                    | 0,10   | 4,07   |
| <i>Solanum pseudoquina</i> A.ST.-Hill. (joá) | Solanaceae                     | P               | 8,37             | 7,21           | 0.014165            | 40                         | 2,67    | 0,28                                    | 0,64   | 8,57   |
| <i>Terminalia</i> sp. (amendoeira da praia)  | Combretaceae                   | ND              | 6,37             | 6,00           | 0.003183            | 20                         | 1,33    | 0,06                                    | 0,14   | 4,10   |
| <i>Trichilia hirta</i> L. (catinguá)         | Meliaceae                      | CL              | 5,57             | 7,00           | 0.002437            | 20                         | 1,33    | 0,04                                    | 0,11   | 4,08   |
| <i>Vochysia</i> sp.                          | Vochysiaceae                   | SI              | 57,93            | 22,00          | 0.263592            | 20                         | 1,33    | 5,27                                    | 11,95  | 15,91  |

SI - Secundária Inicial; P - Pioneira; ST - Secundária Tardia; CL - Clímax; ND- Não Determinada na literatura consultada; DAP - Diâmetro a altura do peito; G - área basal; DA - Densidade Absoluta; DR - Densidade Relativa; DoA - Dominância Absoluta; DoR - Dominância Relativa; VI - Índice de Valor de Importância.



#### 4.1.3. Diversidade, equibilidade e similaridade dos sistemas agroflorestais e da mata

O índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) foi muito próximo nas três áreas avaliadas (Tabela 7). O SAF-2 apresentou  $H'$  de 2,3, o SAF-1  $H'$  de 2,23 e a Mata  $H'$  de 2,22. Desse modo, a "diversidade implantada" na área mediante os SAFs foi superior à encontrada na Mata (fragmento de Floresta Secundária). Tal índice considera a riqueza das espécies e a sua abundância relativa. Assim, apesar da Mata apresentar maior número de espécies, essas foram pouco abundantes, de maneira que mais da metade (10) das espécies ocorreram com apenas um indivíduo, como foi discutido na sessão anterior, o que justifica o menor valor do índice em relação aos SAFs. As áreas onde as espécies foram implantadas com base em planejamento prévio possuem maior número de indivíduos de cada espécie, tendo o SAF-2 apresentado o maior índice, com uma distribuição mais equitativa e também um maior número de espécies.

**Tabela 7.** Índices de diversidade, equitabilidade e similaridade das áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e da Mata da Comunidade do Campinho da Independência, Paraty (RJ).

| Área  | Nº de Espécies | $H'$ | $J'$ | Sj1  | Sj2  | Sj3  |
|-------|----------------|------|------|------|------|------|
| SAF-1 | 11             | 2,23 | 0,93 | 0,10 | 0,14 | 0,26 |
| SAF-2 | 13             | 2,30 | 0,89 |      |      |      |
| Mata  | 19             | 2,22 | 0,75 |      |      |      |

$H'$  - Índice de diversidade de Shannon;  $J'$  - Índice de equitabilidade de Pielou; Sj - Índice de similaridade de Jaccard (1 - SAF-1/Mata; 2 - SAF-2/Mata; 3 - SAF-1/SAF2).

Felfili & Rezende (2003) sugerem que os valores de  $H'$  variem entre 1,3 a 3,5, chegando até 4,5 em ambientes florestais tropicais. Alguns autores, estudando a fitofisionomia florestal ombrófila densa, encontraram valores mais próximos de 4,0. Na região de Ubatuba (SP), em áreas de floresta ombrófila densa submontana, autores como Rochelle et al. (2011) encontraram  $H'$ =4,48; Ramos (2008)  $H'$ =3,58; e Gomes et al. (2008)  $H'$ =4,34. Thomaz & Monteiro (1997), em Santa Tereza(ES), observaram um índice  $H'$ =5,50. Já Froufe & Seoane (2011) encontraram valores de  $H'$  de 2,63, 2,88 e 2,68, em capoeiras de 5, 20 e 30 anos, respectivamente. O valor encontrado para a área de Mata, no presente estudo, foi inferior aos relatados por esses autores, mesmo quando se tratava de áreas de capoeira. Tais valores mostram que existe grande variação para  $H'$ , o qual depende do estado de conservação e estágio sucessional no qual a área florestal se encontra.

A área de Mata provavelmente ainda se encontra entre os estágios iniciais de sucessão. Apesar de estar inserida em uma paisagem caracterizada por grandes áreas de fragmentos florestais, as formas de uso do seu entorno (cultivo de banana e mandioca) anteriores à implantação dos SAFs podem ter influenciado o avanço da sucessão dessa área. Além disso, também é necessário considerar que a área de Agricultura Anual (AgAn) encontra-se entre o fragmento florestal e a área dos SAFs, sendo a área que faz limite em um dos lados do fragmento, conforme pode ser observado na Figura 3. As formas de uso da terra no entorno dos fragmentos florestais podem promover uma sequência de reações que avançam além do limite da borda para dentro do fragmento (TABARELLI et al., 2008). Uzêda et al. (2011), por sua vez, destacam que o manejo dos sistemas produtivos determina a intensidade de insumos e maquinário utilizados e as flutuações espaço-temporais da cobertura vegetal, de maneira que promovem diferentes efeitos sobre os fragmentos de vegetação nativa localizados na sua

vizinhança. Os usos mais intensivos tendem a causar alterações mais acentuadas pela formação das bordas abruptas nas áreas limítrofes entre os fragmentos de mata nativa e as áreas cultivadas, mas também devido às práticas de manejo e cultivos adotados (WERNECK et al., 2001).

Por muito tempo, o pensamento conservacionista separou os sistemas agrícolas e os naturais, quando considerada a contribuição para a conservação da biodiversidade. No entanto, grande parte das áreas naturais remanescentes está sob a forma de mosaicos de fragmentos florestais imersos em matrizes agrícolas. Desse modo, os agroecossistemas são considerados componentes importantes do mundo natural e estão diretamente relacionados com a conservação da biodiversidade. Para além da simples existência da agricultura, é necessário atentar para o tipo de prática estabelecida e, conseqüentemente, para o modo como estão formadas as matrizes agrícolas, fazendo com que o planejamento dos agroecossistemas considere tanto a produção agrícola, como formas de conservação da biodiversidade (PPERFECTO et al., 2009).

Froufe & Seoane (2011) destacam que em algumas áreas onde a floresta atlântica originária foi devastada no interior de SP (Região do Vale do Ribeira), o processo de sucessão vem sendo bem sucedido através de mudanças nas formas de manejo de algumas áreas, o que se deve basicamente a dois processos: ao sistema de pousio, que permitiu o reaparecimento de algumas espécies florestais nativas da região; e ao manejo agroflorestal, caracterizado como intensificador desse processo, pois fomenta o plantio de algumas espécies nativas, pelo manejo com podas que abrem clareiras e facilitam o desenvolvimento de espécies da regeneração natural, e também pela seleção de alguns indivíduos por parte dos produtores. Assim, apesar dos SAFs serem áreas implantadas, o seu índice de diversidade é um importante indicador da sua contribuição enquanto promotor da biodiversidade.

Os SAFs possuem índices de diversidade variáveis, pois são planejados de acordo com a necessidade dos agricultores, e as formas de manejo adotadas definem o seu desenvolvimento. É possível encontrar, para SAFs manejados na floresta atlântica,  $H'$  de 3,88 em SAFs de cacau cabruca manejados no sul da Bahia (SAMBUICHI, 2006); e  $H'$  de 1,72; 1,58 e 2,73 para SAFs de 4, 8 e 16 anos, respectivamente, no sul de São Paulo (FROUFE & SEOANE, 2011). No primeiro caso, os SAFs de cacau cabruca se aproximam dos valores encontrados para floresta atlântica. No segundo caso, os SAFs foram implantados em áreas que anteriormente eram utilizadas com agricultura e áreas degradadas. Apesar das variações relatadas, os valores do índice de Shannon do SAF-1 e SAF-2 com dez anos de idade estão entre os encontrados para as áreas de SAF da Mata Atlântica.

Para o índice de equabilidade de Pielou ( $J'$ ) calculado (Tabela 7) para as três áreas, o SAF-1 apresentou maior valor (0,93), seguido pelo SAF-2 (0,89) e a Mata (0,75). Mais uma vez os SAFs apresentaram valores para esse índice superiores à Mata. É evidente que a forma de distribuição das espécies, como discutido anteriormente, proporcionada pelo planejamento dos SAFs, contribuiu para o alto valor desse índice. Na Mata, a distribuição das espécies foi bastante desproporcional, com apenas uma espécie (*Piptadenia paniculata*) possuindo 50% da dominância em relação às outras. Em áreas de mata em processo de sucessão, é comum a dominância de algumas espécies devido às características de desenvolvimento de cada uma delas. Assim, as espécies que se sobressaem geralmente são as que possuem estratégias de sobrevivência às adversidades de cada ambiente.

A implantação dos SAFs próximos às áreas de floresta e a uma área de Agricultura Anual (AgAn) estão ajudando a conformar um agroecossistema interessante. Os SAFs e as áreas de floresta estão circundando a área AgAn, onde aparentemente essas áreas de estrutura arbórea e mais biodiversas protegem a área de agricultura (Figura 5). A combinação de sistemas produtivos mais e menos intensivos quanto ao uso do solo em paisagens agrícolas tem sido estudados (KUMARASWAMY & KUNTE, 2013; Jackson et al.; 2012; Phalan et al.,

2011 a e b), e as interações propiciadas por essa combinação são inúmeras, fazendo com que alguns autores afirmem sua contribuição para a conformação de agroecossistemas mais sustentáveis (PHALAN et al., 2011 a e b). Destacam-se entre essas interações a relação com polinizadores, as interações de controle biológico de pragas e doenças, bem como melhorias na qualidade do solo quanto aos aspectos físicos, químicos e biológicos (ARATO et al., 2003; SOUZA et al., 2012; JACKSON et al., 2012). Além disso, esses agroecossistemas contribuem com a proteção da biodiversidade, considerando que a mesma é aliada aos processos que ocorrem nos sistemas. (JACKSON et al., 2012; PHALAN et al., 2011a).

Os índices de similaridades de Jaccard encontram-se na Tabela 7. As áreas que apresentaram maior similaridade foram o SAF-1 e o SAF-2 (0,26), e essa similaridade se deu em função das espécies em comum implantadas, principalmente as frutíferas. Alguns autores relatam a baixa similaridade entre áreas de SAF devido às particularidades de manejo e composição, atribuídos ao planejamento de cada agricultor (SAMBUICHI, 2006; CARDOSO et al., 2001; SOUZA et al., 2010). Não foram encontradas espécies dispersadas de um SAF para outro após a implantação.

Entre os SAFs e a Mata, a similaridade foi muito baixa. O SAF-2 (0,14) mostrou maior similaridade em relação à mata do que o SAF-1 (0,10). Essa similaridade se deve ao processo de fluxo de espécies da Mata para os SAFs - aparentemente o SAF-2 está oferecendo mais condições para que ocorra a regeneração dessas espécies.

#### **4.1.4. Estoque de nutrientes e biomassa de serrapilheira**

Foram analisados o estoque de nutrientes e a biomassa da serrapilheira das áreas de SAF-1, SAF-2 e Mata, e os resultados podem ser observados na Tabela 8. É possível observar que houve pouca variação entre as áreas avaliadas: Apenas duas variáveis apresentaram diferenças entre as áreas - o Mg com o menor estoque no SAF-1, na época seca; e os estoques de biomassa, que foram maiores na Mata, diferindo apenas do SAF-2, na época chuvosa. Silva (2006) avaliou o estoque de nutrientes e biomassa nessas áreas, no ano de 2004, antes e após manejo com poda nas áreas de SAF (15 meses após plantio dos SAFs). O autor relata que antes do manejo, a Mata apresentava maior estoque de biomassa em relação ao SAF-2. Após a poda, no entanto, o estoque do SAF-1 e SAF-2 foram estatisticamente iguais aos da Mata, proporcionado pelo incremento de massa seca ao solo através da poda. Os estoques de nutrientes dos SAFs naquela época eram inferiores aos da Mata, exceto para o P, que apresentava valores similares. Apenas com o evento da poda houve aumento desses estoques, colocando os SAFs em condição similar à Mata.

Assim, esses resultados mostram que com o passar do tempo e a evolução desses sistemas, os SAFs, de uma forma geral, se tornaram equivalentes à Mata quanto ao estoque de nutrientes e biomassa. Arato et al. (2003) quantificaram a produção e deposição de serrapilheira em área de SAF em Viçosa(MG), e constataram que os valores obtidos de produção de serrapilheira total e frações foram semelhantes aos encontrados em florestas estacionais semidecíduais da região sudeste do Brasil, sugerindo que os SAFs vêm se comportando como uma floresta ativa em termos de dinâmica da serrapilheira.

**Tabela 8.** Estoque de nutrientes e biomassa da serrapilheira a partir da fração folhas em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e Mata, no município de Paraty (RJ).

| Áreas  | Ca                             |          | Mg        |           | K                         |           |
|--------|--------------------------------|----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
|        | -----Kg ha <sup>-1</sup> ----- |          |           |           |                           |           |
|        | Chuvosa                        | Seca     | Chuvosa   | Seca      | Chuvosa                   | Seca      |
| SAF-1  | 41,55 Aa                       | 66,86 Aa | 2,49 Aa   | 2,41 Ab   | 166,68 Aa                 | 278,97 Aa |
| SAF-2  | 37,17 Aa                       | 79,12 Aa | 2,60 Ba   | 4,97 Aa   | 161,35 Aa                 | 378,70 Aa |
| MATA   | 24,02 Aa                       | 48,35 Aa | 3,99 Aa   | 5,52 Aa   | 258,92 Aa                 | 579,44 Aa |
| CV(1)% | 27,76                          | 55,69    | 24,08     | 11,02     | 36,37                     | 72,20     |
| CV(2)% | 64,01                          |          | 38,60     |           | 81,98                     |           |
| Áreas  | P                              |          | N         |           | Biomassa de Serrapilheira |           |
|        | -----Kg ha <sup>-1</sup> ----- |          |           |           |                           |           |
|        | Chuvosa                        | Seca     | Chuvosa   | Seca      | Chuvosa                   | Seca      |
| SAF-1  | 0,31 Aa                        | 0,24 Aa  | 504,43 Aa | 415,70 Aa | 2971 Aab                  | 2752 Aa   |
| SAF-2  | 0,26 Aa                        | 0,31 Aa  | 273,15 Aa | 298,36 Aa | 1595 Ab                   | 2192 Aa   |
| MATA   | 0,32 Aa                        | 0,24 Aa  | 441,74 Aa | 447,70 Aa | 2397 Aa                   | 2299 Aa   |
| CV(1)% | 30,79                          | 35,88    | 28,12     | 28,20     | 21,84                     | 13,22     |
| CV(2)% | 33,44                          |          | 37,20     |           | 23,18                     |           |

Letras iguais minúsculas na coluna e iguais maiúsculas na linha não diferem pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância.

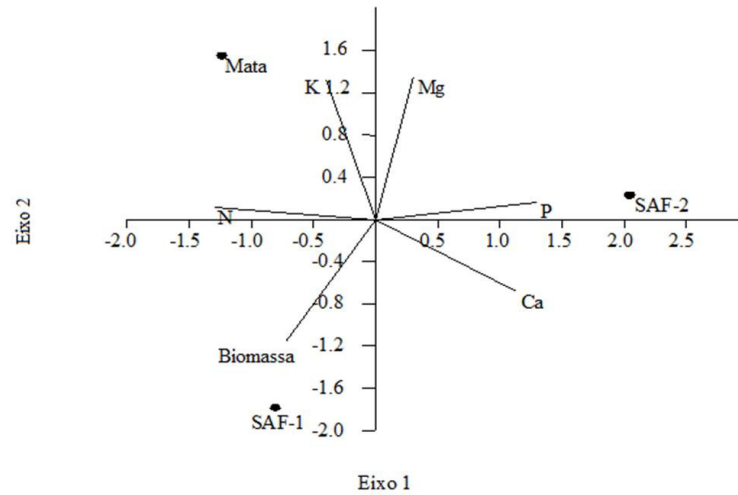
#### a) Análise de componentes principais

Os diagramas resultantes da análise dos componentes principais (PCA) encontram-se nas Figuras 7 (época seca) e 8 (época chuvosa). Na época seca, o SAF-1 ficou mais próximo da Mata em relação aos estoques de N, e biomassa da serrapilheira. A biomassa da serrapilheira teve maior relação com o SAF-1, enquanto que o estoque de K foi mais próximo da Mata (Figura 8). A Mata e o SAF-1 também tiveram maior relação quanto ao estoque de N, que ficou em uma posição intermediária, sendo reflexo da maior proximidade entre os valores das duas áreas.

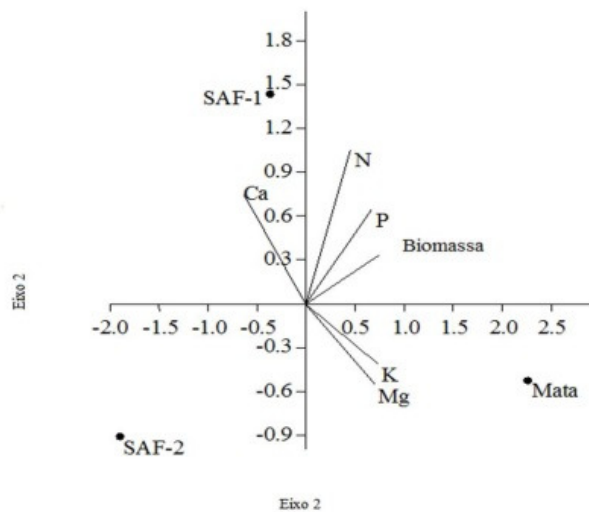
O SAF-2 foi mais distante do SAF-1 e da Mata na época chuvosa. Essa área está mais associada aos teores de Mg, P e Ca, sendo mais próxima da Mata quanto aos teores de Mg, e do SAF-1 pelos teores de Ca. Na época chuvosa, o SAF-1 e a Mata apresentaram maior número de variáveis próximas (Figura 8). Os estoques de K, serrapilheira, P e N estão mais associados à Mata e ao SAF-1; o estoque de Mg está associado ao SAF-2 e Mata; e o de Ca ao SAF-1 e SAF-2. Esses resultados mostram que a dinâmica de estoque de nutrientes e serrapilheira do SAF-1 se aproxima à da Mata, principalmente na época chuvosa, o que pode ser reflexo da composição florística com grande número de espécies da família Fabaceae (leguminosas).

O SAF-2 esteve associado aos teores de Ca e Mg nas duas épocas, o que pode ser explicado pelas maiores contribuições quanto à liberação desses nutrientes. De modo geral, apesar dessas diferenças, nota-se que os SAFs estão associados tanto à Mata quanto ao estoque de nutrientes e serrapilheira, o que reforça o aporte dessas áreas para a ciclagem de nutrientes. Duarte et al. (2013) enfatizam que a incorporação de espécies arbóreas em sistemas produtivos, como os Sistemas Agroflorestais, permite a entrada de material orgânico

diversificado e pode auxiliar na manutenção e melhoria das funções do solo, resultando também em melhorias na sua qualidade.



**Figura 7.**Estoque de nutrientes e biomassa da serapilheira, na época seca para as áreas SAF-1, SAF-2 e Mata, no município de Paraty(RJ). O eixo 1 explica 53,08% da variância, e o eixo 2 explica 46,91%.



**Figura 8.**Estoque de nutrientes da serrapilheira e biomassa da serapilheira, na época chuvosa, para o SAF-1, SAF-2 e Mata, no município de Paraty(RJ). O eixo 1 explica 73,71% da variância, e o eixo 2 explica 26,28%.

#### 4.2. Propriedades Químicas do Solo

De modo geral, os valores de pH para todas as áreas nas duas épocas do ano variaram dentro da faixa de 4,43 a 5,32 (Tabela 9), o que caracteriza o solo como ácido (MEURER et al., 2010; FREIRE et al., 2013). Apesar das diferenças encontradas, a faixa de variação foi muito pequena, mostrando proximidade entre as áreas para essa variável. Os solos das regiões tropicais, como a Mata Atlântica, de modo geral, são ácidos, o que se deve ao processo de

formação do solo, com intenso intemperismo e perda de cátions associada à retenção preferencial dos cátions de maior valência, como o alumínio, aos sítios de troca da argila e da matéria orgânica (LEAL et al., 2013).

Com relação ao  $Al^{3+}$ , apesar dos valores para algumas das áreas se encontrarem acima de  $0,3 \text{ cmolc kg}^{-1}$ , considerados altos (FREIRE et al., 2013), ainda são menores que os valores encontrados na literatura (IAWATA et al., 2012). Na época chuvosa, a maior concentração foi na Mata e no SAF-1; e na época seca, na AgAn, na profundidade 0-5 cm. Já na profundidade 5-10 cm, as maiores concentrações foram encontradas na Mata nas duas épocas avaliadas. A variação sazonal ocorreu apenas nas áreas AgAn e SAF-2, nas quais a época chuvosa apresentou os menores valores.

Um fator fundamental a ser considerado além da relação entre o pH e os teores de  $Al^{3+}$  é o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS). Existe uma interação entre a MOS e o  $Al^{3+}$ , que influencia as propriedades de solos ácidos (URRUTIA et al., 1995). A MOS possui a capacidade de complexar o alumínio, diminuindo a sua disponibilidade e toxicidade (FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO, 2008). Desse modo, alguns autores vêm relatando a importância de elevar os níveis de MOS, pois a quantidade de alumínio complexado supera a sua forma  $Al^{3+}$  (IAWATA et al., 2012).

Nesse estudo, os teores de carbono orgânico total (COT) estão altos para todas as áreas, quando comparados à literatura (IAWATA et al., 2012), mostrando a eficiência dos sistemas para o acúmulo e manutenção de carbono no solo. Os maiores teores de carbono orgânico total (COT), associados à época chuvosa, tanto na profundidade 0-5 cm quanto na profundidade 5-10 cm, foram observados na Mata, porém os mesmos, na profundidade 5-10 cm, foram equivalentes aos valores encontrados na AgAn e no SAF-1 (Tabela 14). As variações sazonais ocorreram apenas na AgAn e na Mata. Verificou-se redução dos teores de COT da época chuvosa para a época seca na Mata (profundidade 0-5 cm), e na AgAn houve aumento da época chuvosa para a época seca, nas duas profundidades (0-5 cm e 5-10 cm). As variações sazonais são proporcionadas pelas variações dos fatores climáticos (umidade e temperatura), que possibilitam o aumento ou diminuição da velocidade das reações químicas no solo, influenciando a mineralização da matéria orgânica (MOS) e resultando, assim, nas variações dos teores de COT (SILVA et al., 2012).

Desse modo, o baixo pH, associado aos teores de alumínio, podem ser explicados pelos elevados teores de COT, uma vez que pode estar ocorrendo a complexação desse elemento, conforme destacam alguns autores em seus estudos sobre fertilidade do solo em áreas sob manejo agroflorestal (IAWATA et al., 2012; PAVINATO, 2008; FRANCHINI et al., 2001). Apesar de algumas pesquisas relatarem que, ao mesmo tempo em que complexa os cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$  livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos, a MOS também proporciona a adição de bases (Ca, Mg e K) que reduzem a acidez do solo e aumentam o pH (PAVINATO, 2008; FRANCHINI et al., 2001), a MOS também exerce papel tamponante sobre as variações de pH do solo, ou seja, inibe alterações dos valores de pH. Assim, a complexação do  $Al^{3+}$  ocorre sem que haja alterações nos valores de pH, o que justifica o pH ácido das áreas estudadas.

**Tabela 9.** Propriedades químicas do solo em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para as épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty(RJ).

| Áreas         | pH (H <sub>2</sub> O)                                   |        | COT      |          | Ca      |        | Mg      |        | Al      |        | K       |        |
|---------------|---|--------|----------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|               | g kg <sup>-1</sup> -----CmolcKg <sup>-1</sup> solo----- |        |          |          |         |        |         |        |         |        |         |        |
|               | Chuvosa   | Seca   | Chuvosa  | Seca     | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca   |
| <b>0-5 cm</b> |   |        |          |          |         |        |         |        |         |        |         |        |
| SAF-1         | 4,91Abc   | 5,09Aa | 35,55Ab  | 33,937Ac | 4,39Aa  | 3,23Bb | 2,75Aa  | 2,40Ab | 0,45Aab | 0,32Ab | 0,29Ab  | 0,37Ab |
| SAF-2         | 5,32Aa  | 5,18Aa | 32,65Ab  | 37,49Ab  | 2,90Ba  | 4,46Aa | 2,08Ab  | 2,40Ab | 0,16Bbc | 0,53Ab | 0,13Bc  | 0,72Aa |
| AgAn          | 5,16ab  | 4,69Ba | 34,84Bb  | 45,81Aa  | 3,27Aa  | 2,70Ab | 2,02Bb  | 3,13Aa | 0,12Bc  | 1,10Aa | 0,39Aa  | 0,28Ac |
| Mata          | 4,69Bc  | 5,25Aa | 43,40Aa  | 37,49Bb  | 3,89Aa  | 3,23Ab | 2,55Bab | 3,33Aa | 0,59Aa  | 0,29Ab | 0,18Ac  | 0,22Ac |
| CV(1)%        | 2,57  | 5,34   | 4,79     | 5,25     | 19,00   | 7,52   | 9,85    | 4,98   | 37,07   | 19,05  | 14,04   | 9,34   |
| CV(2)%        | 4,88  |        | 16,28    |          | 16,28   |        | 17,07   |        | 83,84   |        | 39,21   |        |
| Áreas         | Chuvosa   | Seca   | Chuvosa  | Seca     | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca   |
|               | <b>5-10 cm</b>  |        |          |          |         |        |         |        |         |        |         |        |
| SAF-1         | 4,76Aab   | 5,10Aa | 28,70Aab | 35,36Ab  | 1,93Aab | 2,56Aa | 2,00Aa  | 1,83Aa | 0,62Ab  | 0,89Ab | 0,15Ab  | 0,25Aa |
| SAF-2         | 4,84Aa  | 5,17Aa | 27,27Ab  | 33,73Ab  | 1,62Aab | 1,45Ab | 1,61Aa  | 1,82Aa | 0,59Ab  | 0,93Ab | 0,16Ab  | 0,13Aa |
| AgAn          | 4,65Aab   | 5,04Aa | 28,27Bab | 60,15Aa  | 1,17Bb  | 2,46Aa | 1,24Aa  | 1,80Aa | 1,22Aab | 0,70Ab | 0,31Aa  | 0,23Aa |
| Mata          | 4,43Ab  | 4,61Ab | 31,06Aa  | 30,48Ac  | 2,44Aa  | 1,46Bb | 1,70Aa  | 1,83Aa | 1,38Aa  | 1,85Aa | 0,11Ab  | 0,18Aa |
| CV(1)%        | 3,14  | 3,06   | 4,88     | 3,21     | 25,98   | 7,12   | 41,95   | 20,62  | 31,33   | 14,96  | 14,43   | 25,64  |
| CV(2)%        | 6,40  |        | 26,64    |          | 23,40   |        | 23,21   |        | 45,27   |        | 37,06   |        |

Valores seguidos por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. CV(1)% - Coeficiente de variação entre áreas. CV(2)% - coeficiente de variação entre épocas.

