

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL  
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**JOÃO MATHEUS FERREIRA DE SOUZA**

**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS DO SOLO EM SISTEMA  
AGROFLORESTAL E DIFERENTES AMBIENTES SUCESSIONAIS EM FLORESTA  
OMBRÓFILA DENSA**

**RECIFE - PE**

**2024**

**JOÃO MATHEUS FERREIRA DE SOUZA**

**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS DO SOLO EM SISTEMA  
AGROFLORESTAL E DIFERENTES AMBIENTES SUCESSIONAIS EM FLORESTA  
OMBRÓFILA DENSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria da Penha  
Moreira Gonçalves

**Coorientadora:** Me. Débora de Melo Almeida

**RECIFE - PE**

**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S729d

Souza, João Matheus Ferreira

Diversidade de invertebrados do solo em sistema agroflorestal e diferentes ambientes sucessionais em Floresta Ombrofila Densa / João Matheus Ferreira Souza. - 2024.  
42 f. : il.

Orientadora: Maria da Penha Moreira .  
Coorientadora: Debora de Melo Almeida.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2024.

1. Agrofloresta. 2. fauna edáfica. 3. correlação. I. , Maria da Penha Moreira, orient. II. Almeida, Debora de Melo, coorient. III. Título

CDD 634.9

---

**JOÃO MATHEUS FERREIRA DE SOUZA**

**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS DO SOLO EM SISTEMA  
AGROFLORESTAL E DIFERENTES AMBIENTES SUCESSIONAIS EM FLORESTA  
OMBRÓFILA DENSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Aprovado em 16 de fevereiro de 2024**

**Orientadora:**

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria da Penha Moreira Gonçalves  
(Departamento de Ciência Florestal - UFRPE)

**Coorientadora:**

---

Me. Débora de Melo Almeida  
(Departamento de Ciência Florestal - UFRPE)

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ana Carolina Borges Lins e Silva  
(Departamento de Biologia – UFRPE)

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Helena Cristina Vieira  
(Departamento de Ciência Florestal - UFRPE)

**RECIFE-PE**

**2024**

## RESUMO

Estudos sobre a diversidade de fauna edáfica e fertilidade do solo em sistemas agroflorestais, são de fundamental importância para comprovar a eficiência desses modelos de produção sustentável associado a recuperação de áreas degradadas. Este trabalho objetiva avaliar correlações entre a diversidade da fauna edáfica e a fertilidade do solo em um sistema agroflorestal e áreas de floresta nativa em estágios inicial e intermediário de sucessão florestal. O estudo foi realizado na área do campus sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada na Região Metropolitana do Recife em Pernambuco. Na ocasião, foram utilizados três locais com diferentes históricos de uso: área em estágio de sucessão florestal intermediária (A1), sistema agroflorestal, com 3 anos de idade (A2) e área em estágio de sucessão florestal inicial (A3). Utilizaram-se armadilhas do tipo "pitfall" para a captura da comunidade de invertebrados edáficos. Os organismos capturados foram identificados e classificados em táxons, sendo posteriormente encaminhados para análises. A coleta de solo abrangeu as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm em cada área de estudo. As amostras foram submetidas a análises químicas. Os dados da meso e macrofauna edáfica foram utilizados para calcular a abundância, frequência relativa, riqueza e índices de equitabilidade de Pielou, diversidade de Shannon e diversidade de Simpson. Os componentes verdadeiros da diversidade (qD) de Hill foram estimados para cada ambiente. A análise dos dados incluiu também a análise exploratória com NMDS, análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA), matriz de correlação de Pearson, análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (HAC), análise de componentes principais (ACP) e Análise de Correlação Canônica (CCorA). Foram identificados 2.232 indivíduos distribuídos em 18 grupos taxonômicos. De maneira geral, independentemente do uso da terra, os grupos mais representativos foram Hymenoptera: Formicidae (37,46%), Acarina (21,10%), Collembola (15,86%) e Diptera (9,68%). Juntos, esses grupos representam 84% dos indivíduos coletados neste estudo. A área de agrofloresta apresentou maior riqueza, a área de sucessão florestal inicial apresentou maior abundância nos grupos, e a área em estágio de sucessão intermediário apresentou maior diversidade. Embora a agrofloresta tenha maior riqueza, a diversidade estimada foi menor em comparação com a área de sucessão florestal inicial. A análise química do solo mostrou diferenças entre as áreas, influenciando a distribuição da fauna. A similaridade na composição da fauna foi observada entre a agrofloresta e a sucessão florestal inicial, destacando a influência dos atributos químicos do solo na fauna edáfica. Conclui-se que o estudo da fauna edáfica apresenta potencial para ser usada como indicadora da qualidade do solo, pois mostra-se sensíveis às interferências no ambiente.

Palavras-chave: Agrofloresta, fauna edáfica, correlação.