Gomes et al. (2012) avaliaram as mudanças ocorridas em um conjunto de atributos (químicos, físicos e microbiológicos) do solo, principalmente os relacionados com a dinâmica do carbono orgânico, em solos florestais e de diferentes agroecossistemas (laranja, coco, eucalipto e cana de açúcar) na região nordeste do Brasil. Esses autores constataram que em todas as áreas estudadas, os solos sob floresta nativa apresentaram melhor estado para os atributos físicos e químicos do que as áreas onde a floresta cedeu lugar aos agroecossistemas, especialmente na camada de 0-5 cm. Para todas as profundidades estudadas, o conteúdo de carbono orgânico apresentou maior correlação com as mudanças ocorridas nos outros atributos. Assim, as diferentes formas de manejo influenciam o conteúdo de COT, que por sua vez pode interferir em outros atributos do solo.

Silva (2006) também encontrou maiores teores de COT na área de Mata tanto no inverno quanto no verão (períodos seco e chuvoso respectivamente), com base em coletas realizadas nas mesmas áreas, na profundidade 0-10 cm. A presente avaliação, nos anos de 2012/2013, mostrou que no período seco, a área de AgAn foi a que apresentou maiores teores de COT, tanto na profundidade 0-5 cm quanto 5-10 cm, o que indica que houve aumento no conteúdo de COT dessa área. No estudo de Silva (2006), essa área encontrava-se com cultivo da mandioca. Já no presente estudo, quando foram realizadas as coletas, a área estava sob pousio, o que pode ter influenciado o conteúdo de COT. Desse modo, o manejo baseado no pousio e rotação de culturas está contribuindo com o aumento do COT do solo, chegando a teores equivalentes e até mesmo superiores aos da Mata (fragmento de Floresta Secundária) e dos Sistemas Agroflorestais.

Em relação ao H+Al, para a época seca, na profundidade 0-5 cm, os maiores valores foram associados à AgAn (Tabela 10). Na profundidade 5-10 cm, esses foram superiores na área de Mata, sendo equivalentes a AgAn e ao SAF-1. No período chuvoso, na profundidade 0-5 cm, os maiores valores de H+Al foram observados nas áreas SAF-1, Mata e AgAn; e na profundidade 5-10 cm não houve diferença entre as áreas. Nota-se que os maiores valores de acidez potencial (H+Al) foram negativamente relacionados aos valores de pH (Tabela 9 e 10).

A acidez potencial pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas em sistemas produtivos. No entanto, há relatos de que sistemas conservacionistas baseados no maior aporte de MO elevam a acidez potencial no processo de mineralização da MO (RHEINHEIMER et al., 1998). A mineralização da MO, por sua vez, resulta na liberação de nutrientes essenciais à planta, tais como N, P, S, K, Ca, Mg e micronutrientes (BARRETO et al., 2006). Desse modo, apesar de proporcionar acidez potencial, a maior quantidade de MO incide sobre processos fundamentais para ciclagem de nutrientes.

Os teores de Ca e Mg estão dentro dos recomendados para o bom desenvolvimento das plantas (RONQUIM, 2010) e considerados de médios a altos segundo parâmetros para o estado do Rio de Janeiro (FREIRE et al., 2013). Essa mensuração indica que a diversificação da cobertura vegetal (SAF-1 e SAF-2) e o sistema de pousio estão contribuindo com entradas desses macronutrientes no solo, reflexo da alta atividade de decomposição da MO realizada pela biota do solo, condicionada pela forma de manejo (LIMA, 2008).



**Tabela 10.** Propriedades químicas do solo em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para as épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty(RJ).

| Áreas          | S   |         | H+Al    |          | NA      |         | T                        |          | V%       |          | P       |        |
|----------------|---|---------|---------|----------|---------|---------|--------------------------|----------|----------|----------|---------|--------|
|                | -----Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> solo----- |         |         |          |         |         |                          |          |          |          |         |        |
|                | mg kg <sup>-1</sup> solo                          |         |         |          |         |         | mg kg <sup>-1</sup> solo |          |          |          |         |        |
|                | Chuvosa   | Seca    | Chuvosa | Seca     | Chuvosa | Seca    | Chuvosa                  | Seca     | Chuvosa  | Seca     | Chuvosa | Seca   |
| <b>0-5 cm</b>  |   |         |         |          |         |         |                          |          |          |          |         |        |
| SAF-1          | 7,46Aa  | 6,08Bc  | 10,27Aa | 12,32Ac  | 0,026Ab | 0,06Ab  | 17,73Aa                  | 18,40Ab  | 42,04Aa  | 33,04Bb  | 4,02Aa  | 4,62Ac |
| SAF-2          | 5,15Bb  | 7,66Aa  | 7,86Bb  | 14,74Ab  | 0,03Ab  | 0,07Aab | 13,00Bc                  | 22,40Aa  | 39,42Aa  | 34,23Ab  | 3,68Ba  | 9,14Aa |
| AgAn           | 5,70Aab   | 6,17Abc | 9,58Ba  | 17,51Aa  | 0,005Bc | 0,06Aab | 15,28Bb                  | 23,68Aa  | 37,25Aa  | 26,08Bc  | 4,00Ba  | 9,17Aa |
| Mata           | 6,74Aab   | 6,86Ab  | 9,72Aa  | 11,33Ac  | 0,11Aa  | 0,08Aa  | 16,46Aab                 | 18,19Ab  | 40,96Aa  | 37,72Aa  | 4,27Aa  | 6,17Ab |
| CV(1)%         | 12,10   | 4,89    | 7,00    | 3,58     | 8,65    | 11,33   | 5,17                     | 3,06     | 9,85     | 3,78     | 7,55    | 2,56   |
| CV(2)%         | 11,25   |         | 25,36   |          | 52,50   |         | 16,98                    |          | 16,12    |          | 115,17  |        |
| Áreas          | Chuvosa   | Seca    | Chuvosa | Seca     | Chuvosa | Seca    | Chuvosa                  | Seca     | Chuvosa  | Seca     | Chuvosa | Seca   |
| <b>5-10 cm</b> |   |         |         |          |         |         |                          |          |          |          |         |        |
| SAF-1          | 4,16Aa  | 4,69Aa  | 7,89Ba  | 13,53Aab | 0,01Aa  | 0,04Ac  | 12,05Ba                  | 18,22Aa  | 34,31Aa  | 25,80Ba  | 3,85Ba  | 5,42Ab |
| SAF-2          | 3,47Aa  | 3,47Ab  | 8,09Ba  | 12,43Ab  | 0,01Ba  | 0,06Aa  | 11,56Aa                  | 15,90Ab  | 30,33Aab | 21,88Bab | 3,66Aa  | 3,31Ac |
| AgAn           | 2,80Ba  | 4,55Aa  | 9,20Aa  | 13,08Aab | 0,01Ba  | 0,05Aab | 12,00Ba                  | 17,63Aab | 23,19Ab  | 25,75Aa  | 3,78Aa  | 3,61Ac |
| Mata           | 4,33Aa  | 3,52Ab  | 9,03Ba  | 14,64Aa  | 0,01Ba  | 0,05Abc | 13,37Ba                  | 18,17Aa  | 32,44Aab | 19,45Bb  | 4,07Ba  | 6,73Aa |
| CV(1)%         | 19,69   | 8,58    | 10,65   | 6,07     | 35,09   | 8,20    | 10,61                    | 5,16     | 13,23    | 7,56     | 4,53    | 8,59   |
| CV(2)%         | 17,72   |         | 26,75   |          | 75,65   |         | 21,71                    |          | 20,39    |          | 115,47  |        |

Valores seguidos por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. CV(1)% - Coeficiente de variação entre áreas. CV(2)% - coeficiente de variação entre épocas. T - Capacidade de troca de cátions. V% - Saturação por bases. S = Soma de bases trocáveis.

Silva et al. (2011) estudaram o impacto de diferentes sistemas de manejo (mata nativa, sistema agroflorestal e manejo convencional) sobre os atributos do solo, no Sul da Bahia, e relataram que, de modo geral, os sistemas de cultivo do solo elevaram os teores de Ca, P e K, em relação à floresta nativa, principalmente nas camadas superficiais, devido à correção do solo. Nas áreas estudadas (SAF-1, SAF-2 e AgAn), não foi feita correção do solo, reforçando a hipótese de que a diversificação da cobertura vegetal e o manejo associado contribuem com maior deposição de material vegetal (raízes, galhos, folhas), que, ao ser mineralizado, influencia reações químicas e ajuda a melhorar a fertilidade do solo, proporcionando melhorias na sua qualidade (DUARTE et al., 2013; SOUZA et al., 2012; TSCHARNTKE et al., 2011; CAMPANHA et al., 2007).

Os teores de Ca não apresentaram variação na época chuvosa para a profundidade 0-5 cm. Por outro lado, na profundidade 5-10 cm, os maiores teores foram observados na Mata (2,44  $\text{Cmol}_c \text{Kg}^{-1}\text{solo}$ ), e os menores na AgAn (1,17  $\text{Cmol}_c \text{Kg}^{-1}\text{solo}$ ) (Tabela 10). Na época seca, o maior teor de Ca foi associado ao SAF-2 (4,46  $\text{Cmol}_c \text{Kg}^{-1}\text{solo}$ ), na profundidade 0-5 cm, enquanto que na profundidade 5-10 cm os maiores teores de Ca foram do SAF-1 e da AgAn. Já os maiores teores de Mg na época chuvosa foram verificados no SAF-1 (profundidade 0-5 cm). Quanto à variação sazonal, os teores de Mg da AgAn e da Mata na época seca foram superiores aos da chuvosa, na profundidade 0-5 cm.

Os valores de Ca e Mg têm relação com o manejo do agroecossistema, seja nos SAFs - com o uso de espécies perenes -, seja na área de AgAn, através da prática do pousio, que aumentam o *input* de MO, ajudando a elevar o teor de nutrientes (BARRETO et al., 2006; POWLSON et al., 2011). Logo, a disponibilização de nutrientes para as plantas é baseada no processo de ciclagem, através da deposição de MO no solo e ação dos microorganismos e da fauna (ROCHA & COSTA, 1998), reafirmando a necessidade da manutenção de sistemas perenes que permitam esse processo.

As concentrações de P foram semelhantes em todas as áreas e nas duas profundidades (0-5 e 5-10 cm), para a época chuvosa. Na época seca, o SAF-1 e a Mata apresentaram as menores concentrações na profundidade 0-5 cm, enquanto na profundidade 5-10 cm, as menores concentrações de P foram observadas no SAF-2 e na AgAn. Para tanto, em relação à sazonalidade, a época seca favoreceu maiores concentrações de P no SAF-2 e AgAn, quando comparadas à época chuvosa, na profundidade 0-5 cm (Tabela 10). E na profundidade 5-10 cm, o SAF-1 e Mata tiveram maiores concentrações na época chuvosa, quando comparada à época seca. O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, porém se movimenta muito pouco nos solos. Desse modo, manejos baseados no pouco revolvimento e manutenção de resíduos na superfície contribuem com aumento dos teores desse nutriente, principalmente na superfície, e a presença de sistema radicular mais profundo favorece a presença do P em profundidade (FALLEIRO et al., 2003; LOPES, 1998).

Os valores de saturação por bases (V%), em nenhuma das áreas atingiram 50%, e o solo sob as diferentes áreas de estudo pode ser considerado distrófico quanto a esse parâmetro (RONQUIM, 2010). Na época chuvosa, as áreas não apresentaram diferenças quanto aos valores de V% na profundidade 0-5 cm. Ainda nessa profundidade, na época seca, a Mata apresentou o maior V% (37,72), e a AgAn o menor (26,08). Na profundidade 5-10 cm, na época chuvosa, o maior V% foi observado no SAF-1 (34,31), o qual foi equivalente ao SAF-2 e a AgAn. Os maiores valores de V% na época seca foram observados nas áreas SAF-1 (25,8) e AgAn (25,75), sendo ambas iguais ao SAF-2. Barreto et al. (2006) estudaram as características químicas de solo sob manejo agroflorestal (com cacau), Mata Atlântica e pastagem no Sul da Bahia, e encontraram valores de V% de 32,13; 13,3 e 34,80 para as três áreas, respectivamente. Verifica-se que os valores encontrados no presente estudo foram superiores aos da Mata e próximos aos do cacau agroflorestal e da pastagem, observados nas pesquisas de Barreto et al. (2006).

### 4.3. Frações Oxidáveis do Carbono Orgânico

O arranjo espacial das áreas mostra que uma pode exercer influência sobre a outra, devido à proximidade e ao tamanho das mesmas. Essa forma de uso da terra é característica da Comunidade do Campinho da Independência, onde as áreas produtivas estão entremeadas às áreas de floresta. A prática agrícola tradicional, baseada no pousio, consórcio e rotação de culturas, para a produção de alimentos (aipim, milho, inhame, feijão), associadas ao manejo agroflorestal para o cultivo de espécies de importância econômica e conservação da biodiversidade, tem se mostrado eficiente para melhorar e manter os teores de COT, conforme descrito anteriormente.

Estudos vêm mostrando que a organização de agroecossistemas semelhantes a esse, baseados na formação de mosaicos onde os sistemas produtivos têm como princípio a relação com a biodiversidade e a intensificação ecológica, contribuem com diversos aspectos, principalmente os relacionados à biodiversidade associada, o que também proporciona e mantém a qualidade do solo. (KUMARASWAMY & KUNTE, 2013; JACKSON et al., 2012; PHALAN et al., 2011a; BENNETT et al., 2006; BENTON et al., 2003; LOREAU et al., 2003).

Assim, o manejo adotado mostra que o *input* de MO nas áreas está conservando e até elevando os teores de COT. Porém, além da quantidade de matéria orgânica em solos cultivados, também são observadas mudanças na sua qualidade, em relação ao grau de oxidação e labilidade (RANGEL et al., 2008; BLAIR et al., 1995). Quanto ao grau de oxidação, o carbono pode ser dividido em quatro frações: F1, F2, F3 e F4, em que as duas primeiras estão associadas à disponibilidade de nutrientes e formação de agregados, enquanto a F3 e F4 aos compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (CHAN et al., 2001).

Em relação à fração F1 na época chuvosa, na profundidade 0-5 cm, os maiores valores foram associados ao SAF-1 e a Mata, e os menores à AgAn e ao SAF-2 (Tabela 11). Na profundidade 5-10 cm, não houve diferenças significativas entre as áreas. Esse padrão pode ter relação com maior aporte de serrapilheira na Mata e no SAF-1 (2397 Kg.ha<sup>-1</sup> e 2071 Kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente), quando comparados ao SAF-2 (1595 Kg.ha<sup>-1</sup>), nessa época. Na área de AgAn, não foi realizada a quantificação da serrapilheira.

Na época seca, os resultados foram diferentes, e não houve diferenças entre as áreas na profundidade 0-5 cm. Já na profundidade 5-10 cm, a Mata e o SAF-1 apresentaram os maiores teores de C na F1, sendo esses próximos dos teores da AgAn; e o SAF-2 apresentou os menores teores. Assim, os teores de C na F1 do SAF-2, AgAn e da Mata aumentaram da época chuvosa para a época seca. Na profundidade 5-10 cm, apenas os teores de C da F1 do SAF-1 e da Mata aumentaram da época chuvosa para a época seca. Essa variação pode ser explicada com base nas alterações que ocorrem no processo de deposição e decomposição do material orgânico, fazendo com que na época chuvosa, de modo geral, apesar das maiores taxas de deposição, também ocorra maior taxa de decomposição desse material.

Para a fração F2, a Mata apresentou os maiores teores de C na época chuvosa, na profundidade 0-5 cm. Já no intervalo de 5 - 10 cm, os teores de C da fração F2 da Mata foram equivalentes aos do SAF-1 e da AgAn. Na época seca, não houve diferenças entre as áreas, tanto na profundidade 0-5 cm quanto de 5-10 cm; e F2 está associada à disponibilidade de nutrientes e formação de agregados assim como a F1 (CHAN et al., 2001). Logo, a maior deposição de material orgânico favorece aumentos nos teores dessa fração. Na profundidade 0-5 cm, as áreas de Mata e SAF-1 apresentaram maiores teores de C na época chuvosa, enquanto a AgAn e o SAF-2 não apresentaram diferenças entre as épocas avaliadas. Na profundidade 5-10 cm, a AgAn apresentou os maiores teores na época chuvosa, enquanto as demais áreas não tiveram diferenças entre as épocas.

**Tabela 11.** Frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4) em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para as épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty(RJ).

| Áreas                    | F1             |         | F2      |        | F3      |         | F4      |        |
|--------------------------|----------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
|                          | Chuvosa        | Seca    | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca    | Chuvosa | Seca   |
| <b>g kg<sup>-1</sup></b> |                |         |         |        |         |         |         |        |
| <b>0-5 cm</b>            |                |         |         |        |         |         |         |        |
| SAF-1                    | 1,15Aa         | 1,47Aa  | 1,72Ab  | 1,09Ba | 3,07Aab | 1,98Bc  | 3,36Aa  | 2,57Bb |
| SAF-2                    | 0,95Bb         | 1,78Aa  | 1,76Ab  | 1,33Aa | 2,63Ab  | 2,50Aab | 2,93Aa  | 3,03Ab |
| AgAn                     | 0,92Bb         | 1,91Aa  | 1,32Ac  | 1,77Aa | 2,88Ab  | 2,92Aa  | 3,20Aa  | 3,65Aa |
| Mata                     | 1,16Ba         | 1,82Aa  | 2,10Aa  | 1,26Ba | 3,41Aa  | 2,41Bbc | 3,54Aa  | 2,57Bb |
| CV(1)%                   | 5,11           | 14,99   | 5,94    | 30,09  | 6,88    | 8,39    | 7,92    | 6,66   |
| CV(2)%                   | 31,52          |         | 23,57   |        | 15,46   |         | 10,43   |        |
| Áreas                    | Chuvosa        | Seca    | Chuvosa | Seca   | Chuvosa | Seca    | Chuvosa | Seca   |
|                          | <b>5-10 cm</b> |         |         |        |         |         |         |        |
| SAF-1                    | 0,85Ba         | 1,50Aa  | 1,24Aab | 0,81Aa | 2,35Aab | 1,94Aa  | 2,47Aa  | 2,57Ab |
| SAF-2                    | 0,79Aa         | 0,88Ab  | 1,13Ab  | 0,63Aa | 2,23Ab  | 1,54Ba  | 2,35Aa  | 2,04Ab |
| AgAn                     | 0,94Aa         | 1,15Aab | 1,19Aab | 0,48Ba | 2,22Aa  | 1,66Aa  | 2,57Ba  | 4,42Aa |
| Mata                     | 0,90Ba         | 1,36Aa  | 1,37Aa  | 0,98Aa | 2,54Aa  | 1,84Ba  | 2,58Aa  | 2,31Ab |
| CV(1)%                   | 7,06           | 33,7    | 6,33    | 41,74  | 5,49    | 11,31   | 4,57    | 8,03   |
| CV(2)%                   | 26,66          |         | 39,06   |        | 19,71   |         | 23,24   |        |

Valores seguidos por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. CV(1)% - Coeficiente de variação entre áreas. CV(2)% - coeficiente de variação entre épocas.

De acordo com alguns autores (RANGEL et al., 2008; CHAN et al., 2001; BLAIR et al., 1995), as frações F1 e F2 estão associadas às áreas de maior deposição de material orgânico. Essas frações correspondem ao carbono de maior labilidade, prontamente depositado e de mais fácil decomposição.

No que diz respeito à fração F3, a Mata apresentou os maiores teores de C na profundidade 0-5 cm, os quais foram semelhantes estatisticamente ao SAF-1, na época chuvosa. Na profundidade 5-10 cm, nessa mesma época, a Mata e a AgAn apresentaram os maiores teores, sendo equivalentes aos do SAF-1. Na época seca, a área de AgAn apresentou o maior teor na profundidade 0-5 cm; enquanto o SAF-1 o menor teor; e o SAF-2 foi equivalente à Mata e a AgAn. No intervalo de 5-10 cm não houve variação dos teores de C desta fração. Na F4, houve diferenças entre as áreas apenas na época seca, onde a AgAn apresentou os maiores teores de C tanto na profundidade 0-5 cm, quanto de 5-10 cm. As frações F3 e F4 estão associadas aos compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (RANGEL et al., 2008; BLAIR et al., 1995).

Barreto et al. (2012) estudaram a variação das frações orgânicas do C (quanto ao grau de oxidabilidade) em duas ordens de solo (latossolo e cambissolo), sob Sistemas Agroflorestais de cacau no sul da Bahia. Esses autores observaram que, de modo geral, as frações declinaram com o aumento da profundidade do solo. As frações 1 e 2 foram 50% mais elevadas nas camadas superiores (0-5 e 5 - 10 cm), e mais de 50% do C orgânico foi encontrado na fração mais lábil (fração 1) em todas as profundidades para os dois tipos de solo, o que indica grande aporte de matéria orgânica nesses solos.

Nas duas épocas avaliadas (seca e chuvosa), a fração (F3+F4) apresentou maior proporção de COT quando comparada à fração (F1+F2) na profundidade 0-5 cm. Essa relação é de aproximadamente o dobro de uma para a outra. LOSS et al. (2010) ressaltam que, devido às diferentes funções desempenhadas por essas frações no solo, seria interessante que houvesse maior equilíbrio entre as mesmas. Assim, pode-se dizer que os manejos adotados estão favorecendo o acúmulo de C nas frações de maior estabilidade, o que pode ter relação com os processos de deposição e transformação do carbono mediados pelos organismos que compõem a biota do solo, favorecendo maiores teores de COT, bem como processos que levam à formação e estabilidade de agregados.

Segundo Leite et al. (2003), após 16 anos de cultivo agrícola, mesmo sob diferentes estratégias de manejo, ocorre redução nos teores de C orgânico total em relação à Mata Atlântica, indicando a susceptibilidade da oxidação do C do solo sob vegetação natural, quando esse é submetido à agricultura. No presente estudo, apesar das mudanças ocorridas nos sistemas em decorrência da conversão da área de floresta para agricultura, nas áreas avaliadas, não está ocorrendo redução nos teores de COT ao longo do tempo. As pesquisas de Leite et al. (2003) ressaltam ainda que os estoques de C são determinados pelo balanço das entradas, como o aporte de resíduos vegetais e a aplicação de compostos orgânicos; e as saídas, por meio da decomposição da matéria orgânica do solo. Nesse contexto, pode-se inferir que está ocorrendo equilíbrio nesse balanço e eficiência nas áreas estudadas (AgAn, SAF-1 e SAF-2), no sentido de melhorar os estoques de C no solo, refletindo assim no armazenamento de C nas frações mais estáveis.

#### **4.4. Agregação do Solo**

A agregação do solo é um dos fatores que promove melhorias na sua qualidade, e pode ser condicionado por uma combinação de fatores, como cobertura vegetal e formas de manejo. Os valores de DMP (diâmetro médio ponderado) e DMG (diâmetro médio geométrico) (Tabela 12) encontrados podem ser explicados pela intensa deposição de carbono

no solo dessas áreas, que é um dos principais agentes promotores da agregação, conforme relatam muitos autores (ROSSETTI et al., 2012; SILVA et al., 2011; COUTINHO et al., 2011; Loss et al., 2009). Apesar das diferenças de manejo de cada sistema (SAF-1, SAF-2 e AgAn), quando comparados à Mata, as áreas estão proporcionando as mesmas condições para a agregação do solo.

O DMP e o DMG dos agregados são variáveis que contribuem para a compreensão da dinâmica da agregação do solo, e o manejo, sob diferentes tipos de cobertura vegetal, pode influenciar o comportamento dessas variáveis. Desse modo, a avaliação das mesmas traz elementos para entender como os manejos incidem sobre a qualidade do solo. Tanto para a época seca quanto para a época chuvosa, não houve diferenças significativas entre os valores do DMP, que variou em torno de 4,0 mm. Além disso, mais de 96% dos agregados de todas as áreas analisadas se encontram na classe de diâmetro acima de 2,0 mm.

Os valores de DMG na época chuvosa não foram diferentes significativamente entre as áreas. Para a época seca na Mata, observou-se tamanho inferior em relação aos agregados das outras áreas, o que demonstra o efeito da sazonalidade na área de Mata, que não influenciou os Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e a área de Agricultura Anual (AgAn). Nesse viés, Silva et al.(2011) estudaram os atributos do solo em diferentes sistemas de uso no Sul da Bahia e encontraram valores semelhantes (DMG em torno de 4,0 mm) para as áreas de SAFs e floresta nativa. Esses autores também observaram maior presença de agregados (mais de 90%) na classe acima de 2,0 mm, e variação entre os valores de DMG dos diferentes SAFs avaliados, onde alguns desses sistemas apresentaram valores de DMG menores em relação à floresta nativa. Assim, constata-se que as diferentes formas de manejo influenciaram na dinâmica de agregação do solo.

**Tabela 12.** Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em área de Sistemas Agroflorestais SAF (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em diferentes épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ).

| Área   | DMP          |         | DMG     |         |
|--------|--------------|---------|---------|---------|
|        | -----mm----- |         |         |         |
|        | 0-5 cm       |         |         |         |
|        | Chuvosa      | Seca    | Chuvosa | Seca    |
| SAF-1  | 4,80 Aa      | 4,89 Aa | 4,44 Aa | 4,62 Aa |
| SAF-2  | 4,81 Aa      | 4,89 Aa | 4,51 Aa | 4,62 Aa |
| AgAn   | 4,89 Aa      | 4,88 Aa | 4,68 Aa | 4,59 Aa |
| Mata   | 4,89 Aa      | 4,76 Ba | 4,62 Aa | 4,04 Ab |
| CV(1)% | 1,52         | 1,28    | 3,74    | 4,83    |
| CV(2)% | 1,47         |         | 5,10    |         |

Valores seguidos por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. CV(1)% - Coeficiente de variação entre áreas. CV(2)% - coeficiente de variação entre épocas.

O manejo agroflorestal e o sistema de pousio promovem pouca alteração na estrutura do solo, o que pode contribuir com a ocorrência de maiores espaços porosos e com a infiltração de água no solo, ocasionando menor ocorrência de processos erosivos (CARVALHO et al., 2004). As diferentes formas de manejo influenciam a ação de organismos do solo que contribuem para o seu condicionamento físico, principalmente nos sistemas menos perturbados (PENG et al., 2013). Em sistemas de manejo mais intensivos, com o uso de mecanização agrícola, esse processo é altamente afetado, como relatado por autores como Losset al.(2009) e Pinheiro et al. (2004).

Apenas a Mata apresentou diferenças entre as épocas avaliadas, com maior DMP no período chuvoso e menor no seco. Esse resultado pode ter relação com a variação da umidade do solo, que proporciona maior desagregação de suas partículas, em condições de ressecamento, como foi encontrado no estudo de Loss et al. (2009). Nessa pesquisa, os autores observaram que no período seco os valores de DMG e DMP foram menores em relação ao período chuvoso, na profundidade 0-5 cm. As demais áreas (SAF-1, SAF-2 e AgAn) não apresentaram essa diferença, o que pode ter relação com a maior eficiência em reter a umidade do solo, mesmo no período de menor disponibilidade de água.

Existe forte relação entre a agregação do solo e os teores de COT. Barreto et al. (2006) relatam que não ocorreram mudanças significativas nos conteúdos de COT dos diferentes sistemas avaliados (cacau agroflorestal, floresta e pastagem), e que esse resultado se dá em decorrência de sistemas de manejo que preservam a matéria orgânica do solo, resultando em altos teores de carbono. Além disso, esses autores sugerem que o menor revolvimento do solo proporciona maior preservação dos macroagregados e que, por esses motivos, os teores de COT permanecem elevados. Desse modo, os elevados teores de COT, associados à ação dos organismos, podem estar contribuindo para a manutenção dos índices de agregação (DMP e DMG) nas áreas. Cabe destacar que a maior concentração de COT nas frações mais recalcitrantes ajuda a preservar o carbono e aumentar a capacidade de agregação do solo, em conformidade com os estudos de Pinheiro et al. (2004), que mostram que quanto maior o teor de COT no solo, maior é o tamanho do DMP.

#### **4.5. Biomassa Microbiana do Solo**

De modo geral, os dados mostram que existe variação significativa entre os diferentes sistemas de manejo, considerando as variáveis da biomassa microbiana avaliadas e as duas épocas do ano (seca e chuvosa) (Tabela 13). Com relação ao carbono da biomassa microbiana (C-BMS), o SAF-1 e a Mata apresentaram os maiores teores na época chuvosa, enquanto o SAF-2 e a AgAn não proporcionaram diferenças entre as épocas. Para o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BMS), houve diferenças estatísticas apenas na AgAn e no SAF-1, onde a época chuvosa proporcionou as maiores médias. Em relação à respiração basal do solo (RBS), novamente apenas a Mata e o SAF-1 mostraram variação entre as épocas, estando a época chuvosa com a maior média. Quanto aos índices  $qCO_2$  e  $qMIC$ , o primeiro apresentou diferenças entre as épocas apenas na área de AgAn, na qual a época chuvosa proporcionou a maior média. Já o segundo apresentou diferenças apenas nas áreas de Mata e SAF-1, em que nas duas, a época chuvosa proporcionou a menor média em relação à época seca.

A variação das condições macroclimáticas tem efeito na atividade e biomassa microbiana do solo, o que explica essa diferença (WHITE & GOSZ, 1987). Variações como essas também foram observadas por Gama-Rodrigues et al. (2005), trabalhando com N, C e atividade da BMS do solo em plantações de eucalipto, onde o aumento da precipitação pluviométrica nas regiões estudadas levou ao aumento nos teores de N-BMS e de C-BMS. Na mesma perspectiva, trabalhos conduzidos por Santiago et al. (2013), estudando o N mineral e N-BMS em SAFs com palma de óleo na Amazônia Ocidental, verificaram que as variações encontradas também podem ser reflexo da cobertura do solo e do sistema de manejo, uma vez que os mesmos influem sobre os processos que ocorrem no solo. Black et al. (2003) sugerem que os fatores ambientais, como localização geográfica, vegetação, uso do solo, cobertura do solo e tipo de solo podem influenciar a biomassa microbiana.

Diferentes estudos na Amazônia têm constatado significativa redução na população e atividade microbiana no solo na época menos chuvosa (LUIZÃO et al. 1992; MELZ & TIAGO, 2009). É possível que as menores concentrações de N-BMS do solo na época seca, para as áreas de AgAn e SAF-1, estejam associadas à redução da população e da atividade

microbiana durante essa época. Outros estudos, tanto na Amazônia como em outras regiões do Brasil, também constataram a influência da precipitação pluviométrica sobre a concentração de N-BMS no solo. No estudo de Cenciani et al. (2009), por exemplo, registrou-se redução de mais de 80% do N-BMS na época menos chuvosa. Conforme Gama-Rodrigues et al. (2005), a maior imobilização de C e N pela BMS ocasionada pela precipitação pluviométrica pode resultar da maior taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS).

Para o N-BMS, não houve diferenças significativas entre as áreas na época seca. Por outro lado, na época chuvosa, a área de AgAn apresentou a maior média. O N é um nutriente abundante no solo, porém apenas uma pequena fração fica disponível para as plantas na forma inorgânica, ficando a maior parte complexada na forma orgânica. A pouca disponibilidade desse nutriente, associada a sua essencialidade, faz com que o mesmo seja limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas (CLEIN & SCHIMEL, 1995). Ao afetar a atividade microbiana, a pluviosidade também influencia a dinâmica do N no solo. Desse modo, a BMS, apesar de ser o principal agente de transformação de N orgânico em N inorgânico, ou seja, disponibiliza nitrogênio assimilável para as plantas, também pode agir enquanto agente imobilizador, mesmo que temporário, competindo com as plantas. O estudo do N-BMS é importante para a compreensão dos efeitos da ação microbiana sobre esse elemento (SANTIAGO et al. 2013).

A quantidade de N-BMS está associada à capacidade dos microorganismos em imobilizar o N orgânico e promover a sua mineralização. A maior concentração de N-BMS na época chuvosa para a área de AgAn pode ser resultado da alta atividade microbiana nessa área para esse período, e a disponibilidade de substrato, advindo da biomassa vegetal. Logo, tal situação pode ocorrer em resposta ao aumento na deposição de biomassa vegetal no solo, promovendo maior atividade dos microorganismos e, em consequência, maior imobilização de N, posteriormente disponibilizado; ou simplesmente devido à baixa qualidade da MOS, que permite que ocorra mais imobilização de N. Zamam & Chang (2004) relataram que a temperatura e umidade do solo foram mais importantes do que a qualidade do substrato vegetal para o balanço de N em Sistemas Agroflorestais, o que pode explicar a menor quantidade de N-BMS nas outras áreas (SAF-1, SAF-2 e Mata), apesar da maior diversidade vegetal.

Em relação às concentrações de C-BMS, na época chuvosa, verificou-se que a Mata apresentou os maiores teores, diferindo das áreas de SAF-1, SAF-2 e AgAn, as quais não apresentaram diferença significativa entre si. Em contrapartida, na época seca, a Mata diferiu apenas do SAF-1, que por sua vez, promoveu as menores concentrações de C-BMS. Além disso, nessa época, o SAF-2 proporcionou maiores valores de C-BMS quando comparado a AgAn.

De acordo com Araujo & Melo (2012), o conteúdo de C-BMS pode refletir o conteúdo de matéria orgânica no solo. Dessa forma, as variações encontradas nas áreas podem ser explicadas pelo manejo, bem como pela composição da cobertura vegetal (ARAUJO & MELO, 2012; LIU et al. 2012), determinando a quantidade e qualidade da matéria orgânica disponível, e influenciando na atividade da BMS (SIMÕES et al., 2010). Assim, as maiores concentrações de C-BMS encontradas na área de SAF-2 e Mata podem ser explicadas pela composição florística, disponibilidade de matéria orgânica no solo e, consequentemente, pela relação C/N da matéria orgânica que possibilita um armazenamento/imobilização do C na BMS.



**Tabela 13.** Respiração basal do solo (RBS), carbono (C-BMS) e nitrogênio (N-BMS) da biomassa microbiana, quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano do solo ( $qMIC$ ) em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, referentes a duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ).

| Áreas  | C-BMS                         |           | N-BMS  |           | RBS   |          | $qCO_2$  |           | $qMIC$   |        |
|--------|-------------------------------|-----------|--|-----------|---|----------|----------|-----------|----------|--------|
|        | mg kg <sup>-1</sup> solo seco |           | mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> |           | mg C-CO <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> BMS - C h <sup>-1</sup> |          | %        |           |          |        |
|        | Chuvosa                       | Seca      | Chuvosa  | Seca      | Chuvosa   | Seca     | Chuvosa  | Seca      | Chuvosa  | Seca   |
| SAF-1  | 390,34 Ab                     | 45,63 Bc  | 350,03 Ab  | 48,83 Ba  | 2,72 Aab  | 0,62 Bb  | 7,31 Aa  | 13,95 Abc | 11,09Aab | 1,34Bc |
| SAF-2  | 322,95 Ab                     | 107,81 Aa | 285,47 Ab  | 86,38 Aa  | 2,52 Ab   | 1,15 Aab | 8,24 Aa  | 8,89 Ac   | 9,85Aab  | 3,18Aa |
| AgAn   | 284,35 Ab                     | 63,88 Abc | 518,32 Aa  | 89,91 Ba  | 2,98 Aab  | 1,54 Aa  | 11,31 Aa | 24,19 Ba  | 8,14Ab   | 1,40Ac |
| Mata   | 708,18 Aa                     | 92,90 Bab | 366,51Ab   | 108,94 Aa | 4,047 Aa  | 1,35 Ba  | 5,77 Aa  | 14,53 Ab  | 16,40Aa  | 2,48Bb |
| CV(1)% | 22,82                         | 20,63     | 9,85   | 30,33     | 20,16   | 20,23    | 33,68    | 15,18     | 26,67    | 11,44  |
| CV(2)% | 90,86                         |           | 59,34  |           | 76,73   |          | 53,00    |           | 87,39    |        |

Valores seguidos por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. CV(1)% - Coeficiente de variação entre áreas. CV(2)% - coeficiente de variação entre épocas.

Liu et al. (2012), estudando o efeito de três tipos diferentes de composição florestal (coníferas, latifoliadas e mistura de coníferas e latifoliadas) para a recuperação de área degradada, avaliaram o C-BMS e verificaram que houve diferenças significativas entre as diferentes coberturas vegetais, latifoliada (148,5 mg Kg<sup>-1</sup> de solo), mistura de conífera-latifoliada (127,7 mg kg<sup>-1</sup>) e plantação de coníferas (100,4 mg kg<sup>-1</sup>), quando comparado com o controle (62,0 mg kg<sup>-1</sup>), onde as unidades possuem cobertura vegetal de gramíneas. Os resultados demonstram a influência da cobertura vegetal nas concentrações de C-BMS no solo.

No que diz respeito à respiração basal do solo (RBS), em ambas as épocas, a Mata apresentou os maiores valores, no entanto, essa área diferiu significativamente apenas do SAF-2, na época chuvosa, e do SAF-1, na época seca. Só ocorreram diferenças significativas entre os SAFs e a AgAn na época seca, onde a AgAn proporcionou maiores concentrações de RBS. É interessante ressaltar que a RBS representa a taxa de liberação de CO<sub>2</sub> (ARAÚJO & MELO, 2012). Assim, os resultados observados nesse estudo podem indicar maior atividade da BMS nas áreas de AgAn e Mata, na época chuvosa e seca, e no SAF-1, na época chuvosa, o que pode estar relacionado ao processo acelerado de decomposição da MO na área de AgAn e à maior disponibilidade de MO na área de Mata e SAF-1 (SIMÕES et al., 2010).

Em relação aos dados de  $qCO_2$ , na época chuvosa, não houve variação significativa entre as áreas. Na época seca, o maior valor está associado à área de AgAn, a qual diferiu das demais áreas (Tabela 13). O valor do SAF-1 foi semelhante estatisticamente aos da Mata e do SAF-2, enquanto o valor observado no SAF-2 foi significativamente menor quando comparado ao da Mata. Os valores de  $qCO_2$  têm estreita relação com a taxa de liberação de CO<sub>2</sub>, valores mais elevados desse índice significam perdas de C. Logo, os valores indicam como cada sistema está reagindo em relação ao estoque de carbono, podendo ser fonte ou dreno do mesmo para o solo (MELLONI et al., 2008).

O SAF-2 apresentou maior C-BMS e menor  $qCO_2$ , na época seca, o que pode indicar que essa área estaria atuando como fonte de carbono ao solo nesse período, enquanto a área AgAn, que apresentou os menores teores de C-BMS e maiores de  $qCO_2$  nesse período, poderia estar atuando enquanto dreno de carbono do solo. Simões et al (2010), estudando os efeitos de plantios de *Acacia mangium* sobre o carbono orgânico e biomassa microbiana do solo no cerrado de Roraima, relataram um padrão semelhante, onde maiores e menores valores do C-BMS e  $qCO_2$ , respectivamente, foram observados nos plantios de acácia.

Com relação ao  $qMIC$ , na época chuvosa, a menor média foi observada na AgAn, e a maior na Mata, enquanto o SAF-1 e SAF-2 apresentaram médias semelhantes. Na época seca, o SAF-2 apresentou a maior média (3,18%); a Mata média intermediária (2,48%); e a AgAn e o SAF-1 as menores médias (1,40% e 1,34%, respectivamente). Pezarico et al. (2013), estudando a BMS em áreas sob diferentes sistemas de manejo (SAFs, erval silvipastoril, lavoura de soja e fragmento de vegetação nativa), observaram que não houve diferenças significativas entre os valores de  $qMIC$  das áreas avaliadas. Esses autores atribuem a pouca variação à idade relativamente jovem dos SAFs, que apesar da diversificação de espécies, têm sua estabilidade influenciada pelo tempo de adaptação do sistema, para que o mesmo promova o incremento de matéria orgânica em quantidade e qualidade, favorecendo o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo. Logo, nesse estudo, as variações encontradas mostram que os SAFs estão mais próximos dos valores da Mata, principalmente na época chuvosa, uma vez que na época seca os valores do SAF-1 foram equivalentes à AgAn.

Os menores valores encontrados para a área de agricultura nas duas épocas podem ser explicados pelo estresse que leva à diminuição da capacidade da BMS de utilização do carbono, proporcionando menores valores de  $qMIC$  (WARDLE, 1994). Essa explicação também pode ser associada à diminuição dos valores de  $qMIC$  da época chuvosa para a época seca.

## **4.6. Fungos Micorrízicos Arbusculares**

### **4.6.1. Número de esporos e espécies de fungos micorrízicos arbusculares**

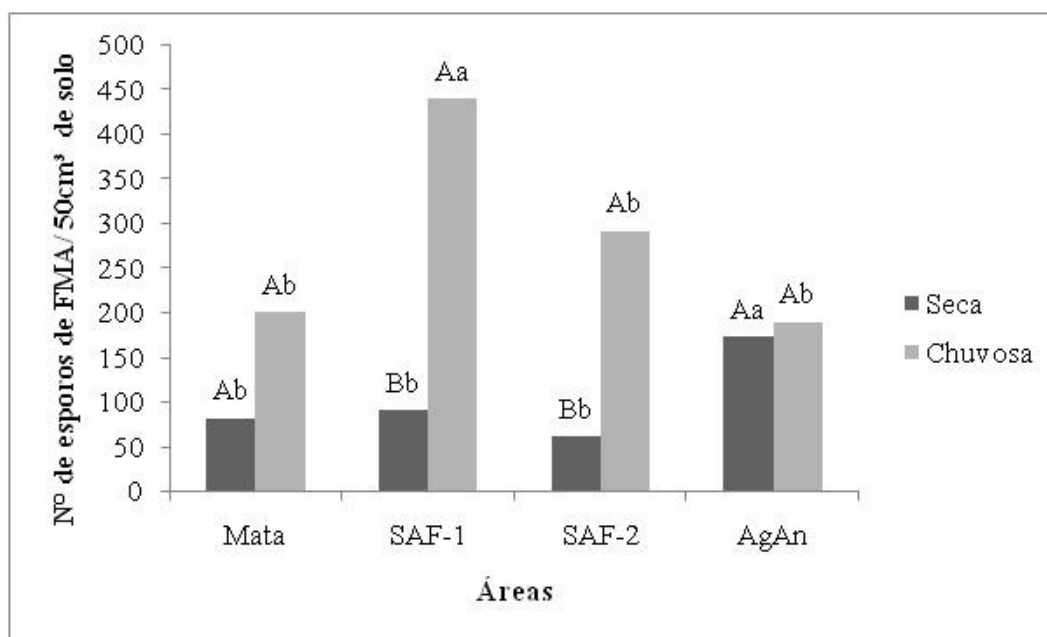
A avaliação da densidade de esporos para as quatro áreas estudadas na época seca variou de 61 a 172 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo. As áreas que apresentaram a menor e a maior média (61 e 172 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo) foram o SAF-2 e a AgAn, respectivamente. A AgAn, com maior média, foi diferente estatisticamente das demais áreas, que apresentaram médias menores e semelhantes entre si, conforme disposto na Figura 9. Logo, a ocorrência de um maior número de esporos para a AgAn, nesse período, pode estar relacionada à condição de maior estresse proporcionado pela forma de manejo da área associado ao período sazonal, que influenciam a produção de esporos para garantir a reprodução e a sobrevivência dos fungos.

Uma das hipóteses apontadas por Cardoso et al. (2003) para explicar o número elevado de esporos encontrado em áreas de plantio de café foi o baixo nível de preparo do solo, que conseqüentemente causa menor perturbação da área. Esses autores ainda ressaltam que o número elevado de esporos poderia estar associado à época seca no momento da coleta, e às diferenças ambientais, como a alta temperatura e a elevada intensidade luminosa, aumentando a esporulação de FMA (HETRICK, 1984; BRUNDRETT, 1991; GUADARRAMA & ALVAREZ-SANCHÉZ, 1999). A maior quantidade de esporos na área de café nas camadas mais superficiais do solo em relação aos Sistemas Agroflorestais, encontrados por Cardoso et al. (2003), foi relacionada a tais condições ambientais. No estudo aqui apresentado, para a área AgAn, também pode-se fazer essa associação, uma vez que essas características imperam nessa área, quando comparadas aos SAFs e à Mata, que são áreas mais sombreadas, onde o solo apresenta menor temperatura.

Observa-se que a semelhança das áreas de Mata, SAF-1 e SAF-2 para a densidade de esporos pode ser explicada na medida em que estas apresentam semelhanças estruturais e funcionais, além de serem áreas perenes, e o manejo dos SAFs não proporcionar revolvimento do solo. A área AgAn possui manejo com capina e plantio, que em alguns momentos do ano promove perturbação, o que pode vir a ocasionar distúrbios na comunidade fúngica. Também cabe ressaltar que a composição vegetal também influencia a comunidade de FMA, como afirmam alguns autores (BERBARA et al., 2006; CAPRONI et al., 2005). Desse modo, a área de AgAn pode estar favorecendo espécies que têm maior capacidade de esporular. Além disso, fato interessante foi relatado por Cardoso et al. (2003), que ao estudarem a ocorrência de esporos em profundidade de solos sob monocultura de café e sistema agroflorestal, observaram que o número de esporos na área de café foi maior em relação ao SAF, porém, em profundidade, o número de esporos declinou menos nas áreas de SAF, do que na monocultura de café. Desse modo, a explicação para tal fato estaria relacionada à presença de mais raízes em profundidade nos SAFs, o que ocasiona distribuição diferenciada da presença de esporos.

Na época chuvosa, o SAF-1 foi a área que apresentou a maior média de esporos (439 esporos por 50cm<sup>3</sup>), índice diferente verificado estatisticamente em relação demais áreas. Ao contrário do que foi observado na época seca, a AgAn não diferiu das áreas de SAF-2 e Mata, e, aliado a essas áreas, apresentou as menores médias de abundância de esporos.

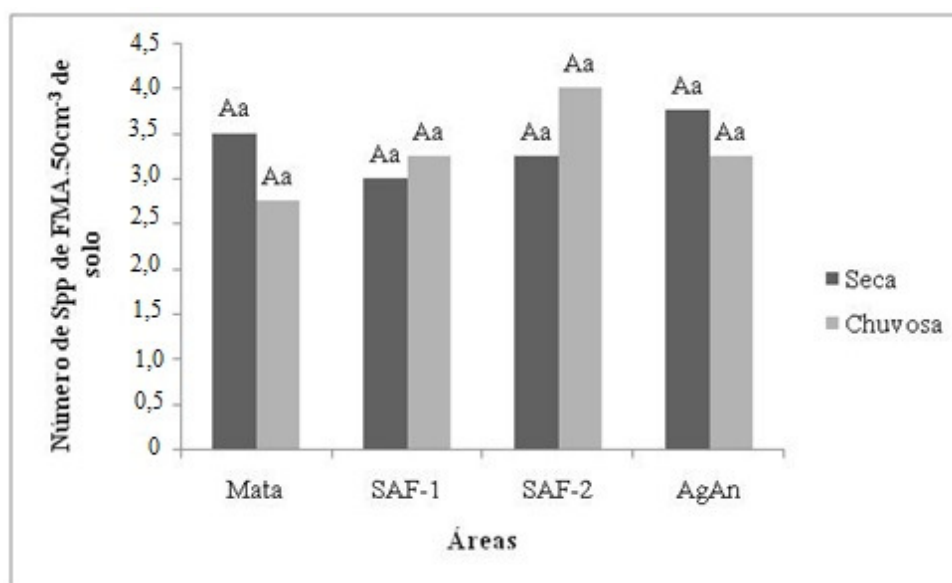
De modo geral, verifica-se que houve aumento significativo do número de esporos (esporos/50cm<sup>3</sup> solo) da época seca para a época chuvosa nas áreas de SAF-1 e SAF-2. Na literatura, são poucos os relatos sobre esse tipo de mudança. Na maioria dos casos, o maior número de esporos e estrutura de resistência dos FMA associa-se à época seca, e na época chuvosa supõem-se predominar outras estruturas, como as hifas, que indicam a fase mais ativa desses organismos (CARDOSO et al. 2003; GUADARRAMA & ALVAREZ-SANCHÉZ, 1999). Nessa mesma região, Silva et al. (2006), estudando indicadores de qualidade do solo no entorno da Parque Nacional da Serra do Mar, em Ubatuba(SP), encontraram esse mesmo padrão de mudança para algumas das áreas avaliadas (banana e floresta).



**Figura 9.** Número de esporos em áreas de Mata, Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e Agricultura Anual (AgAn) referentes a duas épocas, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ). Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre épocas e mesma letra minúscula não diferem entre áreas pelo teste T de Bonferroni a 5%.

É típica a associação simbiótica com os FMA em comunidades arbóreas de ambientes tropicais (SIQUEIRA & SAGGIN-JÚNIOR, 2001; ONGUENE & KUYPER, 2001). No entanto, o número de esporos da área de Mata sempre esteve inferior ou equivalente às outras formas de manejo (SAF-1 e AgAn), padrão semelhante também observado para o SAF-2. Silva et al. (2006) observaram em seus estudos que a área de vegetação nativa foi a que apresentou menor número de esporos em relação aos outros agroecossistemas com influência antrópica. Esse padrão pode ter relação com a maior estabilidade do ecossistema, com horizontes superficiais mais protegidos contra perturbações bruscas, bem como com menor competição por nichos, garantindo a sobrevivência das espécies com baixa esporulação (CAPRONI et al., 2003; JANOS, 1996).

Em relação à riqueza média de espécies de FMA, pode-se observar na Figura 10 que não houve diferenças significativas entre as áreas, tanto na época seca, quanto na época chuvosa, bem como entre essas épocas. A riqueza de espécies pode ser subestimada pelo método de recuperação de esporos, uma vez que os FMA podem estar presentes em outras formas.



**Figura 10.** Número médio de espécies de FMA em áreas de Mata, Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) e Agricultura Anual (AgAn) referentes a duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ). Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre épocas e mesma letra minúscula não diferem entre áreas pelo teste T de Bonferroni a 5%.

#### 4.6.2. Composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares

Foi identificado um total de onze espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pertencentes a seis gêneros, conforme apresentando na Tabela 14. Dessas espécies, nove foram encontradas na época chuvosa e sete na época seca, sendo cinco dessas espécies comuns às duas épocas. De modo geral, para todas as áreas, o maior número de espécies é do gênero *Acaulospora* (cinco espécies), seguido por *Glomus* (duas espécies); enquanto para os gêneros *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Racocetra* e *Rhizophagus* foram identificadas apenas uma espécie. As espécies encontradas para cada gênero correspondem a 45%, 18%, 9%, 9%, 9% e 9 % do total de espécies, respectivamente.

O número de espécies encontradas nesse estudo é relativamente baixo quando comparado aos de outros estudos em florestas tropicais, onde esse número varia de 27 espécies na China (ZHAO et al. 2003), 13 na Costa Rica (LOVELOCK et al., 2003), 24 no Panamá (MANGAN et al., 2004), 16-25 espécies no México (GUADARRAMA - CHAVÉZ et al. 2000; GUADARRAMA & ALVAREZ-SANCHÉZ, 1999;), 47 na Amazônia (STUMER & SIQUEIRA, 2011), e 30 na Mata Atlântica (SILVA et al., 2006). No estudo de Stumer & Siqueira (2011) na Amazônia, onde esses autores estudaram a riqueza e abundância de esporos em áreas sob diferentes formas de manejo, os autores constataram que a riqueza média das áreas de pastagem e floresta intocada foi menor (7,3 e 6,1 espécies por amostra, respectivamente) do que em outras áreas. Essas duas áreas possuem características bem diferentes; e enquanto a área de pastagem passou por diversos ciclos de exploração, a floresta nunca foi explorada, demonstrando que, apesar das diferentes formas de manejo associadas, outros mecanismos influenciam na riqueza de espécies.

Os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* foram encontrados em todas as épocas do ano e nas quatro áreas estudadas. Esses gêneros também foram os mais dominantes no estudo de Sturmer & Siqueira (2011) na Amazônia. Parece que esse é um padrão que ocorre em

florestas tropicais de diversas regiões, como foi relatado por alguns autores: nas florestas da China (ZHANG et al., 2004; ZHAO et al., 2003), Panamá (MANGAN et al., 2004), Brasil (ZANGARO et al., 2007; STÜRMER & SIQUEIRA, 2006; SILVA et al., 2006) e México (GUADARRAMA-CHAVÉZ et al., 2007). Os outros gêneros (*Entrophosporasp.*; *Gigaspora* sp. e *Scutellospora* sp.) apresentaram menor ocorrência, sendo representados por apenas uma espécie, onde os dois primeiros ocorreram no SAF-2 na época chuvosa, e o último na AgAn, na época seca. Baixo número de esporos de *Scutellospora* e *Gigaspora* também foi relatado em estudos na Costa Rica (PICONE, 2000; JOHNSON & WEDIN, 1997), no cerrado do Brasil (SIQUEIRA et al., 1989) e na Mata Atlântica (SILVA et al., 2006), além dos gêneros *Rhizophagus* sp. e *Racetra* sp. que antes eram enquadrados enquanto *Glomus* sp. e *Scutellospora* sp. (INVAN, 2013), respectivamente, que ocorreram com apenas uma espécie.

A maior ocorrência de espécies do gênero *Acaulospora* é parcialmente explicada por Stürmer & Siqueira (2006) pela adaptação desse gênero às condições de baixo pH e baixa fertilidade do solo, bem como a dominância desse gênero controlado pela distribuição uniforme das chuvas ao longo do ano (LOVELOCK et al. 2003), condição encontrada para a região de estudo. Além disso, esses dois gêneros (*Glomus* e *Acaulospora*) possuem alta capacidade de adaptação a agroecossistemas sob diferentes formas de uso (STÜRMER & SIQUEIRA, 2011).

As espécies *Acaulospora scrobiculatae* *Glomus macrocarpum* foram encontradas em todas as áreas nas duas épocas avaliadas, apresentando frequência relativa acima de 50% (Tabela 19). As espécies *Acaulospora mellea* e *Acaulospora tuberculata* apresentaram as menores frequências para a época seca em todas as áreas. Para a área AgAn, foi observada menor frequência de *Acaulospora mellea* na época chuvosa, e na época seca não foi encontrado nenhum esporo. Enquanto a espécie *Glomus tortuosum* teve maior frequência na época seca, não ocorrendo na época chuvosa nas áreas SAF-1, SAF-2 e AgAn; *Entrophospora infrequens*, *Gigaspora* sp. e *Racocetra fulgida* ocorreram em apenas um período, onde os dois primeiros ocorreram no SAF-2 na época chuvosa, e o último na AgAn na época seca, com frequência de 25, 50 e 50%, respectivamente. *Acaulospora foveata* ocorreu apenas no SAF-1 e SAF-2, na época chuvosa, com frequência de 25 e 50%, e *Acaulospora laevis* na Mata, na época seca, com frequência de 100%.

Heijden et al. (2003) comentam que as variações nos efeitos sobre o crescimento das plantas pelas diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares parecem ser maiores quanto ao gênero do que quanto à espécie ou isolado, indicando que é mais provável observar efeitos complementares da diversidade de espécies quando diferentes gêneros desses fungos estão presentes no solo.

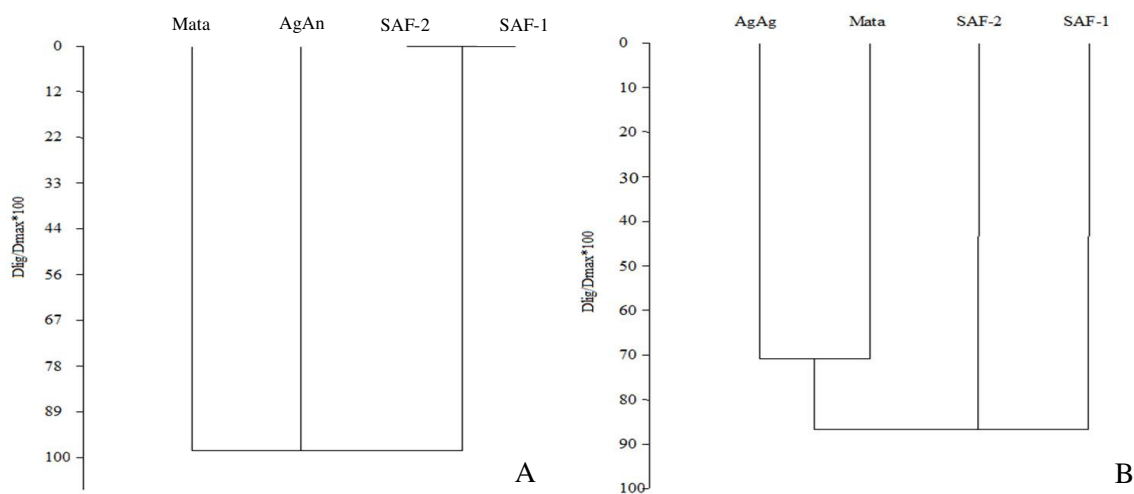
**Tabela 14.** Frequência relativa de espécies de FMA em área de Sistemas Agroflorestais SAFs (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ).

| Espécies   | Frequência relativa (%) |      |         |      |         |      |         |      |
|--|-------------------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
|  | SAF-1                   |      | SAF-2   |      | AgAn    |      | Mata    |      |
|  | Chuvosa                 | Seca | Chuvosa | Seca | Chuvosa | Seca | Chuvosa | Seca |
| <i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos  | 25                      | -    | 50      | -    | -       | -    | -       | -    |
| <i>Acaulospora laevis</i> Gerdemann & Trappe   | -                       | -    | -       | -    | -       | -    | -       | 100  |
| <i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck  | 100                     | 50   | 100     | 25   | 75      |      | 100     | 25   |
| <i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe   | 50                      | 100  | 75      | 75   | 75      | 100  | 75      | 50   |
| <i>Acaulospora tuberculata</i> Janos & Trappe  | -                       | 25   | -       | 50   | 75      | 25   | 50      | -    |
| <i>Entrophosporainfrequens</i> (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneider emend. Oehl & Sieverd. | -                       | -    | 25      | -    | -       | -    | -       | -    |
| <i>Gigaspora</i> sp.   | -                       | -    | 50      | -    | -       | -    | -       | -    |
| <i>Rhizophagus Clarus</i> (T. H. Nicolson & N. C. Shenck) C. Walker & A. Schubler.           | 25                      | -    | -       | -    | -       | -    | 50      | -    |
| <i>Glomus macrocarpum</i> Tul. & C. Tul.   | 100                     | 75   | 100     | 100  | 100     | 75   | 100     | 25   |
| <i>Glomus tortuosum</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.  | -                       | 75   | -       | 75   | -       | 75   | 25      | 75   |
| <i>Racocetra fulgida</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.                     | -                       | -    | -       | -    | -       | 50   | -       | -    |

### 4.6.3. Análise multivariada de agrupamento

As áreas (SAF-1, SAF-2, AgAn e Mata) foram agrupadas de acordo com a ocorrência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), nas duas épocas do ano, seca e chuvosa, e os dendrogramas resultantes da análise multivariada de *Cluster* podem ser observados na Figura 11 A e B. Na época seca, foram formados três grupos, onde as áreas de AgAn, Mata e os SAFs foram separadas. Os SAFs apresentaram alta similaridade em relação à ocorrência de espécies de FMA nessa época. Na época chuvosa, a formação dos grupos foi diferente, uma vez que os SAFs apresentaram distância de ligação de aproximadamente 95% entre si e entre a área de Mata e AgAn. A Mata e a AgAn foram mais similares com distância de 70%.

O agrupamento das áreas mostra que houve variação quanto à riqueza de espécies e, conseqüentemente, alterações na estrutura da comunidade fúngica entre as áreas, nas diferentes épocas. Assim, apesar da presença de espécies com ocorrência mais ampla, em todas as áreas e épocas também houve a presença de outras espécies com ocorrência mais restrita, que foram observadas em apenas uma área ou época. O contrário foi observado por Stürmer & Siqueira (2011), onde a mudança de um ecossistema de floresta intocada a outras formas de uso, com influência antrópica, apenas influenciou a frequência e abundância de algumas espécies de fungos, enquanto a estrutura geral da comunidade e riqueza das espécies não foi alterada.



**Figura 11.** Dendrograma da ocorrência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nas áreas Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata) agrupados através da análise de Cluster pela distância euclidiana no município de Paraty(RJ). Diagrama A - época seca; Diagrama B - época chuvosa.

De modo geral, apesar da proximidade entre as áreas, foi observada variação quanto à ocorrência de algumas espécies de FMA entre as áreas e nas diferentes épocas. Na época seca, no SAF-1 e no SAF-2, foram observadas as mesmas espécies. Ainda na época seca, a AgAn e a Mata apresentaram maior número de espécies em comum. Desse modo, essas diferenças podem ser atribuídas às diferenças de composição vegetal entre as áreas e a proximidade entre as mesmas, conforme demonstrado na Figura 3. Os SAFs apresentam maior similaridade florística, enquanto a AgAn e a Mata são áreas próximas, apesar da diferença entre a composição das mesmas, onde a Mata é composta de espécies arbóreas pioneiras basicamente, e a AgAn é uma área agrícola em estado de pousio.



#### 4.7. Proteína do Solo Relacionada à Glomalina

Os dados referentes aos teores de proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) para as quatro áreas de estudo, e duas épocas do ano - seca e chuvosa - podem ser observados na Tabela 15. Nota-se que, de forma geral, houve mais variações para os teores de glomalina entre as áreas na época chuvosa do que na época seca. Tanto para a glomalina facilmente extraível (GFE) quanto para a glomalina total (GT), não houve diferenças entre as áreas na época seca, sendo que na época chuvosa, para GFE, o SAF-1 apresentou os maiores valores, e a AgAn os menores valores. Os teores de GT foram semelhantes estatisticamente em todas as áreas nesse período.

Via de regra, quando houve diferença entre épocas para os teores de PSRG, os maiores valores foram associados à época chuvosa, em todas as áreas. Assim, as diferenças entre épocas foram encontradas para as seguintes variáveis e áreas: GFE (SAF-1 e Mata); GT (SAF-1, SAF-2 e AgAn); glomalina facilmente extraível em classe de agregados (GFEA) (AgAn e Mata) e glomalina total em classe de agregados (GTA) (SAF-1 e AgAn).

A pouca variação dos teores de PSRG do solo (GFE e GT) entre as áreas mostra que os sistemas de manejo estão influenciando de forma semelhante a produção e manutenção da glomalina. Estudos relatam que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor nos solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados (RILLIG et al., 2003; WRIGHT et al., 1999). Da mesma forma, os sistemas de manejo que promovem o revolvimento do solo acabam comprometendo as hifas fungicas e, com isso, influenciando negativamente a produção de glomalina (WRIGHT et al., 1999).

Os SAFs são sistemas perenes, a Mata uma área natural, e o histórico de uso da área agrícola AgAn revela que durante muito tempo vem sendo feita agricultura de subsistência em pequenas áreas no entorno da mata, sem revolvimento intenso do solo, sendo o preparo deste feito de forma manual, com ferramentas como enxada e enxadão. Essa prática é baseada no plantio, colheita, pousio e rotação de culturas, o que de certa forma previne a exaustão e garante a recuperação de propriedades do solo (GLIESSMAN, 2001; PRIMAVESI, 1992), e, provavelmente, está vinculado à menor degradação da glomalina na área de agricultura.

Em áreas onde o manejo é intensivo, há uma redução nas concentrações de glomalina, dada a sensibilidade dessa glicoproteína às variações de manejo (SOUZA et al., 2012; FOKOM et al., 2011). Bedini et al.(2006), estudando o comportamento da glomalina em diferentes formas de manejo do solo (monocultura de milho, iniciada em 1952, pastagem nativa e floresta com vegetação predominante de álamo (Poplar Grove)), em Sovicille (Siena, Toscana, Itália), constataram que os teores de glomalina variaram entre os diferentes tipos de manejo, e que isso possivelmente está relacionado com a forma de exploração aliada ao tempo.

No período chuvoso, quando houve variação dos teores da glomalina do solo, o SAF-1 e a Mata mantiveram os maiores teores, sendo o SAF-2 equivalente à Mata para a glomalina facilmente extraível (GFE), ou seja, a fração que foi depositada recentemente ainda não sofreu transformações bioquímicas no solo (WRIGHT et al., 1996). Isso pode indicar que essas áreas estão sendo mais eficientes no processo de produção e deposição de glomalina, ao menos na época chuvosa, consequência da cobertura vegetal e das características químicas do solo, como o pH, que para essas áreas, nesse período, teve os menores valores.

**Tabela 15.** Proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG), em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, nas épocas seca e chuvosa do ano, no município de Paraty(RJ).

| Áreas  | GFE                     |         | GT       |         | GFEA    |          | GTA       |         |
|--------|-------------------------|---------|----------|---------|---------|----------|-----------|---------|
|        | m mg <sup>-1</sup> solo |         |          |         |         |          |           |         |
|        | Chuvosa                 | Seca    | Chuvosa  | Seca    | Chuvosa | Seca     | Chuvosa   | Seca    |
| SAF-1  | 6,37 Aa                 | 1,20 Ba | 16,08 Aa | 5,79 Ba | 2,57 Ab | 1,64 Aa  | 22,33 Aab | 6,71 Ba |
| SAF-2  | 2,60 Abc                | 1,28 Aa | 12,40 Aa | 4,29 Ba | 2,73 Ab | 1,52 Aab | 20,38 Ab  | 5,93 Aa |
| AgAn   | 2,13 Ac                 | 1,16 Aa | 13,13 Aa | 4,35 Ba | 3,92 Aa | 0,36 Bb  | 27,99 Aa  | 6,66 Ba |
| Mata   | 4,37 Ab                 | 1,58 Ba | 12,97 Aa | 6,10 Aa | 2,89 Ab | 1,09 Bab | 17,63 Ab  | 3,92 Ab |
| CV(1)% | 19,38                   | 39,41   | 14,57    | 22,62   | 13,28   | 45,47    | 13,11     | 13,36   |
| CV(2)% | 64,77                   |         | 57,07    |         | 58,17   |          | 71,90     |         |

Letras médias iguais minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. GFE - glomalina facilmente extraível do solo do solo; GT - glomalina total do solo; GFEA - glomalina facilmente extraível na classe de agregados acima de 2mm; GTA - glomalina total na classe de agregados acima de 2mm. CV% 1 - coeficiente de variação entre as áreas. CV%2 - coeficiente de variação entre épocas.

Apesar da falta de entendimento sobre alguns fatores que regulam a produção de glomalina, sabe-se que mecanismos que afetam a simbiose micorrízica podem influenciar sua produção (SOUZA et al., 2012). Dessa forma, pode haver correlação negativa entre a produção de glomalina e as variações de pH, pois a colonização micorrízica predomina em solos mais ácidos, e, conseqüentemente, a produção de glomalina será maior em solos com essa característica (RILLIG et al., 2003; HADDAD & SARKAR, 2003).

Pesquisas também relatam a correlação da glomalina com a estabilidade de agregados e reservatórios de carbono em vários tipos de solo submetidos a diferentes formas de uso (PREGER et al., 2007; WRIGHT et al., 2007; HONTORIA et al., 2009). Nesse estudo, os resultados da glomalina facilmente extraível dos agregados (GFEA) e da glomalina total dos agregados (GTA), na época seca, apresentaram diferenças entre as áreas (Tabela 20), onde, para a GFEA, o maior teor foi do SAF-1, que não apresentou diferenças estatísticas entre o SAF-2 e a Mata. Esses últimos também foram semelhantes estatisticamente à AgAn, que apresentou o menor teor. As áreas com componente arbóreo e maior biodiversidade parecem contribuir mais com a produção e deposição da fração GFE. Para a GTA o SAF-1, a AgAn e o SAF-2 foram semelhantes estatisticamente, apresentando, respectivamente, os maiores teores; e a Mata, o menor teor. Essa fração representa a glomalina fortemente ligada às frações minerais (WRIGHT e UPADHYAYA, 1998). Assim, as áreas SAF-1, AgAn e SAF-2 podem estar proporcionando maior deposição e adesão da glomalina às partículas do solo do que a Mata.

Na época chuvosa, para a GFEA, apenas a AgAn apresentou teores diferentes e superiores às demais áreas (SAF-1, SAF-2 e Mata) (Tabela 20). Nessa área, também foram encontrados os maiores teores de GTA. Fokom et al. (2011), estudando a relação entre as variações de manejo sobre a PSRG e agregação do solo em Zona da Mata, no sul de Camarões, observaram que houve diferenças significativas entre os diferentes sistemas avaliados. Os agregados com menor estabilidade foram os obtidos dos sistemas de produção denominados campos de cultura, enquanto que os com maior estabilidade foram os das áreas de pousio e floresta. Assim, o fato da área de AgAn apresentar maiores concentrações nesse período para as duas frações (GFEA e GTA) pode ser explicado pelo manejo baseado no pousio, que proporciona atividade dos fungos e deposição de glomalina equivalentes e até mesmo superiores à Mata e aos SAFs (que possuem estrutura e funcionalidade semelhantes à Mata).

Essas evidências podem ser explicadas devido ao fato de que, em solos onde são estabelecidos agroecossistemas que mantêm sua estrutura sem remoção, ou com o mínimo revolvimento físico, alguns agentes como os FMA, através da produção de hifas e a elevada quantidade de glomalina, contribuem para a ligação de microagregados e macroagregados (RILLIG & MUMMEY, 2006; NICHOLS & WRIGHT, 2005; RILLIG et al., 2002; WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). Dessa forma, a conformação desse agroecossistema e o manejo estabelecido pelos agricultores quilombolas estão promovendo a qualidade do solo equivalente ao ambiente natural (Mata).

Como foi descrito, as diferentes formas de uso e manejo exercem influência sobre os teores de glomalina, o que, conseqüentemente, irá afetar a qualidade do solo, dada a importância dessa glicoproteína para o mesmo (MORELL et al., 2009; PURIN et al., 2007; STADDON et al., 2003). Portanto, sistemas de uso da terra que a protegem igualmente contribuirão com a manutenção da qualidade do solo. É possível dizer que os resultados apresentados são fruto da interação que está ocorrendo entre as áreas, onde há interferências de uma sobre a outra, dada a proximidade entre as mesmas. Logo, supõe-se que a integridade de algumas características do solo é mantida pelo poder "tamponante" exercido pelas áreas perenes (SAFs e Mata) sobre a AgAn.

## 4.8. Mesofauna do Solo e da Serrapilheira

### 4.8.1. Mesofauna do solo

#### a) Composição da comunidade da fauna do solo

##### Grupos taxonômicos

Das amostras coletadas durante o período de estudo, foram extraídos um total de 1.132 indivíduos (Tabela 16). Esses indivíduos foram classificados em 18 grupos taxonômicos. Quando consideradas as larvas, foram 20 grupos, uma vez que estas possuem diferenças funcionais e de habitat quando comparadas aos indivíduos adultos (Tabela 16). Os grupos com maior ocorrência foram Collembola (*Poduromorpha*, *Symphyleona* e *Entomobryomorpha*) e Formicidae, que juntos correspondem a 72% do total. Esses grupos também foram os mais populosos em estudo realizado por Manhães et al. (2013) que caracterizaram meso e macrofauna em solo e serrapilheira de pastagem degradada, área recuperada com árvores leguminosas e Floresta Secundária no norte do estado do Rio de Janeiro. Esses autores encontraram para as áreas com cobertura vegetal de *Acacia auriculiformis*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e Floresta Secundária, o grupo Collembola com taxas de ocorrência de 47,9%, 21,9% e 39,8%, respectivamente; e Formicidae de 24,6%, 55,3%, e 25,6%, respectivamente. Na serrapilheira, as taxas de Collembola foram de 28%, 25% e 5%, respectivamente; e Formicidae, de 51%, 47% e 69%.

Outros grupos como Coleoptera, Larvas de Coleoptera e Diptera, Sternorrhyncha e Thysanoptera apresentaram, juntos, taxa de representação em torno de 18%. Os 11 grupos restantes apresentaram efetivo de aproximadamente 10%, pois foram os grupos com as menores densidades. Apesar da menor ocorrência desses outros grupos, os mesmos contribuem para aumentar a biodiversidade e a funcionalidade da fauna do solo.

**Tabela 16.** Número total de indivíduos coletados, grupos taxonômicos e porcentagem relativa da mesofauna do solo coletados em áreas de Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ).

| Grupos           | Total | % do Total |
|------------------|-------|------------|
| Araneae          | 4     | 0,35       |
| Auchenorrhyncha  | 20    | 1,77       |
| Coleoptera       | 33    | 3,00       |
| Diplopoda        | 1     | 0,08       |
| Diptera          | 17    | 1,50       |
| Entomobryomorpha | 176   | 15,54      |
| Formicidae       | 282   | 25,00      |
| Gastropoda       | 1     | 0,08       |
| Heteroptera      | 4     | 0,35       |
| Hymenoptera      | 4     | 0,35       |
| Isopoda          | 8     | 0,76       |
| Larva Coleoptera | 17    | 1,50       |
| Larva Diptera    | 27    | 2,38       |

Continua...

Continuação da **Tabela 16.**

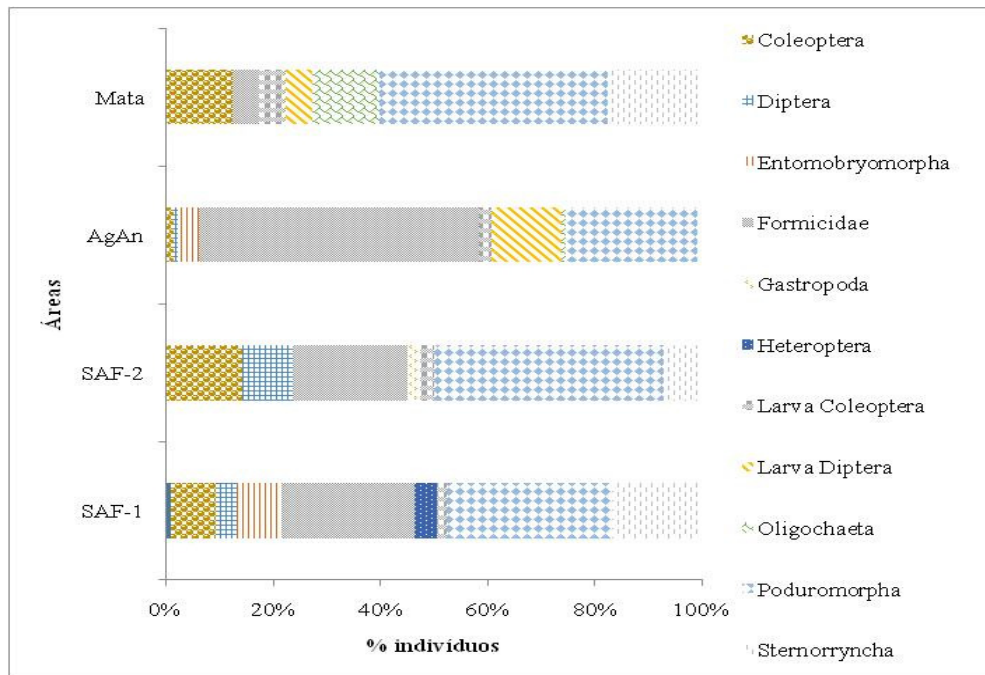
| <b>Grupos</b>     | <b>Total</b> | <b>% do Total</b> |
|-------------------|--------------|-------------------|
| Oligochaeta       | 15           | 1,32              |
| Poduromorpha      | 348          | 31,00             |
| Pseudoscorpionida | 26           | 2,30              |
| Sternorrhyncha    | 134          | 12,00             |
| Symphyla          | 4            | 0,35              |
| Symphyleona       | 4            | 0,35              |
| Thysanoptera      | 7            | 0,61              |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1132</b>  |                   |

Collembola foi o grupo com maior ocorrência e, conseqüentemente, maior efetivo de indivíduos (528). Para Correia & Oliveira (2006), o tamanho do organismo e a sua capacidade de deslocamento determinam qual o alcance da sua influência sobre a ciclagem de nutrientes. Assim, esse grupo, apesar de possuir indivíduos pequenos, compensa essa restrição com populações muito numerosas, o que justifica o alto efetivo.

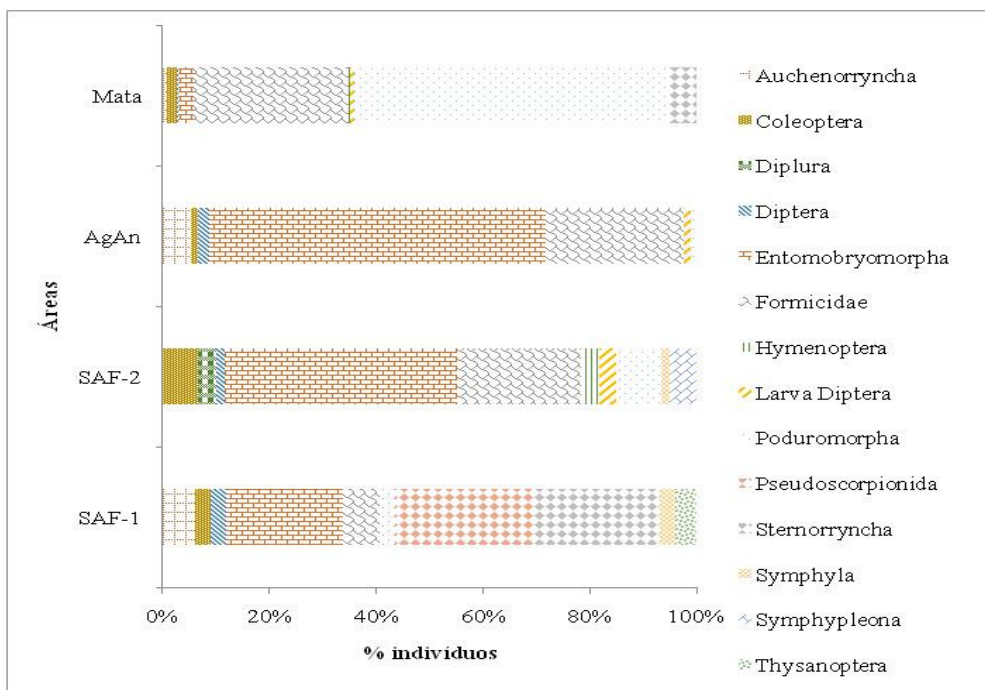
#### **b) Flutuação sazonal dos grupos taxonômicos**

Para a elaboração dos gráficos da flutuação sazonal foram selecionados os grupos que apresentaram porcentagem relativa acima de 2%, para facilitar a visualização. Na época chuvosa, o grupo Poduromorpha apresentou a maior porcentagem de indivíduos no SAF-1, SAF-2 e na Mata (30%, 42% e 43%, respectivamente) (Figura 12). Na AgAn, o grupo Formicidae foi o mais populoso (51%). Apesar dessa variação entre as áreas, os grupos com maior efetivo nessa época foram Poduromorpha e Formicidae, que coincidem com a quantificação geral. Outros grupos, como os Sternorrhyncha, apresentaram no SAF-1 16%, no SAF-2 7,1% e na Mata 17,5%; enquanto o grupo Coleoptera no SAF-1 apresentou 8%, no SAF-2 14,3% e na Mata 12,5%. Na AgAn, tanto Sternorrhyncha quanto Coleoptera apresentaram densidade relativa baixa (0,8% e 1,5%, respectivamente).

Para a época seca, o grupo Entomobryomorpha foi o mais populoso, nas áreas SAF-1, SAF-2 e AgAn, com 21,2%, 40% e 43,5%, enquanto na Mata apresentou apenas 2,6% (Figura 13). Nessa área, o grupo Poduromorpha, que também faz parte dos Collembolos, apresentou o maior percentual de indivíduos (56,6%). Já no período seco, o grupo das formigas (formicidae) apresentou percentual um pouco menor do que na época chuvosa para o SAF-1 (6,7%) e para a AgAn (17,9%), enquanto que no SAF-2 manteve o mesmo percentual, e na Mata aumentou de 5% para 27,8%.



**Figura 12.** Frequência relativa dos grupos da mesofauna do solo para as quatro áreas, Mata, Agricultura Anual (AgAn) e Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) para a época chuvosa, no município de Paraty(RJ).



**Figura 13.** Frequência relativa dos grupos da mesofauna do solo para as quatro áreas, Mata, Agricultura Anual (AgAn) e Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) para a época seca, no município de Paraty(RJ).

### c) Grupos funcionais

Neste trabalho, os grupos taxonômicos anteriormente apresentados foram classificados em oito grupos funcionais (Tabela 17), de acordo com o uso do habitat e dos recursos alimentares (COSTA, 2002). O grupo que apresentou maior abundância foi o de micrófagos (Collembola), com 528 indivíduos coletados, o que corresponde a 47% do total. Em seguida, vieram os sociais (Formicidae), com 282 indivíduos, ou seja, 25% do total. Também houve a presença de outros grupos com abundância inferior, como os fitófagos (14%), holometábolos (4,40%), as larvas (4%), os saprófagos (3,2%), predadores (2,65%), e parasitóides (0,35%).

Em estudo realizado por Silva (2006) nessas mesmas áreas, a ordem dos grupos pela abundância relativa foi diferente: micrófagos (52,12%), sendo que as formigas (sociais formicidae) formam o segundo grupo funcional mais abundante, com 30,55% do indivíduos totais, seguido dos saprófagos (5,53%), holometábolos adultos (4,67%), fitófagos (4,11%), larvas (2,52%), predadores (0,32%), parasitóides (0,15%) e cupins (sociais isoptera) (0,05%). Apesar dessa diferença, os grupos dos micrófagos e sociais (formicidae) mantiveram abundâncias superiores aos demais grupos. Cabe ressaltar que no estudo de Silva (2006), foram considerados os indivíduos do grupo Acari enquanto micrófagos, o que neste estudo, conforme apresentado anteriormente, foram desconsiderados.

Essas diferenças podem ter relação com as alterações que ocorreram nas áreas ao longo do tempo (após sete anos). Os SAFs (SAF-1 e SAF-2) estão em outro estágio de desenvolvimento, e a área de AgAn em outra condição em relação à essas áreas de estrutura arbórea, o que pode ter criado outros micro habitats para os indivíduos, influenciando em suas populações. Ainda cabe dizer que a forma de amostragem foi diferente. Por mais que o método de extração tenha sido o mesmo, Silva (2006) utilizou para a coleta um quadrado metálico de 25x25cm.

De modo geral, nota-se que os grupos sociais (Formicidae) e micrófagos (Collembola) foram os mais representativos tanto na época chuvosa quanto na época seca. O grupo formicidae é um dos grupos mais importantes em ecossistemas tropicais, tanto pela sua elevada biodiversidade, quanto pela sua abundância (MANHÃES et al., 2013). Até 50% da fauna de formigas em ambientes tropicais estão associadas à serrapilheira (DELABIE & FOWLER, 1995), e, em escala mundial, 63% de todas as espécies de formigas (cerca de 6300) habitam os sistemas solo e serrapilheira (WALL & MOORE, 1999). Logo, é justificável maior ocorrência desse grupo em amostragens, como a desenvolvida neste trabalho.

**Tabela 17.** Número total de indivíduos coletados, grupos taxonômicos e porcentagem relativa da mesofauna do solo coletados em áreas de Sistemas Agrofloretais (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ).

| <b>Grupos funcionais</b> | <b>Grupos</b>   | <b>Total</b> | <b>% do Total</b> |
|--------------------------|---|--------------|-------------------|
| Sociais                  | Formicidae  | 282          | 25,00             |
| Holometábolos            | Coleoptera, Diptera   | 50           | 4,40              |
| Larvas                   | de Coleoptera, de Diptera, de Lepidoptera                           | 44           | 4,00              |
| Saprófagos               | Diplopoda, Isopoda, Symphyla, Thysanoptera, Gastropoda, Oligochaeta | 36           | 3,20              |
| Predadores               | Pseudoscorpionida, Chilopoda, Aranea                                | 30           | 2,65              |

Continua...

Continuação da **Tabela 17.**

| <b>Grupos funcionais</b> | <b>Grupos</b>   | <b>Total</b> | <b>% do Total</b> |
|--------------------------|---|--------------|-------------------|
| Fitófagos                | Heteroptera, Auchenorrhyncha, Sternorrhyncha            | 158          | 14,00             |
| Parasitóides             | Hymenoptera exceto Formicidae                           | 4            | 0,35              |
| Micrrofagos              | Collembola(Symphyleona, Poduromorpha, Entomobryomorpha) | 528          | 47,00             |

Os Collembolas (micrrofagos) estão entre os grupos de artrópodes mais abundantes nas camadas orgânicas dos solos florestais, desempenhando papel importante na microfragmentação da serrapilheira (SALAMON et al., 2008). Esses organismos possuem dieta generalista e pouca especialização nutricional (MATEOS et al., 2011). Outro fator que influencia a composição das comunidades de fauna é a elevada capacidade de dispersão mostrada por Formicidae, também destacada por estudiosos (MATEOS et al., 2011). Na mesma linha, Van Straalen (1997) ressalta que muitos artrópodes do solo, como os Collembola, apresentam um modo de vida sedentário e, portanto, refletem a condição edáfica de um habitat melhor do que organismos com uma alta capacidade de dispersão, tais como os insetos voadores.

#### **d) Densidade, riqueza e índices ecológicos da mesofauna do solo**

A densidade total de indivíduos variou entre 3.089 ind.m<sup>-2</sup> na área SAF-2 a 21.577 ind.m<sup>-2</sup> na Mata na época seca (Tabela 18). Nessa época, o SAF-1 e a AgAn apresentaram valores intermediários a estes, 4.943 ind.m<sup>-2</sup> e 11.692 ind.m<sup>-2</sup>, respectivamente. Na época chuvosa, essa densidade variou de 1.901 ind.m<sup>-2</sup> para a Mata a 6.321 ind.m<sup>-2</sup> para a AgAn. Foi também nessa época em que os SAFs que apresentaram os valores intermediários: o SAF-2 com 1.996 ind.m<sup>-2</sup>, e o SAF-1 com 2.376 ind.m<sup>-2</sup>.

Verifica-se, desse modo, que houve grande redução de densidade de indivíduos da época seca para a chuvosa. Em contrapartida, somente na Mata essa redução (de 92%) foi significativa; e tal redução pode ser proporcionada pelas variações de umidade que regulam alguns processos que ocorrem no solo e alteram a disponibilidade de habitats, bem como a disponibilidade de alimentos. A riqueza média não variou entre as áreas, tanto na época chuvosa, como na época seca. Ainda da época seca para a chuvosa, houve redução na riqueza média da Mata: Na seca, a riqueza total teve uma variação de 11 grupos para a área AgAn a 16 grupos para a Mata. Já na época chuvosa, essa diferença foi de sete grupos no SAF-2 e na Mata, para 12 grupos na AgAn.

O índice de diversidade de Shannon foi maior no SAF-1 nas duas épocas avaliadas (seca 2,91 e chuvosa 2,84); menor na Mata na época seca (1,89); e igualmente menor na AgAn (2,08) em época chuvosa. Esse índice associa a riqueza das espécies com a sua abundância relativa. Logo, apesar da Mata e AgAn, nas épocas seca e chuvosa, apresentarem maior riqueza total, os indivíduos não foram bem distribuídos, ou seja, houve desproporção entre a abundância de cada grupo nessas áreas, visto que, enquanto uns foram bastante populosos, outros apenas pontuaram sua ocorrência.



**Tabela 18.** Densidade total da mesofauna edáfica, riqueza média e índices ecológicos nos Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1, SAF-2), área de Agricultura Anual (AgAn) e Floresta Secundária (Mata) no município de Paraty(RJ).

| Áreas                | Ind.m <sup>-2</sup> | Riqueza Média | Riqueza Total | Índice de Shannon | Índice de Pielou |
|----------------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|
| <b>ÉPOCA SECA</b>    |                     |               |               |                   |                  |
| SAF-1                | 4943 +/- 1047Aa     | 5,50Aa        | 12            | 2,91              | 0,81             |
| SAF-2                | 3089 +/- 565Aa      | 6,00Aa        | 13            | 2,78              | 0,75             |
| AgAn                 | 11692 +/- 1099Aa    | 6,25Aa        | 11            | 2,08              | 0,60             |
| Mata                 | 21577 +/- 7805Aa    | 8,75Aa        | 16            | 1,89              | 0,47             |
| CV(%)                | 9,02                | 28,84         |               |                   |                  |
| <b>ÉPOCA CHUVOSA</b> |                     |               |               |                   |                  |
| SAF-1                | 2376 +/- 316Aa      | 4,75Aa        | 10            | 2,84              | 0,86             |
| SAF-2                | 1996 +/- 424Aa      | 3,5Aa         | 7             | 2,25              | 0,80             |
| AgAn                 | 6321 +/- 2005Aa     | 5,5Aa         | 12            | 2,08              | 0,58             |
| Mata                 | 1901 +/- 322Ba      | 3,5Ba         | 7             | 2,36              | 0,84             |
| CV(%)                | 13,98               | 47,06         |               |                   |                  |

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. Coeficiente de variação entre épocas: CV% entre época: Seca 50% e Chuvosa 14,02%.

O índice de Shannon calculado para essas mesmas áreas no trabalho de Silva (2006) foi inferior variando nas áreas de SAF-1 (1,42), SAF-2(1,47), AgAn (1,58) e Mata (1,82). Na época chuvosa, houve um aumento, ficando a Mata com (1,93), AgAn (1,97), SAF-1 (2,30) e SAF-2 (2,33). Nos estudos conduzidos por Silva (2006), de modo geral, a riqueza para a maioria das áreas foi maior que a do presente estudo, e o índice de Pielou um pouco inferior, o que provavelmente proporcionou os índices de diversidade inferiores. O aumento do índice de Shannon ao longo do tempo pode indicar que a comunidade da fauna do solo das áreas está mais equilibrada, com o estabelecimento mais ordenado de alguns grupos.

O índice de Pielou, conseqüentemente, apresentou o mesmo padrão do índice de Shannon. Desse modo, as áreas de Mata na época seca, e a AgAn na época chuvosa apresentaram maior dominância de algumas espécies, o que indica possíveis alterações de habitat para esses ambientes nesses períodos. Entre os SAFs, o SAF-1 apresentou índices superiores ao SAF-2 o que, apesar da pouca variação, indica uma tendência de maior equilíbrio na comunidade da fauna do SAF-1 em relação à do SAF-2. No entanto, os dois sistemas se mostraram com bons índices de diversidade e equabilidade quando comparados à Mata, revelando o papel desses sistemas para impulsionar funções ecossistêmicas e contribuir com o equilíbrio da fauna edáfica.

O sistema solo-serapilheira é fonte de nutrientes e energia. Trata-se, portanto, de habitat natural para uma variedade de organismos. Moço et al. (2009), estudando a fauna edáfica em Sistemas Agroflorestais com cacau, observaram que a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo promoveu um aumento na abundância e diversidade de fauna. A manutenção da serrapilheira é essencial para a sobrevivência, aumento da atividade e desenvolvimento de associações bióticas da fauna (NDAW et al. 2009; LAOSSI et al. 2008;

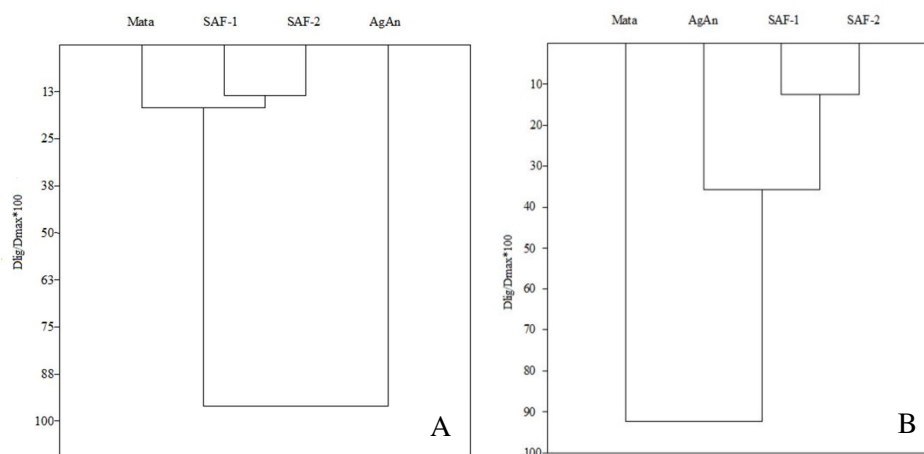
GAMA-RODRIGUES et al. 2008; MOÇO et al.2005) e, portanto, a sustentabilidade dos sistemas florestais e agroflorestais poderia ser melhor, regulando os processos do solo em diferentes escalas de tempo e espaço.

### e) Análises Multivariadas

#### Agrupamento

Os dendrogramas que caracterizam a similaridade entre as áreas nas épocas chuvosa e seca podem ser observados na Figura 14. No período chuvoso, a área de AgAn apresentou distância de 100% das demais áreas. Foi formado um grupo entre as áreas de Mata, SAF-1 e SAF-2; e a Mata apresentou distância de aproximadamente 15% do SAF-1 e SAF-2. Entre o SAF-1 e o SAF-2, a distância foi de aproximadamente 13%. Desse modo, esse diagrama mostra que os SAFs estão com maior similaridade com relação à comunidade da fauna do solo. Além disso, essas duas áreas foram mais próximas da Mata do que da AgAn.

Na época seca, o arranjo foi diferente: a Mata apresentou distância de aproximadamente 95% das demais áreas. Dessa vez, foi formado um grupo entre as áreas de AgAn, SAF-1 e SAF-2; e a AgAn ficou a uma distância de 35% do SAF-1 e SAF-2. Os SAFs tiveram distância entre si de aproximadamente 15%. A variação sazonal interferiu principalmente as áreas Mata e AgAn.



**Figura 14.** Diagramas da análise multivariada de agrupamento *Cluster* com base na ocorrência dos grupos da comunidade da fauna do solo dos Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1 e SAF-2), Agricultura Anual (AgAn) e Mata, no município de Paraty(RJ). Diagrama A - época chuvosa; Diagrama B- época seca.

As variações sazonais, entre as épocas seca e chuvosa, alteraram a posição das áreas em cada período, o que pode estar relacionado às mudanças de umidade e temperatura, que influenciam alguns processos no solo (como as taxas de decomposição e as reações químicas) e, conseqüentemente, o condicionamento de habitats e disponibilidade de alimentos para os organismos da fauna do solo. Assim, as variações de número de indivíduos por grupo, bem como a ocorrência dos grupos em determinada área, foram influenciados por esses fatores, justificando as diferenças.

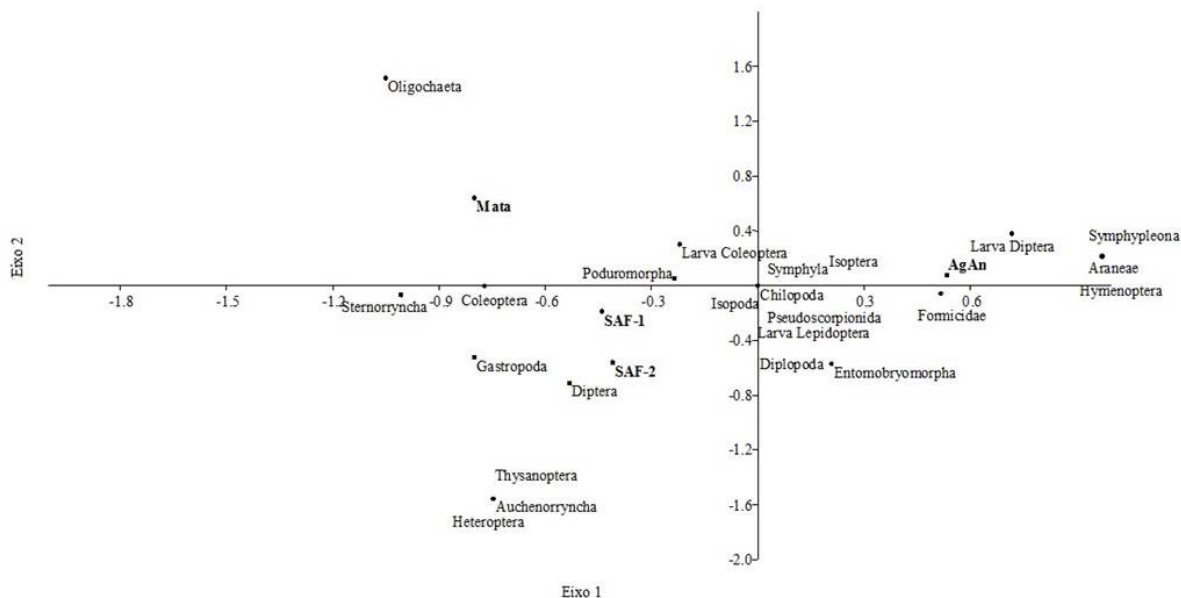
Manhães et al. (2013) relatam que a variação sazonal influenciou a densidade e a riqueza da fauna do solo, bem como a ocorrência dos grupos funcionais, o que também tem relação com a cobertura vegetal.

#### Análise de correspondência

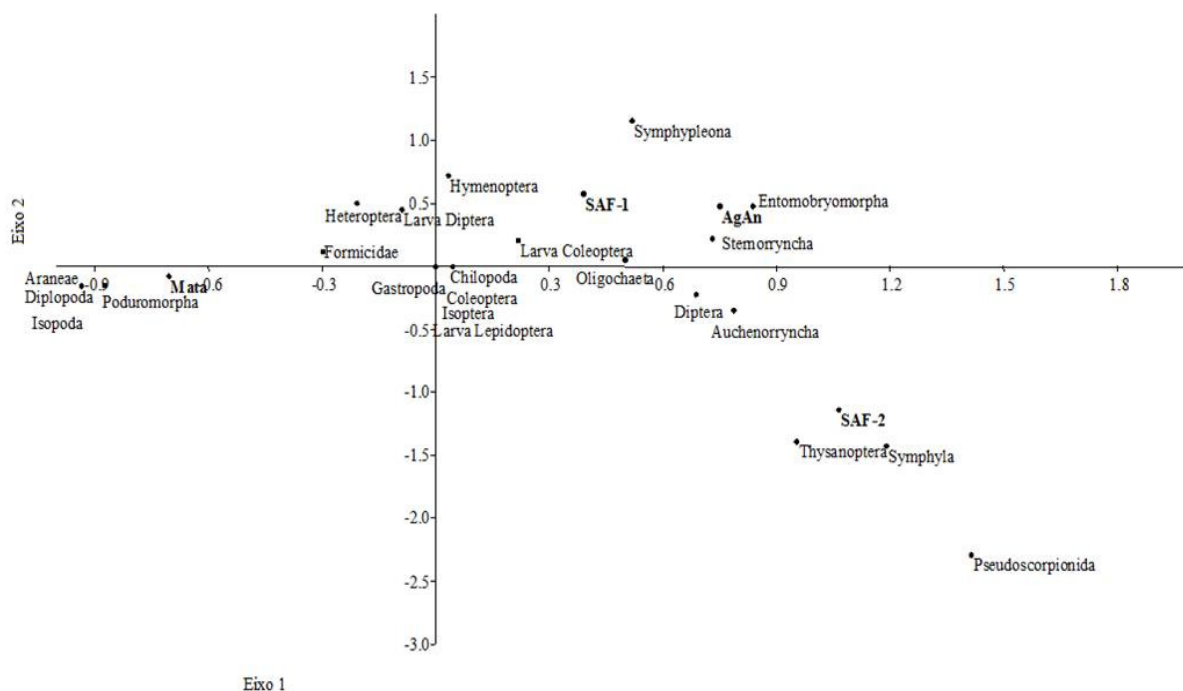
A distribuição dos grupos da mesofauna do solo em relação às áreas (SAF-1, SAF-2, AgAn e Mata) por meio da análise multivariada de correspondência, nas épocas chuvosa e seca, podem ser observados nas Figuras 15 e 16.

Na época chuvosa, o SAF-1 e o SAF-2 ficaram mais próximos; os grupos Thysanoptera, Auchenorrhyncha, Heteroptera, Diptera e Gastrópoda estiveram mais associados a essas áreas, os quais provavelmente promoveram o distanciamento das mesmas em relação às demais áreas. A Mata ficou mais próxima dos SAFs do que da AgAn, tendo o grupo Oligochaeta associado mais à Mata. Enquanto os grupos Poduromorpha, Coleoptera e Sternorrhyncha ficaram relacionados tanto aos SAFs quanto à Mata, a AgAn ficou separada das outras áreas, estando mais associada aos grupos Formicidae, Symphypleona, Araneae e Hymenoptera.

Já no período de seca, a relação entre as áreas foi diferente, visto que os SAFs ficaram mais próximos da AgAn - em que a maior proximidade da área de agricultura foi do SAF-1. Os grupos Symphypleona e Entomobryomorpha foram mais associados ao SAF-1 e AgAn; e os grupos Thysanoptera, Symphyla e Pseudoscorpionida mais associados ao SAF-2. A Mata esteve mais associada aos grupos Aranea, Diplopoda, Isopoda e Poduromorpha, que ajudaram a promover o distanciamento em relação às outras áreas.



**Figura 15.** Diagrama resultante da análise de correspondência dos diferentes grupos taxonômicos em relação às áreas avaliadas (Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2), Mata e Agricultura anual (AgAn)) para a época chuvosa, no município de Paraty(RJ). Valor de explicação Eixo 1 (57,68%) e Eixo 2 (24,81%).



**Figura 16.** Diagrama resultante da análise de correspondência dos diferentes grupos taxonômicos em relação às áreas avaliadas (Sistemas Agroflorestais (SAF e SAF2), Mata e Agricultura anual (AgAn)) para a época seca, no município de Paraty(RJ). Valor de explicação Eixo 1 (60,60%) e Eixo 2 (26,52%).

#### 4.8.2. Mesofauna da serrapilheira

##### a) Grupos taxonômicos

Os indivíduos coletados nas duas épocas do ano, seca e chuvosa, a partir da serrapilheira foram divididos em 23 grupos taxonômicos (Tabela 19). Os grupos que apresentaram maior número de indivíduos foram Formicidae e Collembola (Poduromorpha, Symphypleona e Entomobryomorpha) com 18,62% e 63,18%, respectivamente, e somados esses dois grupos correspondem a 81,80% do total. No estudo de Moço et al. (2010) em áreas de cacau agroflorestal no Sul da Bahia, Collembola e Formicidae também foram os grupos mais representativos, com 41% e 32% respectivamente.

**Tabela 19.** Número total de indivíduos coletados nas áreas SAF-1, SAF-2 e Mata, grupos taxonômicos e porcentagem relativa da mesofauna da serrapilheira coletados em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty (RJ).

| Grupos          | Nº Total de indivíduos | % do Total |
|-----------------|------------------------|------------|
| Araneae         | 9                      | 0,21       |
| Auchenorrhyncha | 26                     | 0,61       |
| Chilopoda       | 4                      | 0,09       |
| Coleoptera      | 138                    | 3,25       |
| Diplopoda       | 10                     | 0,24       |
| Diptera         | 42                     | 0,99       |

Continua...

Continuação da **Tabela 19.**

|                   |      |       |
|-------------------|------|-------|
| Entomobryomorpha  | 240  | 5,65  |
| Formicidae        | 791  | 18,62 |
| Gastropoda        | 2    | 0,05  |
| Heteroptera       | 24   | 0,56  |
| Hymenoptera       | 4    | 0,09  |
| Isopoda           | 18   | 0,42  |
| Isoptera          | 31   | 0,73  |
| Larva Coleoptera  | 52   | 1,22  |
| Larva Diptera     | 66   | 1,55  |
| Larva Lepidoptera | 13   | 0,31  |
| Oligochaeta       | 20   | 0,47  |
| Poduromorpha      | 2427 | 57,13 |
| Pseudoscorpionida | 29   | 0,68  |
| Sternorrhyncha    | 216  | 5,08  |
| Symphyla          | 6    | 0,14  |
| Symphyleona       | 17   | 0,40  |
| Thysanoptera      | 63   | 1,48  |
| <b>TOTAL</b>      |      | 4248  |

Coleoptera e Sternorrhyncha apresentaram 3,25% e 5,08% do total, respectivamente, enquanto os outros 17 grupos com representação individual abaixo de 2% cada um, juntos chegaram a 9,87%. Apesar do maior número de grupos taxonômicos, a distribuição dos indivíduos em cada grupo taxonômico se assemelha à encontrada no sistema solo-serrapilheira, como descrito na sessão anterior.

#### **b) Grupos funcionais**

Os grupos taxonômicos foram distribuídos em nove grupos funcionais de acordo com Costa (2002) (Tabela 20). Os micrófagos e os sociais (Formicidade) foram os mais representativos com 63% e 18,63% do total, respectivamente. Outros grupos como os fitófagos, os holometábolos, as larvas e os saprófagos apresentaram representação de 6,26%, 4,23%, 3,08% e 2,80%, respectivamente, enquanto os outros grupos ficaram com representação inferior a 1% cada.

**Tabela 20.** Número e porcentagem dos indivíduos coletados na serrapilheira em áreas de Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF-1, SAF-2) e mata para os diferentes grupos funcionais da fauna do solo, município de Paraty (RJ).

| Grupos funcionais | Grupos  | Total | % do Total |
|-------------------|---|-------|------------|
| Sociais           | Formicidae  | 791   | 18,62      |
| Holometábolos     | Coleoptera, Diptera   | 180   | 4,23       |
| Larvas            | de Coleoptera, de Diptera, de Lepidoptera                           | 131   | 3,08       |
| Sociais           | Isoptera  | 31    | 0,72       |
| Saprófagos        | Diplopoda, Isopoda, Symphyla, Thysanoptera, Gastropoda, Oligochaeta | 119   | 2,80       |
| Predadores        | Pseudoscorpionida, Chilopoda, Aranea                                | 42    | 0,98       |
| Fitófagos         | Heteroptera, Auchenorrhyncha, Sternorrhyncha                        | 266   | 6,26       |
| Parasitóides      | Hymenoptera exceto Formicidae                                       | 4     | 0,09       |
| Micrófagos        | Collembola(Symphyleona, Poduromorpha, Entomobryomorpha)             | 2684  | 63,18      |

O grupo dos micrófagos foi formado basicamente pelos indivíduos de Collembola. Esses indivíduos podem ser considerados uns dos mais abundantes e generalistas dos artrópodes do solo, e integram junto aos ácaros a maior população da mesofauna edáfica (Coleman & Crossley, 1995). Esses dois grupos em razão de sua abundância e riqueza de espécies são apontados como indicadores de qualidade do solo (Bedano et al., 2011).

Além dos micrófagos, também é relatada grande ocorrência dos sociais (Formicidae), como no trabalho de Moraes et al. (2010) que observaram a maior presença desses dois grupos em estudo sobre a mesofauna do solo em diferentes sistemas de uso do solo no Alto Rio Solimões (AM), e no trabalho de Manhães et al. (2013) em diferentes áreas (pastagem recuperada com leguminosas, pastagem degradada e fragmento florestal) na região de Campos dos Goytacazes, norte fluminense, onde os autores encontraram maior ocorrência desses dois grupos tanto no solo quanto na serrapilheira.

Como foi relatado, a mesofauna desempenha importante papel sobre a qualidade do solo, exerce controle da população de microorganismos e contribui indiretamente com a decomposição da matéria orgânica pela ação dos seus grupos. Seja através de cada grupo isoladamente, seja através da associação com outros organismos, como os fungos (Rihani et al., 1995; Beck et al., 1997). Alguns autores relatam que os organismos que melhor desempenham essa função são os Acari e Collembola, sendo organismos dominantes em quase todos os tipos de solo (Franklin et al., 2001, Franklin & Morais, 2006). Esse fato justifica o grande número desses indivíduos nas amostras.

### c) Densidade, riqueza e índices ecológicos

A densidade de cada grupo taxonômico para a serrapilheira de cada área avaliada nas diferentes épocas, seca e chuvosa, pode ser observada na Tabela 21. Observa-se que ocorreram variações da comunidade da fauna tanto entre as áreas quanto entre épocas. Para o SAF-1 e SAF-2 a maior densidade foi observada na época chuvosa, enquanto para a Mata ocorreu o inverso, a maior densidade foi observada na época seca. A riqueza total variou de 11 (SAF-1, época seca) a 16 (Mata, época seca) grupos. Também houve variação da riqueza da época seca para a chuvosa, onde a riqueza da Mata e do SAF-2 diminuiu de 16 e 14 para

12 e 13 grupos, respectivamente, enquanto a riqueza do SAF-1 aumentou de 11 para 15 grupos.

O índice de diversidade de Shannon foi maior para o SAF-2 na época seca (2,95), e para o SAF-1 na época chuvosa (2,45). Enquanto a Mata apresentou os menores índices de diversidade para as duas épocas (seca = 1,09; chuvosa=1,75). O índice de equabilidade de Pielou foi superior nas duas épocas para o SAF-1, assim como foi inferior para a Mata nas duas épocas avaliadas. Esses índices retratam a estrutura da comunidade de organismos, nesse caso, os menores índices podem indicar algum distúrbio na comunidade edáfica.

Provavelmente, os menores índices observados na Mata podem ser reflexo da maior densidade de indivíduos dos grupos Poduromorpha e Formicidae, onde não houve uma distribuição uniforme entre os grupos, apesar de na época chuvosa essa área apresentar a maior riqueza de agrupamentos. Na época seca, a redução na riqueza aliada à concentração de muitos indivíduos em poucos grupos também promoveu esse desequilíbrio.

As diferenças entre a diversidade e densidade de organismos podem ser explicadas com base na qualidade da serrapilheira das áreas. Moço et al. (2010) afirmam que os atributos do solo e a qualidade da serrapilheira sob diferentes Sistemas Agrofloretais com cacau afetaram a diversidade da fauna do solo e serrapilheira, uma vez que esses atributos são potenciais reguladores dos grupos funcionais da fauna. Tais autores relatam que os componentes químicos relacionados à acidez do solo, aos nutrientes da serrapilheira e aos compostos ligados à palatabilidade são os mais decisivos para promover abundância e diversidade da fauna do solo e serrapilheira. Esses autores ainda reiteram que a comunidade da fauna edáfica, em seu estudo, foi mais sensível à qualidade da serrapilheira do que a do solo. Assim, o manejo da serrapilheira pode ser uma boa prática para promover o equilíbrio da fauna e melhorar o funcionamento do ecossistemas em áreas de SAFs.

**Tabela 21.** Densidade dos grupos taxonômicos, riqueza e índices ecológicos de diversidade (Shannon) e equabilidade (Pielou) em serrapilheira para áreas de sistemas agroflorestais 1 e 2 (SAF-1, SAF-2) e Mata em duas épocas do ano, seca e chuvosa, no município de Paraty(RJ).

| Grupos              | SECA       |             |               | CHUVOSA      |              |              |
|---------------------|------------|-------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                     | SAF-1      | SAF-2       | Mata          | SAF-1        | SAF-2        | Mata         |
| Ind.m <sup>-2</sup> |            |             |               |              |              |              |
| Araneae             | -          | 8 ± 2,92    | -             | 12 ± 7,6     | -            | -            |
| Auchenorrhyncha     | -          | 4 ± 2,52    | 20 ± 4,48     | -            | -            | -            |
| Chilopoda           | -          | -           | 16 ± 7,15     | -            | -            | -            |
| Coleoptera          | 8 ± 2,92   | 24 ± 5,05   | 40 ± 8,76     | 24 ± 8,76    | 188 ± 51,66  | 136 ± 33,17  |
| Diplopoda           | -          | 4 ± 2,52    | 28 ± 17,70    | -            | -            | 4 ± 2,52     |
| Diptera             | 12 ± 4,84  | 60 ± 14,53  | 4 ± 2,52      | 12 ± 4,84    | 4 ± 2,52     | 8 ± 2,92     |
| Entomobryomorpha    | 36 ± 6,36  | 152 ± 12,04 | 60 ± 10,43    | 4 ± 2,52     | 4 ± 2,52     | -            |
| Formicidae          | 56 ± 35,41 | 36 ± 19,54  | 1584 ± 815,22 | 124 ± 55,79  | 172 ± 43,98  | 64 ± 24,78   |
| Gastropoda          | -          | -           | -             | 4 ± 2,52     | -            | -            |
| Heteroptera         | 4 ± 2,52   | -           | 8 ± 5,05      | 48 ± 27,08   | 8 ± 5,05     | 12 ± 4,84    |
| Isopoda             | -          | 12 ± 7,58   | 8 ± 5,05      | 8 ± 5,05     | -            | 12 ± 4,84    |
| Isoptera            | -          | -           | -             | 124 ± 78,42  | -            | -            |
| Larva Coleoptera    | 4 ± 2,52   | 12 ± 7,58   | 36 ± 7,58     | 8 ± 5,05     | 56 ± 9,68    | 24 ± 12,04   |
| Larva Diptera       | 12 ± 2,52  | 8 ± 5,05    | 16 ± 7,15     | 52 ± 4,84    | 60 ± 25,25   | 8 ± 5,05     |
| Larva Lepidoptera   | 52 ± 32,88 | -           | -             | -            | -            | -            |
| Oligochaeta         | -          | -           | -             | -            | 12 ± 4,84    | 8 ± 2,92     |
| Poduromorpha        | 28 ± 11,95 | 84 ± 46,44  | 5840 ± 947,26 | 644 ± 203,95 | 856 ± 223,90 | 864 ± 202,93 |
| Pseudoscorpionida   | 4 ± 2,52   | -           | 8 ± 5,6       | -            | -            | -            |
| Sternorrhyncha      | -          | 4 ± 2,52    | 24 ± 12,04    | 80 ± 33,81   | 92 ± 42,20   | 128 ± 46,00  |
| Symphyla            | -          | -           | 4 ± 2,52      | -            | 4 ± 2,52     | -            |
| Symphyleona         | -          | 8 ± 5,05    | -             | 16 ± 7,15    | 12 ± 4,84    | 16 ± 7,15    |

Continua...

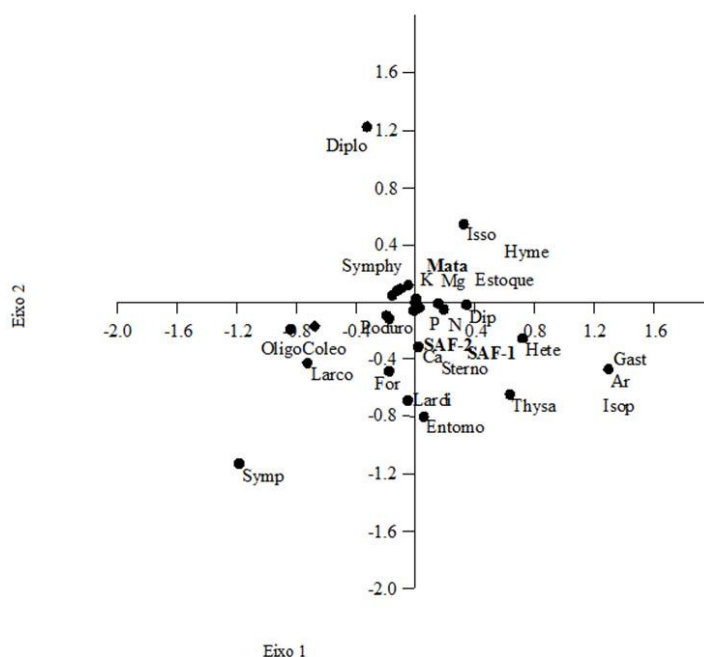


Continuação da Tabela 21.

| Grupos            | SECA                      |              |             | CHUVOSA       |               |               |
|-------------------|---------------------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                   | SAF-1                     | SAF-2        | Mata        | SAF-1         | SAF-2         | Mata          |
|                   | <b>Ind.m<sup>-2</sup></b> |              |             |               |               |               |
| Thysanoptera      | 52 ± 16,71                | 84 25± 25,25 | 28 ± 11,95  | 44 ± 15,66    | 16 ± 7,15     | -             |
| Total             | 268 ± 69,41               | 500 ± 57,89  | 7724 ± 1560 | 1204 ± 223,24 | 1484 ± 269,96 | 1284 ± 263,46 |
| Riqueza total     | 11                        | 14           | 16          | 15            | 13            | 12            |
| Índice de Shannon | 2,94                      | 2,95         | 1,09        | 2,45          | 2,10          | 1,75          |
| Índice Pielou     | 0,85                      | 0,77         | 0,27        | 0,63          | 0,57          | 0,49          |

#### d) Análises Multivariadas

Foram analisados em conjunto, através da análise multivariada de correspondência, o estoque de nutrientes e biomassa da serrapilheira e a comunidade da fauna edáfica para as épocas seca e chuvosa (Figuras 17 e 18). Na época seca, o eixo 1 explica 68,92% da variação, enquanto o eixo 2 explica 31,07%. Observa-se que as áreas (SAF-1, SAF-2 e Mata) ficaram próximas e mais associadas ao estoque de nutrientes e biomassa. A maioria dos grupos da fauna do solo apresentou posição mais próxima ao centro do gráfico, aproximando-se das áreas de estudo (SAF-1, SAF-2 e AgAn).

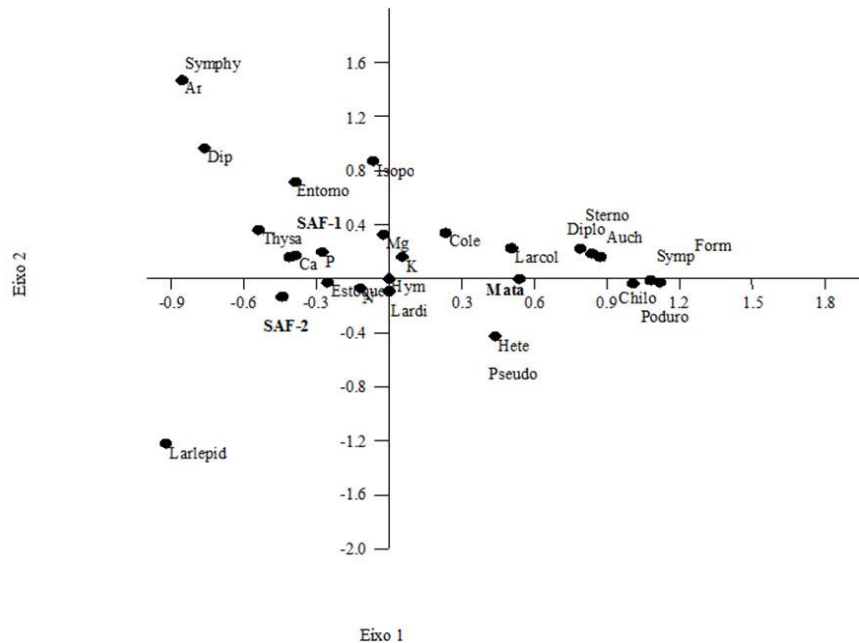


**Figura 17.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre os diferentes grupos taxonômicos e os estoques de nutrientes e biomassa da serrapilheira em relação às áreas avaliadas (Sistemas Agroflorestais (SAF e SAF2), Mata e Agricultura anual (AgAn)) para a época seca, no município de Paraty(RJ). Valor de explicação Eixo 1 (68,92%) e Eixo 2 (31,07%).

Ar - Aranea; Coleo - Coleoptera; Diplo - Diplopoda; Dip - Diptera; Entomo - Entomobryomorpha; For - Fomicidae; Gast - Gatropoda; Hete - Heteroptera; Hymenopetra; Isso - Isopoda; Isop - Isoptera; Larco - Larva Coleopera; Lardi - Larva Diptera; Oligo - Oligochaeta; Poduro - Poduromorpha; Sterno - Sterno - Seternorryncha; Symp - Symphyla; Symphy - Symphypleona; Thysa - Thysanopetra.

Na época chuvosa (Figura 18), a distribuição dos grupos se mostrou diferente. Apesar do estoque de nutrientes e biomassa ficar em posição mais central, os grupos da fauna promoveram a separação entre as áreas. Desse modo, o eixo 1 responde por 95,08% da variância, enquanto o eixo 2 explica apenas 4,91%. Pode-se observar que a maioria dos grupos foram associados à Mata e ao SAF-1. Os grupos Larva de Coleoptera, Diplopoda, Symphyla, Formicidade, Sternorryncha, Chilopoda, Poduromorpha, Heteroptera, Pseudoscopionida e Coleoptera ficaram mais próximos da Mata, enquanto os grupos

Symphyleona, Diptera, Entomobryomorpha, Thysanoptera e Isopoda mais próximos do SAF-1. O SAF-2 ficou mais ligado à Larva de Lepidoptera. Essas diferenças podem ter relação tanto com a ocorrência dos grupos em cada área, quanto com a abundância de indivíduos de cada grupo.



**Figura 18.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre os diferentes grupos taxonômicos e os estoques de nutrientes e biomassa da serrapilheira em relação às áreas avaliadas (Sistemas Agroflorestais (SAF e SAF2), Mata e Agricultura Anual (AgAn)) para a época chuvosa, no município de Paraty (RJ). Valor de explicação Eixo 1 (95,08%) e Eixo 2 (4,19%).

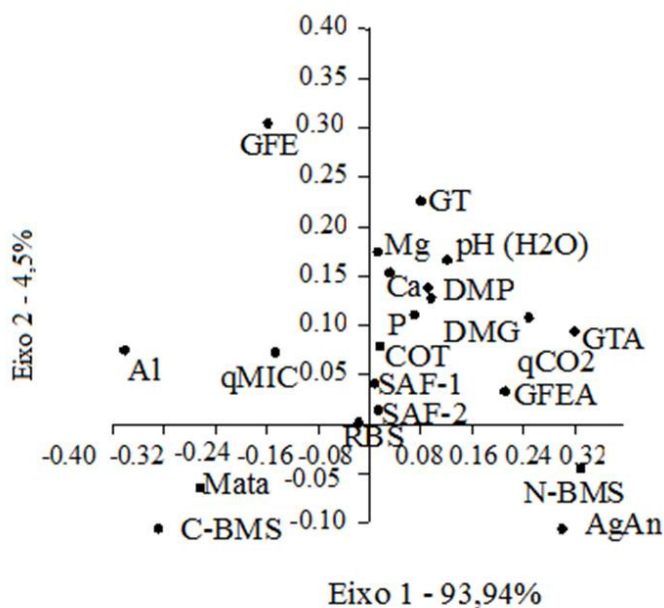
Ar - Aranea; Auch - Achenorrhynca; Chilo - Chilopoda; Coleo - Coleoptera; Diplo - Diplopoda; Dip - Diptera; Entomo - Entomobryomorpha; For - Fomicidae; Gast - Gatropoda; Hete - Heteroptera; Hymenopetra; Isso - Isopoda; Isop - Isoptera; Larco - Larva Coleopera; Lardi - Larva Diptera; Larlepid - Larva de Lepidoptera; Oligo - Oligochaeta; Poduro - Poduromorpha; Pseudo - Pseudoscorpionida; Sterno - Sterno - Seternorrhyncha; Symp - Symphyla; Symphy - Symphypleona; Thysa - Thysanoptera.

Também é importante relatar que a qualidade da serrapilheira influencia a comunidade da fauna edáfica, uma vez que regula a concentração de nutrientes e componentes recalcitrantes (lignina e celulose), que exigem organismos específicos para a sua decomposição, favorecendo ou inibindo a ocorrência de determinados grupos. Além disso, a qualidade da serrapilheira também pode afetar as condições microclimáticas, como as alterações sobre a umidade, temperatura e o condicionamento de habitat (MOÇO et al., 2010; SILVA et al., 2009; MOÇO et al., 2005; CORREIA & OLIVEIRA, 2000). Nesse caso, apesar da pouca variação quanto ao estoque de nutrientes e biomassa da serrapilheira, ainda assim pode-se observar variações na comunidade da fauna desse componente, mostrando a sensibilidade desses indivíduos quanto a esses fatores.

#### 4.9. Análise Multivariada

A análise multivariada de correspondência, integrando as propriedades químicas, físicas e biológicas, mostra que para a época seca as áreas de SAF-1 e SAF-2 apresentaram maior proximidade, enquanto a Mata e a AgAn ficaram mais distantes entre si e das áreas de SAF (Figura 19). Algumas variáveis foram mais agrupadas, os índices de agregação (DMP e DMG) e as frações da PSRG (GTA, GFEA e GT) se aproximaram do COT, o que indica relação entre esses atributos. Existe relação direta entre os teores de glomalina e carbono, onde a glomalina é considerada responsável pelo armazenamento de carbono. Além disso, a glomalina e o carbono são importantes para melhorar a estabilidade de agregados do solo e, conseqüentemente, os índices de agregação (PREGER et al., 2007; WRIGHT et al., 2007; HONTORIA et al., 2009; LOSS et al., 2009, SILVA et al. 2011, ROSSETTI et al., 2012; COUTINHO et al., 2011).

Desse modo, os valores atribuídos a esses parâmetros podem apresentar interação, onde a produção de glomalina ajuda a aumentar os teores de COT no solo, sendo essa produção de responsabilidade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Além disso, a atividade dos organismos, estimada pela RBS, pode contribuir com os processos de transformação da matéria orgânica, que, como relatado, ajuda a armazená-lo nas frações de maior estabilidade (CAMPANHA et al., 2007; TSCHARNTKE et al., 2011; SOUZA et al., 2012; DUARTE et al., 2013).

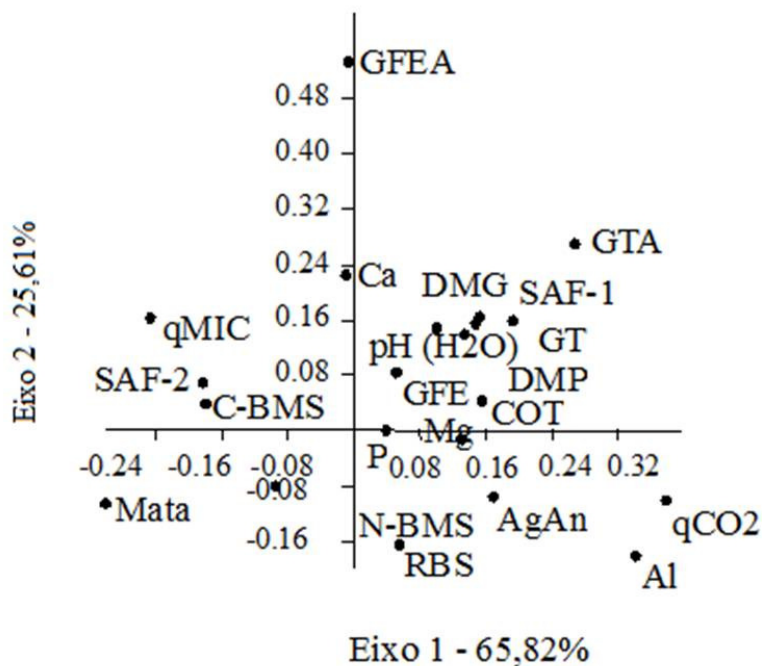


**Figura 19.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre atributos químicos (pH, Mg, Ca, Al, P), índices de agregação (DMP e DMG), C, N e atividade da Biomassa microbiana do solo (C-BMS, N-BMS e RBS), quocientes microbianos (qCO<sub>2</sub>, qMIC) e teores das diferentes frações da proteína do solo e dos agregados relacionada à glomalina (PSRG) (GFE, GT, GFEA, GTA), em relação às áreas avaliadas (SAF-1, SAF-2, Mata e AgAn) para a época seca, no município de Paraty(RJ).

Os nutrientes Ca, Mg e P também se posicionaram agrupados a esses parâmetros, o que pode significar relação entre a disponibilidade destes e os teores de COT (GOMES et al. 2012; FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO, 2008).

Na época chuvosa (Figura 20), as áreas foram agrupadas de forma diferente, onde a AgAn e a Mata mantiveram a mesma posição, enquanto os SAFs se distanciaram. As variáveis avaliadas se posicionaram de forma mais dispersa, enquanto o COT, as frações da glomalina e os teores de Ca e Mg continuaram agrupados. Já a RBS e o qCO<sub>2</sub> ficaram associados à AgAn, o que pode indicar maior atividade da biomassa microbiana do solo e, conseqüentemente, maiores perdas de COT.

A análise exploratória mostra que o sistema de manejo adotado nos SAFs (1 e 2) e na área de AgAn, além da relação entre essas áreas, tem contribuído com a elevação dos teores de COT no solo. Esse processo é facilitado pela manutenção da cobertura vegetal, que proporciona maior quantidade de habitats para os organismos do solo, que promovem atividade de transformação da matéria orgânica e contribuem com melhorias nos atributos físicos e químicos do solo, influenciados pela promoção de aumento nos teores de COT (ROCHA & COSTA, 1998).



**Figura 20.** Diagrama resultante da análise de correspondência entre atributos químicos (pH, Mg, Ca, Al, P), índices de agregação (DMP e DMG), C, N e atividade da Biomassa microbiana do solo (C-BMS, N-BMS e RBS), quocientes microbianos (qCO<sub>2</sub>, qMIC) e teores das diferentes frações da proteína do solo e dos agregados relacionada à glomalina (PSRG) (GFE, GT, GFEA, GTA), em relação às áreas avaliadas (SAF-1, SAF-2, Mata e AgAn) para a época chuvosa, no município de Paraty(RJ).

## 5. CONCLUSÕES

As alterações que ocorreram na composição florística dos Sistemas Agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) permitem inferir que está ocorrendo um processo de regeneração natural, ocasionado pela interação com as outras áreas de floresta. Desse modo, os Sistemas Agroflorestais estão contribuindo com o estoque de nutrientes e biomassa da serrapilheira semelhantes aos da Mata no solo. É válido destacar que o SAF-1 apresentou padrão mais próximo da Mata que o SAF-2.

O pH do solo das áreas estudadas apresenta valores baixos, que os caracteriza enquanto ácidos, porém os valores dos demais nutrientes e o elevado teor de carbono orgânico total indicam que o manejo adotado nas áreas de SAFs e AgAn estão mantendo essas características próximas ao proporcionado pela Mata.

O manejo adotado, além de manter níveis elevados de carbono orgânico total, também proporciona seu armazenamento em frações mais estáveis.

Apesar das diferenças de manejo de cada sistema (SAF-1, SAF-2 e AgAn), quando comparados à Mata, pode-se inferir que as áreas estão proporcionando as mesmas condições para a agregação do solo, com base nos índices de agregação.

As regiões apresentaram diferenças quanto à comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Algumas espécies ocorreram em todas as áreas e épocas do ano, enquanto outras ocorreram em apenas algumas das áreas, o que mostra que a cobertura vegetal, as diferentes formas de manejo e a variação sazonal influenciam na população de FMA.

Os componentes biológicos, FMA, mesofauna edáfica e biomassa microbiana foram mais sensíveis às variações de manejo e à sazonalidade do que os atributos químicos e físicos.

Os teores de proteína do solo relacionada à glomalina foram próximos nas áreas, apresentando maiores teores no período chuvoso, o que indica que o manejo agroflorestal e o adotado na área de agricultura não estão promovendo degradação da glomalina, quando utiliza-se como referência os valores observados na Mata.

A comunidade da mesofauna do solo e da serrapilheira foi composta basicamente por organismos sociais (Formicidae) e micrófagos (Collembola), organismos que ocupam diversos nichos e são bons indicadores de qualidade dos agro e ecossistemas. Além disso, também houve maior proximidade da composição da comunidade da mesofauna do solo entre os SAFs e entre a Mata e AgAn.

De modo geral, pode-se concluir que o desenvolvimento dos Sistemas Agroflorestais está contribuindo para a formação de um agroecossistema que integra a área de agricultura, promovendo melhorias na qualidade do solo e conexão com as áreas florestais próximas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas de estudo apresentaram semelhança em algumas das características do solo. A partir de estudos anteriores desenvolvidos nessas áreas, pôde-se observar que, com a evolução dos Sistemas Agroflorestais, além das melhorias proporcionadas no solo das áreas onde estes estão inseridos, também estão ocorrendo alterações sobre as características do solo da área de agricultura. Assim, pode-se supor que os Sistemas Agroflorestais e as áreas de mata estão impulsionando a qualidade do solo também na área de agricultura. Apesar dessa observação, se faz necessário estudos posteriores que demonstrem essa relação de forma mais clara.

O uso dos Sistemas Agroflorestais se revela como uma alternativa interessante para a manutenção da atividade agrícola na região analisado no estudo, pois a mesma apresenta grande número de Unidades de Conservação, pequenas áreas para a agricultura e força de trabalho de base familiar. A geração de renda aliada à conservação ambiental é uma das principais vantagens desses sistemas. Dessa forma, podem ajudar a solucionar conflitos entre as comunidades tradicionais e órgãos ambientais, pelo uso da terra dentro e no entorno das Unidades de Conservação, além de diversificar as formas de geração de renda para essas famílias.

Nota-se, com esse estudo, que as observações após a implantação dos SAFs sobre melhorias na qualidade do meio ambiente, relatadas pelos agricultores da comunidade, podem estar relacionadas com a formação da matriz agrícola mais diversificada.

É importante destacar que a formação de agroecossistemas semelhantes ao estudado, com a inserção dos SAFs, é característica de muitas comunidades da região da Costa Verde Fluminense. Logo, a manutenção dos mesmos pode ajudar a prover serviços ambientais articulados com a manutenção das atividades produtivas das comunidades. Torna-se necessário compreender os benefícios da formação da matriz agrícola diversificada, e como ela pode contribuir com a promoção de serviços ambientais, favorecendo a manutenção da funcionalidade dos ecossistemas florestais e agroecossistemas, e, conseqüentemente, possibilitando que ela seja recomendada como estratégia de manejo para a região.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBONA, E.A.; SARANDON, S.J.; MARASAS, M.E.; ASTIER, M. Ecological sustainability valuation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, n. 119, p. 335–345, 2007.

ALBUQUERQUE, M. P. ; MACHADO, A. M. B.; MACHADO, A. F.; VICTORIA, F. C.; MORSELLI, T. B. G. A. Fauna edáfica em sistema de plantio homogêneo, sistema agroflorestal e em mata nativa em dois municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. **Biociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 59-66, dez. 2009.

ALENTEJANO, P. R. R. **Reforma Agrária, território e desenvolvimento no Rio de Janeiro**. 2003. 297 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

ALTIERI, M.A. **Agroecology: the science of sustainable agriculture**. Springer: Netherlands, The Netherlands. 1995, 433p.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biological and Fertility: a handbook of methods**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 221p. 1993.

ANDRADE, C.F.S.; RODACOSKI, J.L.; COLLESI, G.S.P.; FARIA, S.P. Recuperação da Cobertura Vegetal do Quilombo do Cabral em Paraty, Rj – Bases de um Projeto Socio-Ambiental de Extensão. **Revista Ciência e Extensão**, v.9, n.3, p.7-20, 2013.

ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Seminário: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 115-130, jan./mar. 2012.

ANTONIOLLI, Z. I.; FACELLI, E.; O' CONNOR, P.; MILLER, D.; OPHEL-KELLER, K.; SMITH, S. Spore communities of arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal associations in different ecosystems, South Australia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 627-635, 2002.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; BADEJO, M.A. Amostragem da Mesofauna Edáfica utilizando Funis de Berleze - Tullgren modificado. **Circular técnica**, Embrapa, Seropédica – RJ, dezembro, 2006

ARAÚJO, A. S. F. de; MELO, W. J. A Biomassa Microbiana do Solo. In: **Biomassa Microbiana do Solo**. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

ARCÂNGELO LOSS, A.; PEREIRA, M. G; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.68-75, jan. 2009.

ARMBRECHT, I. & ULLOA-CHACÓN, P. Rareza y diversidad de hormigas en fragmentos de floresta seco colombianos y sus matrices. **Biotropica**, v.31, p.646-653, 1999.



ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, p. 25-32, 1992.

ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C., KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N..Atividade microbiana do solo em Sistemas Agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p.35-41, 2003.

AUGÉ, R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, vol. 11, p.3-42, 2001.

BAILEY, B. J. R. Tables of the Bonferroni “t” statistic. **Journal of the American Statistical Association**, v.72, p.469-478, 1977.

BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A; ANDRADE, D. S.; DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**, n. 77, p. 137-145, 2004.

BARAL, H.; KEENANB, R.J.; SHARMAC, S.K.; STORKD, N.E.; KASELE, S. Spatial assessment and mapping of biodiversity and conservation priorities in a heavily modified and fragmented production landscape in north-central. **Ecological Indicators**, Victoria, Australia, n. 36, p 552-562, 2014.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, Al. L.; WILDNER, L. P.; MIQUELLUTI, D. J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, p. 97-106, 2003.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1471-1478, 2008.

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; FONTES, A.G.; POLIDORO, J.C.; MOÇO, M.K.S.; MACHADO, E.C.R.; BALIGAR, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 81, p. 213-220, 2011.

BARROSO, R. M.; REIS, A.; HANAZAKI, N. Etnoecologia e etnobotânica da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius) em comunidades quilombolas do Vale do Ribeira, São Paulo. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 24, n. 2, p. 518-528. 2010.

BATISTA, A. P. B.; MARANGON, L. C.; LIMA, R. B.; SANTOS, R. C., JÚNIOR, E. B.. Estrutura fitossociológica, diamétrica e hipsométrica da comunidade arbórea de um fragmento de floresta atlântica no Município de Moreno, Pernambuco, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 5, p. 114-120, dez. 2012.

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, .A., Camargo, F.A.O. (ed.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Gênese, Porto Alegre, Brasil. p. 9-26. 1999.

BEDANO, J.C.; DOMÍNGUEZ, A.; AROLFO, R. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. **Soil & Tillage Research**, v 117, p. 55-60, 2011.

BEDINI, S.; AVIO, L.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.120, p.463-466, 2007.

BEDINI, S.; PELLEGRINO, E.; AVIO, L.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 1491–1496, 1999.

BENNETT, A. F.; RADFORD, J. Q.; HASLEM, A. Properties of land mosaics: implications for nature conservation in agricultural environments. **Biological Conservation**, v.133, p.250–264, 2006.

BENTON TG, VICKERY JA, WILSON JD. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 18, p. 182–188, 2003.

BERTOL, I.; ZOLDAN JUNIOR, W.A.; FABIAN, E.L.; ZAVASCHI, E.; PEGORARO, R. & PAZ GONZÁLEZ, A. Efeito de uma escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.32, p.747-757, 2008.

BHAGWAT, S.A., WILLIS, K.J., BIRKS, H.J.B. & WHITTAKER, R.J. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 23, p. 261–267. 2008.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.

BOUMA, J; DROOGERS, P.A procedure to derive land quality indicators for sustainable agricultural production. **Geoderma**, v. 85, p.103-110, 1998.

BRADFORD, M. M.A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 17, p. 837-842, 1985.

BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil  
BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v. 21, p. 171-313, 1992.

Campanha, M. M.; Santos, R. H. S. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura na zona da mata-MG. **Revista Árvore**, v.31, p.805-812, 2007.

CAMPOS, B.C., REINERT, D.J., NICOLODI, R., CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 383-391, 1999.

CARDOSO, I.M. C; GUIJT, I; FRANCO, F.S.; CARVALHO, A.F.; FERREIRA NETO, P.S..Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 69, p. 235-257. 2001.

CARDOSO, I.M.; BODDINGTON, C.; JANSSEN, B.H.; OENEMA, O.; KUYPER, T.W. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 58, p. 33-43, 2003.

CARDOSO, I.M.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. In: FERREIRA, J.M.L.; ALVARENGA, A.P.; SANTANA, D.P.; VILELA, M.R. Indicadores de biodiversidade. In: **Indicadores de sustentabilidade em sistemas de produção agrícola**. EPAMIG. Belo Horizonte, 2010. p. 231-258.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; PAULINO, H.B.; SALES, L.E.O.; VILELA, L.A.F. Atributos Indicadores de Qualidade em Solos De Cerrado no Entorno do Parque Nacional das Emas, Goiás. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1857-1868, 2013.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, nov. 2004.

CASTANHO, C.T.; LORENZO, L.; OLIVEIRA, A.A.The importance of mesofauna and decomposition environment on leaf decomposition in three forests in southeastern Brazil.**Plant Ecol**, n. 213, p. 1303-1313, 2012.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 22, p. 527-538, 1998.

CASTRO, A.P.; FRAXE, T. J.; SANTIAGO, J. L.; MATOS, R.B.; PINTO, I. C. Os Sistemas Agroflorestais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus. v. 39, n.2, p. 279-288, 2009.

CENCIANI, K.; LAMBAIS, M.R.; CERRI, C.C.; AZEVEDO, L.C.B.; FEIGL, B.J. Bacteria diversity and microbial biomass in forest, pasture and fallow soils in the southwestern Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 907-916, 2009.

CENTRO AGROFLORESTAL MUNDIAL disponível em:<http://www.worldagroforestrycentre.org/>, acessado em 25/07/2012.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley.**Soil Science**, Baltimore, v. 166, p. 61-67, 2001.

CHALMERS, N.; C. FABRICIUS. Expert and generalist local knowledge about land-cover change on South Africa's Wild Coast: Can local ecological knowledge add value to science? **Ecology and Society**, 12: 10, 2007.

CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. **Mosaico das Unidades de Conservação da Serra do Mar**. Caderno N°32 - Série conservação e áreas protegidas, São Paulo, maio de 2007.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL disponível em: <http://www.conservation.org.br/como/index.php?id=8>, acessado em 29/08/2012.

CONTI, B.C.; ANTUNES, D.C. Conflitos na gestão do Parque Nacional da Serra da Bocaina: entraves ao desenvolvimento local na vila de Trindade (Paraty, RJ). **Interações**. Campo Grande, v. 13, n. 2, p. 213-223, 2012.

[CORREIA, M. E. F.](#); OLIVEIRA, L.C.M. de. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. cap. 4. p. 77-99.

COSTA, C.; VANIN, S. A.; CASARI-CHEN, S. A. **Larvas de Coleoptera do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo: FAPESP, 1988, p.282.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; JUNIOR, D.J.R.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados edistribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p.100-105, 2010.

CSIRO. **The insects of Australia: a textbook for students and research workers**. v.2, 2.ed. Cornell University Press, New York, 1991, 1136 p.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo: A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p.484.

DINDAL, D. **Soil biology guide**. Ed. John Wiley and Sons. New York, 1990, p.1348.

DONAGEMA, G. K.; CHAER, G.M.; BALIEIRO, F.C.; PRADO, R.B.; ANDRADE, A.G.; FERNANDES, M.F.; COUTINHO, H.L. DA C.; CORREIA, M. E. F.; BARRIOS, E. **Indicadores de qualidade do solo: descrição, uso e integração para fins de estudo em agroecossistemas**. In: Indicadores de Sustentabilidade em sistemas de produção agrícola. Belo Horizonte: EPAMIG, 2010, p.166-192.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p. 3-11, 2000.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-22.

DRIVER, J.D.; HOLBEN, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, v.37, p.101–106, 2005.

DUARTE, E. M. G.; CARDOSO, I.M.; STIJNEN, T.; MENDONÇA, M. A. F. C; COELHO, M.S.; CANTARUTTI, R.B.; KUYPER, T. W.; VILLANI, E. M. A.; MENDONÇA, E.S. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. **Agroforest Systems**, v. 87, p. 835–847, 2013.

DUELLI, P.; OBRIST, M. K. Biodiversity indicators: the choice of values and measures. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 87–98, 2003.

ELLIOTT, E.T. 1997. **Rationale for developing bioindicators of soil health**. In: PANKHURST, C; DOUBE, B.M. & GUPTA, V.V.S.R. (eds.). Biological indicators of soil health. New York: CAB International, p. 49-78.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de Métodos de análise de solo**. 2a ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation Rome. **Advancing Agroforestry on the Policy Agenda Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation Rome. **Global forest resource assessment**. Rome: FAO, 2010.

FELFILI, J.M.; REZENDE, R.P. **Conceitos e métodos em fitossociologia**. Brasília, DF: UNB, Departamento de engenharia florestal, 2003. 68p. (UNB. Comunicações técnicas florestais V.5, n.1).

FERRAZ, A.M.F.; LOBÃO, R.J.S. O caso dos Caiçaras da praia de Trindade: aproximações honnethianas para uma perspectiva intercultural de direitos humanos, justiça social e cidadania. **Revista do direito público**, Londrina, v.8, n.3, p.103-130, 2013.

FOKOM, R.; S. ADAMOU, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D; NANA, W. L.; NGONKEU, M. E. L. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil & Tillage Research**, v. 120, p. 69–75, 2012.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570–574. 2005.

FRANCHINI, J. C.; GONZALEZ-VILA, F. J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v.31, p.55- 63, 2001.

FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5/6, p. 897-903, 1997.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em Sistemas Agroflorestais e convencionais na zona da mata de minas gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.6, p.751-760, 2002.

FREIRE, L. R.; CAMPOS, D. V. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; BLOISE, R. M.; MOREIRA, G. N. C.; EIRA, P. A. Análise química de amostras de terra. In. FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; AMJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. M. G.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do estado do Rio de Janeiro**. Editora Universidade Rural, Seropédica - RJ, p. 87 - 105, 2013.

FROUFRE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramenta para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.67, p. 203 -225. Jul/Set 2011.

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

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Microbial biomass and activity in soil and forest Litter of eucalyptus plantations and native Vegetation in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1489-1499, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 893-901, 2005.

GEIGER, F.; BENGTTSSON, J.; BERENDSE, F.; WEISSER, W. W.; EMMERSON, M.; MORALES, M. B.; CERYNGIER, P.; LIIRA, J.; TSCHARNTKE, T.; WINQVIST, C.; EGGERS, S.; BOMMARCO, R. P. A.; BRETAGNOLLE, V.; PLANTEGENST, M.; CLEMENT, L.W.; DENNIS, C.; PALMER, C.; ONÁTE, J. J.; GUERRERO, I.; HAWRO, V.; AAVIK, T.; THIES, C.; FLOHRE, A.; HANKE, S.; FISCHER, C.; GOEDHART, P.W.; INCHAUSTI, P. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, n. 2, p. 97–105, 2010.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235- 244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, p. 489-500, 1980.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia**: Processos ecológicos em Agricultura Sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2001, 641p.

GOMES, J.B.V.; FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C.; ARAÚJO FILHO, J.C. & CURI, N. Soil attributes under agroecosystems and forest vegetation in the coastal tablelands of Northeastern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Vol. 36, p. 649- 664, 2012.

GOSLING, P.; PARSONS, N.; BENDING, G.D. What are the primary factors controlling the light fraction and particulate soil organic matter content of agricultural soils? **Biol. Fertil. Soils**, n.49, p.1001–1014, 2012.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n.1, p. 13-24, 2000.

GUADARRAMA, P.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, F. J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Vera Cruz, Mexico. **Mycorrhiza**, v. 8, p. 267–270, 1999.

GUADARRAMA-CHÁVEZ, P., CAMARGO-RICALDE, S. L., HENRÁNDEZ-CUEVAS, L., CASTILLO-ARGÜERO, S. Los hongos micorrizógenos arbusculares de la region de Nizanda, Oaxaca, México. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**, Guadalajara, v. 81, p.133–139, 2007.

GUEDES-BRUNI, R. R. & MANTOVANI, W. Espécies arbóreas raras em dossel de seis unidades fisionômicas de Mata Atlântica no Rio de Janeiro: uma abordagem preliminar. In **Anais do 50 Congresso Nacional de Botânica**. Blumenau, p.264-265. 1999.

GUEDES-BRUNI, R. R., SILVA NETO, S. J., MORIM, M. P. & MANTOVANI, W. Composição florística e estrutura de dossel em trecho de floresta ombrófila densa atlântica sobre morrote mamelonar na reserva biológica de poço das antas, Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 3, p.429-442. 2006.

HADDAD, M.J. & SARKAR, D. Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: Part II - Relationship with soil properties. **Environ. Geosci.**, Vol,10, p. 99-106, 2003.

HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S. Stability of aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **J. Soil Science** 41, 73-83, 1990.

HETRICK B.A.D. Ecology of VA Mycorrhizal fungi. In: Powell C. and Bagyaraj D. (eds), VA Mycorrhiza. **CRC Press**, Boca Raton, Florida, USA, pp. 35–55, 1984.

HONRUBIA, M. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. **Anales del Jardín Botánico de Madrid**, Madrid, v. 66S1, p. 133-144, 2009.

HUHTA, V. The role of soil fauna in ecosystems: a historical review. **Pedobiologia**, v. 50, p. 489–495, 2007.

HUSTON, M. A. A general hypothesis of species diversity. **The American Naturalist**, Chicago, v.113, p. 81-101.1979.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L.P. Sistemas Agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.7, p.730–738, 2012

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05/08/2012.

INVAM - INTERNATIONAL CULTURE COLLECTION OF VESICULAR ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI, 2013. Disponível em: <http://invam.caf.wvu.edu/mycinfo/methods/cultures/monosp.htm>.

IVANAUSKAS, N. M., RODRIGUES, R. R. & NAVE, A. G. Fitossociologia de um trecho de Floresta Estacional Semidecídua em Itatinga, SP, Brasil. **Scientias Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 83-99, 1999.

JACKSON, L.E.; PULLEMAN, M.M.; BRUSSAARD, L.; BAWA, K.S.; BROWN, G.G.; CARDOSO, I.M.; RUITER, P.C.; GARCÍA-BARRIOS, L.; HOLLANDER, A.D.; LAVELLE, P.; OUÉDRAOGO, E.; PASCUAL, U.; SETTY, S.; SMUKLER, S.M; TSCHARNTKE, T.; VAN NOORDWIJK, M. Social-ecological and regional adaptation of agrobiodiversity management across a global set of research regions. **Global Environmental Change**, v.22, p.623-639.2012.

JACKSON, L. E.; PASCUAL, U.; HODGKIN, T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 121, n. 3, p. 196-210. 2007.

JANDL, R.; RODEGHIERO, M.; MARTINEZ, C.; COTRUFO, M. F.; BAMPA, F.; WESEMAEL, B.V.; HARRISON, R.B.; GUERRINI, I. A.; RICHTER JR., D.B.; RUSTAD, L.; LORENZ, K.; CHABBI, A.; MIGLIETTA, F. Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. **Science of the Total Environment**, v. 468–469, p.376–383, 2014.

JANOS D.P. Mycorrhizas, succession and rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: Frankland J.C., Magan N. and Gadd G.M. (eds), **Fungi and Environmental Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 129–161, 1996.

JARVIS, D. I., HODGKIN, T., STHAPIT, B., FADDA, C., LOPEZ-NOREIGA, I. An heuristic framework for identifying multiple ways of supporting the conservation and use of traditional crop varieties within the agricultural production system. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 30, p. 125–176. 2011.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692. 1964.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1973.



JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.M., eds. **Soil biochemistry**. 5.ed. New York, Marcel Decker, 1981. p.415-471.

JOHNSON, N. C.; WEDIN, D. A. Soil carbon, nutrients, and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. **Journal of Applied Ecology**, v. 7, p. 171–182, 1997.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10. 2009.

KALABA, F.K.; QUINN, C.H.; DOUGILL, A.J. Contribution of forest provisioning ecosystem services to rural livelihoods in the Miombo woodlands of Zambia. **Popul. Environ.**, n.35, p. 159-182, 2013.

KANMEGNE, J., DUGUMA, B., HENROT, J., ISIRIMAH, N: Soil fertility enhancement by planted tree-fallow species in the humid lowlands of Cameroon. **Agroforestry Systems**, v. 46, p. 239-249. 1999.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, v. 338, p.467–481. 2011.

KIBBLEWHITE, M.G., RITZ, K., SWIFT, M.J.,. Soil health in agricultural systems: Philosophical Transactions of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 363, p. 685–701. 2008.

KNOKE, T.; CALVAS, B.; AGUIRRE, N.; ROMÁN-CUESTA, R.M.; GÜNTER, S.; STIMM, B.; WEBER, M; MOSANDL, R..Can tropical farmers reconcile subsistence needs with forest conservation? **Frontiers in Ecology and Environmental**, v. 7, n. 10, p. 548–554, 2009.

KOINONIA. Disponível em: <http://www.koinonia.org.br/oq/artigos-detalhes.asp?cod=12573>. Acessado em 20/04/2014.

KUIMEI, Q.; LIPING, W.; NINGNING, Y. Effects of AMF on soil enzyme activity and carbon sequestration capacity in reclaimed mine soil. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 22, p.553–557, 2012.

KUMARASWAMY, S.; KUNTE, K. Integrating biodiversity and conservation with modern agricultural landscapes. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, p. 2735–2750. 2013.

LACOMBE, S.; BRADLEY, R.L.; HAMEL, C.; BEAULIEU, C. Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.131, p.25–31, 2012.

LAOSSI, K.R.; BAROT, S.; CARVALHO, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P.; MARTINS, M.; MITJA, D.; RENDEIRO, A.C.; ROUSSEAU, G.; SARRAZIN, M.; VELASQUEZ, E.; GRIMALDI, M. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. **Pedobiologia**, v. 51, p. 397–407, 2008.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W. & DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1999.

LAVELLE, P.; DECÃENS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 3-15, 2006.

LEAL, M. A. de A.; BALIEIRO, F. de C.; INACIO, C. de T.; CAMPOS, D. V. B. de; ZONTA, E.; FREIRE, L. R. Uso e manejo da matéria orgânica para fins de fertilidade do solo. In: CAMPOS, D. V. B. de; LIMA, E.; ZONTA, E.; BALIEIRO, F. de C.; GUERRA, J. G. M.; POLIDORO, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; FREIRE, L. R.; LEAL, M. A. de A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, M. B. C. (Ed.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Universidade Rural, 2013. cap. 7, p. 143-165.

LEITÃO-FILHO, H.F., PAGANO, S.N., CESAR, O., TIMONI, J.L. & RUEDA, J.J. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Editora da Universidade Estadual Paulista & Editora da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo & Campinas. 1993. 375p.

LETOURNEAU, D.K., ARMBRECHT, I., RIVERA, B.S., LERMA, J.M., CARMONA, E.J., DAZA, M.C., ESCOBAR, S., GALINDO, V., GUTIERREZ, C., LOPEZ, S.D., MEJIA, J.L., RANGEL, A.M.A., RANGEL, J.H., RIVERA, L., SAAVEDRA, C.A., TORRES, A.M., TRUJILLO, A.R. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. **Ecological Applications**, v. 21, n. 1, p. 9–21. 2011.

LIEBERMAN, M. & LIEBERMAN, D. Patterns of density and dispersion of forest trees. In **La Selva Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest** (L.A. MacDade, K.S. Bawa, H.A. Hespenheide & G.S. Hartshorn, eds.). University of Chicago Press, Chicago, p.106-119. 1994.

LIMA, G. S. **Utilização de Sistemas Agroflorestais em Áreas de Preservação Permanente: O que mudou com a nova legislação**. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, S. S. DE; AQUINO, A. M. DE; LEITE, L. F. C.; VELÁSQUEZ, W.; E PATRICK, P.. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.45, n.3, p.322-331, mar. 2010.

LIMA, L. R. **Quilombos e políticas de reconhecimento: o caso do quilombo do campinho da indepedência**. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em antropologia social da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em antropologia social, 2009.

LIMA, S. S. **Impacto do manejo agroflorestal sobre a dinâmica de nutrientes e a macrofauna invertebrada nos compartimentos serapilheira-solo em área de transição no norte do Piauí**. Sandra Santana de Lima. Teresina: UFPI, 2008. Dissertação Mestrado

LIU, Y.; WEI, X.; GUO, X.; NIU, D.; ZHANG, J.; GONG, X.; JIANG, Y. The long-term effects of reforestation on soil microbial biomass carbon in sub-tropic severe red soil degradation areas. **Forest Ecology and management**, Amsterdam, v. 285, p. 77–84. 2012.

LOREAU, M.; MOUQUET, N.; GONZALEZ, A. Biodiversity as spatial insurance in heterogenous landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, p. 12765 – 12770, 2003.

LOSS, A., PEREIRA, M.G., SCHULTZ, N., ANJOS, L.H.C., SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 68-75. 2009.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 1, p. 57-64, 2010.

LOVELOCK, C.E.; ANDERSON K.; MORTON, J.B. Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. **Oecologia Australis**, v. 135, p. 268–279, 2003.

LUIZÃO, R.C.C.; BONDE, T.A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – The effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 805-813, 1992.

MACDICKEN, K.G.; VERGARA, N.T. **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley, 1990. 382p.

MAGCALE-MACANDOG, D. B.; RANÕLA, F. M.; RANÕLA JR, R. F.; ANI, P. A. B.; VIDAL, N. B. Enhancing the food security of upland farming households through agroforestry in Claveria, Misamis Oriental, Philippines. **Agroforest Systems**, v. 79, p. 327–342. 2010.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Editora UFPR, Curitiba, 2011. 261p.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 71, n. 2, p. 127-138, 2007.

MANHÃES, C.M.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Meso- and macrofauna in the soil and litter of leguminous trees in a degraded pasture in Brazil. **Agroforest Systems**, v. 87, p. 993-1004, 2013.

Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MATEOS, E., SANTOS, X., PUJADE-VILLAR, J. Taxonomic and functional responses to fire and post-fire management of a mediterranean hymenoptera community. **Environmental Management**, v. 48, p. 1000-1012, 2011.

MATOS, E.S., MENDONÇA, E.S., LEITE, L.F.C., GALVÃO, J.C.C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1221-1230. 2008.

MBOW, C.; SMITH, P., SKOLE, D.; DUGUMA, L.; BUSTAMANTE, M. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.6, p.8-14, 2014.

MELLONI, R.; PERREIRA, E.G.M.; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe Agropecuário**, v. 29, p. 17-29, 2008.

MELO, M. M. R. F.; MANTOVANI, W. Composição florística e estrutura fitossociológica da mata atlântica de encosta na Ilha do Cardoso (Cananéia, Brasil). **Boletim do Instituto de Botânica**, v. 9, p. 107-158. 1994.

MELZ, E.; TIAGO, P. V. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 829-834. 2009.

MENDONÇA SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G.; BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; MANZATTO, C. V.; FIDALGO, E. C. C. Solos e Ocupação das Terras na Amazônia Brasileira. In: MOREIRA, F. M. S.; 80SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.), **Biodiversidade do Solo em ecossistemas brasileiros**, Lavras, p. 34-57. 2007.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, mai./jun. 2001.

MENEZES, J. M. T.; LEEUWEN, J.V.; VALERI, S.V.; CRUZ, M. C. P. DA; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 893-898, 2008.

MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: EVANGRAF, 2006. 285p

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MACHADO, R.C.R.; BALIGAR, V.C. Relationships between invertebrate Communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. **Applied Soil Ecology**. Vol. 46, p.347-354,2010.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Agroforest Systems**, v. 76, p. 127-138. 2009.

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

MORELL, F.; HERNÁNDEZ, A.; BORGES, YENIA, Y.; MARENTES, FRANCY L. La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. **Cultrop** [online]. v. 30, n. 4 ISSN 0258-5936. 2009.

MORI, S. A.; BOOM, B. M.; CARVALHO, A. M.; SANTOS, T. S. Southern bahian moist forests. **Botanical Review**, v. 49, n. 2, p. 155-232, 1983.

MUELLER-DOMBOIS, D. & H. ELLENBERG. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley, New York. p. 547, 1974.

NAIR, P. K. R. Agroecosystem management in the 21st century: it is time for a paradigm shift. **Journal of Tropical Agriculture**, v.46, p. 1-12, 2008a.

NAIR, P. K. R., GORDON, A. M., MOSQUERA-LOSADA, M. R. Agroforestry, in Jorgensen, S. E., Fath, B. D. (eds): *Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology*, Vol. 1, Elsevier, Oxford, U.K., pp. 101-110, 2008b.

NAIR, P. K. R.. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. **Agroforestry Systems**, v. 38, p. 223-245, 1998.

NAIR, P. K. R.; B. KUMAR, M; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **J. Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10-23. 2009.

NAIR, P.K. R. **An Introduction to Agroforestry**. Kluwer Academic Publishers DORDRECHT/BOSTON/LONDON IN COOPERATION WITH International Centre for Research in Agroforestry. 1993

NDAW, S.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; SALES, K.R.N.; ROSADO, A.S. Relationships between bacterial diversity, microbial biomass and litter quality in soils under different plant covers in northern Rio de Janeiro State, Brazil. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 55, p.1089-1095, 2009.

NEGASH, M.; YIRDAW, E.; LUUKKANEN, O. Potential of indigenous multistrata agroforests for maintaining native floristic diversity in the south-eastern Rift Valley escarpment, Ethiopia. **Agroforestry Systems** v. 85, p. 9–28, 2012.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. Comparison of glomalin and humic acid in eight ONGUENE, N.A.; AND KUYPER, T.W. Mycorrhizal associations in the rain forest of south Cameroon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 140, p. 277-287, 2001.

NICHOLS, K.A., WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. soils. **Soil Science**, Madison, v. 170, v.985-997. 2005.

NOBRE, C.P.; FERRAZ JÚNIOR, A.S.L.; GOTO, B.T.; BERBARA, R.L.L.; NOGUEIRA, M.D.C. Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. **Acta amazonia**, v. 40(4), p.641 - 646, 2010.

ONG SOS MATA ATLÂNTICA disponível em: <http://www.sosma.org.br/nossa-cao/a-mata-atlantica/>, acessado em 01/08/2012.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, FAO. **El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura**: Cómo gestionar los sistemas en peligro. ROMA, 2011.

PAVINATO, P. S. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.

PEIXOTO, G.L., MARTINS, S.V., SILVA, A.F. & SILVA, E. Estrutura do componente arbóreo de um trecho de Floresta Atlântica na Área de Proteção Ambiental da Serra da Capoeira Grande, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 539-547. 2005.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 57 p. 411 - 417, 2013.

PERFECTOA, I.; VANDERMEER, J. The agroecological matrix as alternative to the landsparing/agriculture intensification model. **PNAS**, vol. 107, n. 13, p. 5786-5791, 2010.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; WRIGHT, A. Nature's Matrix linking Agriculture, Conservation and Food. **Sovereignty**. London, 2009. 191p

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois latossolos do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.665-674, 2003.

PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em Sistemas Agroflorestais. **Revista Ciências Agrárias**. v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PHALAN, B., BALMFORD, A., GREEN, R.E., SCHARLEMANN, J.P.W. Minimising the harm to biodiversity of producing more food globally. **Food Policy**, v. 36, p. S62-S71.2011 a.

PHALAN, B.; ONIAL, M.; BALMFORD, A.; GREEN, R.E. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. **Science**, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011 b.

PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, v. 32, p. 734-750, 2000.

PINHEIRO, T. R.. **Tradição e modernidade no quilombo do campinho da independência**. II CONINTER – Congresso Internacional Interdisciplinar em Sociais e Humanidades Belo Horizonte, outubro de 2013.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregates distribution and soil organic matter under different tillage system for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil Tillage Research**, v.77, p.79-84, 2004.

PORTUGAL, A. F. **Geoambientes de terra firme e várzea da região do Juruá, noroeste do Acre**. 2009. 148 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

POWLSON, D.S.; GREGORY, P.J.; WHALLEY, W.; QUINTON, J.N.; HOPKINS, D.W.; WHITMORE, A.P.; HIRSCH, P.R.; GOULDING, K.W.T. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. **Food Policy**, v.36, p.72–87, 2011.

PRADO, R.; CATÃO, H. Fronteiras do manejo: Embates entre concepções num universo de unidades de conservação. In: **Ambiente & Sociedade**. Campinas v. XIII, n. 1, p. 83-93, jan.-jun. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY. **Construindo uma cidade para todos**. Revisão do Plano Diretor Municipal de Paraty e as Leis Complementares, Volume III Construindo o Zoneamento Municipal, Paraty - RJ, 2010.

PREGER, A. C.; RILLIG, M. C.; JOHNS, A. R.; PREEZ, C. C. D.; LOBE, I.; AMELUNG, W. Losses of glomalin-related soil protein under prolonged arable cropping: a chronosequence study in sandy soils of the South African Highveld. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 2, p. 445-453, 2007.

PRIMAVESI, A. **Agricultura Sustentável**. São Paulo, Nobel, 1992.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

PURIN, S., FILHO, O.K., STURMER, S.L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biol. Biochem.** v.38, p.1831–1839, 2006.

PURIN, S.; MATTHIAS, C. Y RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, p. 123-130. 2007.

Quilombo Campinho da independência. Disponível em: <http://quilombocampinhodaindependencia.blogspot.com.br/>. Acessado em 20/04/2014.

RADAM. **Levantamento de recursos naturais**. Brasil, v. 32, 1983. 780p.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia** v.32: p.429-437, 2008.

REED, M. S.; DOUGILL, A. J.; TAYLOR, M. J. Integrating local and scientific knowledge for adaptation to land degradation: Kalahari rangeland management options. **Land Degradation and Development**, v.18, p. 249-268, 2007.

REIS, A.; KAGEYAMA, P.Y. 2000. Dispersão de sementes do palmitheiro (*Euterpe edulis* Martius – Palmae). In: REIS, M. S.; REIS, A. (eds). *Euterpe edulis* Martius (Palmitheiro): biologia, conservação e manejo. *Herbário Barbosa Rodrigues. Sellowia*, v. 45, p. 60-92, 1998.

REMANS, R., FLYNN, D.F.B., DECLERCK, F., DIRU, W., FANZO, J., GAYNOR, K., LAMBRECHT, I., MUDIOPE, J., MUTUO, P.K., NKHOMA, P., SIRIRI, D., SULLIVAN, C., PALM, C.A. Assessing nutritional diversity of cropping systems in African villages. *PLOS One*, v. 6, p. 212-235. 2011.

RESERVA da BIOSFERA da MATA ATLÂNTICA. Disponível em: [http://www.rbma.org.br/rbma/rbma\\_1\\_textosintese.asp](http://www.rbma.org.br/rbma/rbma_1_textosintese.asp) acessado em 16/-1/2014

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C.; SANTOS, E.J.S. Modificações em Atributos químicos de Solo Arenoso Sob Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p.713-721, 1998

RILLIG, M. C., WRIGHT, S. F., EVINER, V. T., The role of Arbuscular Mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant Soil*, v. 238, p. 325-333. 2002.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. *Plant and Soil*, v. 253, n. 2, p. 293-299, 2003.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; EVINER, V. T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*, v. 238, n. 2, p. 325-333, 2002.

RILLIG, M.C., MUMMEY, D.L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytological* v. 171, p. 41-53. 2006.

RILLIG, M.C.; MARDATIN, N.F.; LEIFHEIT, E.F., ANTUNES, P.M. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. *Soil Biol Biochem.* v.42(7), p.1189-91, 2010.

ROCHA, A. A. , COSTA, J. P. O. A Reserva da biosfera da Mata Atlântica e sua aplicação no Estado de São Paulo. *Terra Virgem*, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo, 1998.

ROCHELLE, A. L. C.; CIELO-FILHO, R.; MARTINS, F. R. Florística e estrutura de um trecho de Floresta Ombrófila Densa Atlântica Submontana no Parque Estadual da Serra do Mar, em Ubatuba/SP, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 11, n. 2, 2011.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas: 26 p. 2010.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 911-923, 2003.



ROSSET, P. **The multiple functions and benefits of small farm agriculture.**Institute for Food and Development Policy/Food First, 1999, Oakland.

ROSSETTI, K.C.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F.; ATIAS, S.S.R.; NÓBREGA, J.C.A. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.3, p.427-433, 2012.

ROUSSEAU, G.X.; DEHEUVELSB, O.; RODRIGUEZ ARIASD, I.; SOMARRIBAE, E. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecological Indicators*, Victoria, Australia, v.23, p.535-543, 2012.

SALAMON, J. A.; SCHEU, S.; SCHAEFER, M. The Collembola community of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age. **Pedobiologia**, v. 51, p. 385-396, 2008.

SAMBUICHI, R. H. R. Estrutura e dinâmica do componente arbóreo em área de cabruca na região cacauzeira do sul da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n.4, p. 943-954. 2006.

SANCHÉZ-GÁLLEN, I.; ÁLVAREZ-SANCHÉZ, F. J.; BENÍTEZ-MALVIDO, J. Structure of advanced regeneration community in tropical rain Forest of Los Tuxtlas, México. **Biological Conservation**, v. 143, p. 2111-2118, 2010.

SANTIAGO, W.R.; VASCONCELOS, S.S.; KATO, O.R.; BISPO, C.J.C.; RANGEL-VASCONCELO, L.G.T.; CASTELLANI, D.C. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em Sistemas Agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazonica**, v. 43, n.4, p. 395-406, 2013.

SCHENCK, N.C. & PEREZ, Y. **Manual for identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi.** Gainesville, INVAM. 1988.

SCHINDLER F, E MERCER, J RICE. Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. **Soil Soil. Biochem.** vol.39, p.320-329, 2007.

SEGUEL, A.; RUBIO, R.; CARRILLO, R.; ESPINOSA, A.; FERNANDO BORIE, F. Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. **Bosque**, vol. 29, n°1, p. 11-22, 2008.

SILVA, A.F. & LEITÃO FILHO, H.F. Composição forística e estrutura de um trecho de Mata Atlântica de encosta no município de Ubatuba (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v.5, p. 43-52, 1982.

SILVA, D.C.; SILVA, M.L.N; CURI, N.; OLIVEIRA, A.H.; SOUZA, F.S.; MARTINS, S.G. MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais** (Online) v.13, n. 1, p. 77-86 jan./jun. 2011.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S; DE-POLLI, H. **Determinação da Respiração Basal (RBS) e Quociente Metabólico do Solo (qCO<sub>2</sub>).** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99) a.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S; DE-POLLI, H. **Determinação do Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-N)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 96) b.

SILVA, M. G. C. P. C.. Cultivo da pupunheira. CEPLAC. **Artigos técnicos da CEPLAC**. 2003.

SILVA, M. S. C. **Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas Agroflorestais em Paraty, RJ**. Dissertação mestrado, Seropédica, CPGACS/UFRRJ, 2006.

SILVA, M.S.C; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; SILVA, C.F. Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, p.431-441, 2012.

SILVEIRA, N. D.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R. DE L.; MELLO, R. B.. Aporte de Nutrientes e Biomassa via Serrapilheira em Sistemas Agroflorestais em Paraty (RJ). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 129-136, abr-jun, 2007.

SIMÕES, E.; FERREIRA, L.C.; JOLY, C.A. O Dilema de Populações Humanas em Parques: Gestão Integrada entre Técnicos e Residentes no Núcleo Picinguaba. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 17-32, 2011.

SIMÕES, S. M. O.; ZILLI, J. E.; COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F. C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de Acacia mangium no Cerrado de Roraima. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 23-30, 2010.

SING, H R.K.; SUREJA, A.K. Indigenous knowledge and sustainable agricultural resources management under rainfed agro-ecosystem. **Indian Journal Traditional Knowledge**, v. 7, p. 642-654, 2008.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JUNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 245-255, 2001.

SIQUEIRA, J.O., COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, p. 1499-1506, 1989.

SOARES, M. C. C.; BENSUSAN, N.; FERREIRA NETO, P. S. Entorno de unidades de conservação: estudo de experiências em UCs de proteção integral. **Estudos da Funbio**. 2ª edição, Rio de Janeiro 2004.

SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, J. M.; GARCIA, F. C. P.; BONFIM, V.R.; SANTOS, A.C.; CARVALHO, A. F.; MENDONÇA, E. S. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforestry Systems**, v. 80, p. 1-16, 2010.

SOUZA, C.S.; MENEZES, R.S.C; SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, F.S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 3033-3044, 2012.

SOUZA, H. N.; GOEDEA, R. G.M. de; BRUSSAARDA, L.; CARDOSO, I.M.; DUARTE, E. M.G.; FERNANDESB, R B.A.; GOMESB, L.C.; PULLEMANA, M. M.. Protective shade,

tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 146, p. 179-196, 2012.

SOUZA, W. J. O. & MELO, W. J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1113-1122, 2003.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, v.114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

STADDON, P. L.; RAMSEY, C. B.; OSTLE, N.; INESON, P. Y FITTER, A. H. Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of C14. **Science**, v. 300, p. 1138-1140. 2003.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v. 21, p. 255-267, 2011.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. In: MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O., Brussaard L (eds) Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems. **CABI**, Oxfordshire, v. 56, p 206-236, 2006.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. University of California Press, Berkeley, 1979. 372 p.

TABARELLI, M.; LOPES, A.V.; PERES, C. A. Edge-effects drive tropical forest fragments towards an early-successional system. **Biotropica**, v. 40, p. 657-661, 2008.

TIAN, G., BADEJO, M., OKOH, A., ISHIDA, F., KOLAWOLE, G., HAYASHI, Y., SALAKO, F. Effects of residue quality and climate on plant residue decomposition and nutrient release along the transect from humid forest to Sahel of West Africa. **Biogeochemistry**, v. 86, p. 217-229, 2007.

TORNQUIST, C. G., HONSB, F. M.; FEAGLEYB, S. E; HAGGARC, J. Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquõ region of Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 73, p. 19-28, 1999.

TSCHARNTKE, T., KLEIN, A.M., KRUESS, A., STEFFAN-DEWENTER, I., THIES, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. **Ecology Letters**, v. 8, p. 857-874. 2005.

TSCHARNTKE, T.; CLOUGH, Y.; BHAGWAT, S. A.; BUCHORI, D.; FAUST, H.; HERTEL, D.; HOLSCHEER, D.; JUHRBANDT, J.; KESSLER, M.; PERFECTO, I.; SCHERBER, C.; SCHROTH, G.; VELDKAMP, E.; WANGER, T.C. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, p. 619-629, 2011.

TU, C.; LOUWS, F. J.; CREAMER, N. G.; MUELLER, J. P.; BROWNIE, C.; FAGER, K.; BELL, M.; HU, S.. Responses of Soil Microbial biomass and N availability to transition strategies from conventional to organic farming systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 113, p. 206-215, 2006.

URRUTIA, M.; MACÍAS, F.; GARCÍA-RODEJA, E. Evaluación del CuCl<sub>2</sub> y del LaCl<sub>3</sub> como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. **Nova Acta Científica Compostelana** (Biología), Santiago de Compostela, v.5, p.173-182, 1995.

UZÊDA, M. C.; FIDALGO, E. C. C.; IGUATEMY, M. A. ALVES, R. C. ROUWS, J. R. C. Explorando as relações entre estrutura da paisagem e atributos de qualidade de fragmentos em região de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 190. ISSN 1678-0892 Dezembro, 2011.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

WALL, D. H.; MOORE, J. C. Interactions underground: soil diversity, mutualism, and ecosystem processes. **Bioscience**, v. 49, p. 109-117, 1999.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40:487-494, 2005.

WERNECK, M. S.; PEDRALI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecidual com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica de Tripuí, Ouro Preto, MG. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 24, p.195-198, 2001.

WHITE, C. S.; GOSZ, J. R. Factors controlling nitrogen mineralization and nitrification in forest ecosystems in New Mexico. **Biology and Fertility of Soils**, v. 5, p. 195-202, 1987.

WHITMORE, T.C. An introduction to tropical rain forests. Oxford University Press, Oxford.

WRIGHT, S. F. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, Madison, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Time course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, p. 193-203. 1996.

WRIGHT, S. F.; GREEN, V. S.; CAVIGELLI, M. A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil & Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 546-549, 2007.

WRIGHT, S. F.; STARR, J. L.; PALTINEANU, I. C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 6, p. 1825-1829, 1999.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hague, v. 198, n. 1, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A..Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Sci.** v.161, p. 575–586,1996.

XAVIER, F. A. S.; ALMEIDA, E. F.; CARDOSO, I. M.; MENDONÇA, E. S. Soil phosphorus distribution in sequentially extracted fractions in tropical coffee-agroecosystems in the Atlantic Forest biome, Southeastern Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, p. 31-44, 2011.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 427-258, 2006.

YANG, X.; WARREN, M.; ZOU, X. Fertilization responses of soil litter fauna and litter quantity, quality and turnover in low and high elevation forests of Puerto Rico. **Appl. Soil Ecol.** 37:63-71, 2007.

YOUNG. A. Ten hypotheses for soil-agroforestry resarch. **Agroforestry Today**, v.1, p. 13-16, 1989.

ZANGAR, O. W.; NISHIDATE, F. R.; VANDRESEN, J.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M. A. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and successional status of native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, p. 53-62, 2007.

ZHANG, Y.; GUI; L. D.; LIU, R. J. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dujiangyan, southwest China. **Plant Soil**, v. 261, p. 257-263, 2004.

ZHAO, Z.W.; WANG, G. H.; YANG, L. Biodiversity of arbuscular mycorrhial fungi in a tropical rainforest of Xishuangbanna, southwest China.**Fungal Diversity**, v. 13, p. 233-242, 2003.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER G. R. COUTINHO H.L.DA C; NEVES M. C. P. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**. v.20, n.3, p. 391-411, 2003.