## ABSTRACT

Studies on soil fertility and soil fauna diversity in agroforestry systems are of fundamental importance to prove the efficiency of these sustainable production models associated with the recovery of degraded areas. This work aims to evaluate correlations between soil fauna diversity and soil fertility in an agroforestry system and areas of native forest at initial and intermediate stages of forest succession. The study was conducted in the campus area of the Federal Rural University of Pernambuco, located in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco. Three sites with different land use histories were used: an area at an intermediate stage of forest succession (A1), a 3-year-old agroforestry system (A2), and an area at an initial stage of forest succession (A3). Pitfall traps were used to capture the soil invertebrate community. The captured organisms were identified, classified into taxa, and subsequently sent for analysis. Soil collection covered the 0-20 cm and 20-40 cm layers in each study area. The samples underwent chemical analysis. Data on soil meso- and macrofauna were used to calculate abundance, relative frequency, richness, Pielou's evenness indices, Shannon's diversity, and Simpson's diversity. Hill's true diversity components ( $qD$ ) were estimated for each environment. Data analysis also included exploratory analysis with NMDS, permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA), Pearson correlation matrix, agglomerative hierarchical clustering analysis (HAC), principal component analysis (PCA), and Canonical Correlation Analysis (CCA). A total of 2,232 individuals distributed in 18 taxonomic groups were identified. Overall, regardless of land use, the most representative groups were Hymenoptera: Formicidae (37.46%), Acarina (21.10%), Collembola (15.86%), and Diptera (9.68%). Together, these groups represented 84% of the individuals collected in this study. The agroforestry area showed greater richness, the area of initial forest succession showed greater abundance in groups, and the area at an intermediate stage of succession showed greater diversity. Although the agroforestry area had greater richness, the estimated diversity was lower compared to the area of initial forest succession. Soil chemical analysis showed differences between the areas, influencing fauna distribution. Similarity in fauna composition was observed between the agroforestry area and the initial forest succession, highlighting the influence of soil chemical attributes on soil fauna. It is concluded that the study of soil fauna has the potential to be used as an indicator of soil quality, as it is sensitive to environmental interference.

Keywords: Agroforestry, correlation, soil fauna.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. ....	17
Figura 2. A1. Área em estágio de sucessão florestal intermediária; A2. Agrofloresta da Rural; A3. Área em estágio de sucessão florestal inicial. ....	18
Figura 3. Armadilha do tipo “ <i>pitfall</i> ” instalada na A2 e matérias utilizados na instalação. ....	19
Figura 4. Identificação dos grupos taxonômicos com auxílio do microscópio estereoscópico no Laboratório de Proteção Florestal. ....	19
Figura 5. Perfil de solo na camada 0–40 cm nas áreas A1, A2 e A3. ....	20
Figura 6. A. lagarta (Lepdoptera); B. larva (Coleoptera); C. besouro (Coleoptera); D. formiga cortadeira (Hymenoptera: Formicidae). ....	23
Figura 7. Dominância e ocorrência de ordens e grupos nas áreas de estudo. ....	23
Figura 8. A. formiga (Hymenoptera: Formicidae); B. ácaros (Acari); C. pulgas de jardim (Collembola); D. moscas e mosquitos (Diptera). ....	24
Figura 9. Curvas de amostragem por interpolação (–) e extrapolação (- -) com intervalos de confiança de 95% (áreas sombreadas), obtidas pelo método <i>bootstrap</i> . Dados dos grupos de invertebrados das áreas A1, A2 e A3 são mostrados separadamente por perfis de diversidade com $q = 0$ (riqueza de espécies), $q = 1$ (diversidade de Shannon) e $q = 2$ (diversidade de Simpson). Os pontos sólidos, círculos, triângulos, e quadrados representam os limites das amostras de referência. ....	25
Figura 10. Ordenação do NMDS da composição de invertebrados do solo em sistema agroflorestal e diferentes tipos de coberturas vegetais em fragmento de floresta ombrófila densa. Os círculos de cores distintas representam as estimativas de distância (“method” = Bray-Curtis) entre o número de indivíduos de cada grupo dentro das unidades amostrais ( <i>pitfall</i> ) entre as diferentes áreas, sendo que A1, A2 e A3 representam os centróides de cada agrupamento. ....	27
Figura 11. Estimativas de correlação de Pearson para Atributos químicos do solo nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. Quanto mais intensa a cor vermelha, maior a correlação negativa; quanto mais intensa a cor azul, maior a correlação positiva. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ....	29
Figura 12. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das áreas utilizadas para amostragem do solo nas camadas de 0 – 20, das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo. ....	30
Figura 13. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) nas camadas de 0–20 cm, das as áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo. ....	31
Figura 14. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das áreas utilizadas para amostragem do solo nas camadas de 20–40 cm, das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo. ....	32
Figura 15. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) nas camadas de 20–40 cm, das as áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus	

da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo. ....	34
Figura 16. Representação gráfica da análise de correlação canônica (CCorA) entre os dois grupos de variáveis compostos por variáveis ambientais (atributos químicos do solo nas camadas de 0-20 cm) e a abundância de organismos em cada ordem ou grupo de indivíduos nas amostras para áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. ....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de diversidade estimados para as áreas de estudo A1, A2 e A3. ....	24
Tabela 2. Atributos químicos do solo nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.....	28
Tabela 3. Atributos do solo na camada de 0–20 cm utilizados na Análise de Componentes Principais (ACP) e suas correlações com os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) .....	30
Tabela 4. Atributos do solo na camada de 20–40 cm utilizados na Análise de Componentes Principais (ACP) e suas correlações com os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2).....	33

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Específicos.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1	Histórico do desmatamento da Mata Atlântica.....	13
3.2	Sistemas agroflorestais como estratégia de recuperação de áreas degradadas.....	13
3.3	Solo da Zona da Mata pernambucana.....	14
3.4	O Papel da Fauna Edáfica.....	15
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1	Área de estudo.....	17
4.2	Coleta de dados.....	19
4.2.1	Fauna do solo.....	19
4.2.2	Amostragem, coleta e determinação dos atributos químicos do solo.....	20
4.3	Análise dos dados.....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
7	REFERÊNCIAS.....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema agroflorestal (SAF) é um sistema de produção eficaz na conservação da biodiversidade, onde se pratica o uso deliberado da terra com espécies arbóreas perenes, consorciadas com culturas agrícolas e/ou animais, de acordo com um arranjo espacial, temporal ou ambos, nos quais deve haver as interações ecológicas, econômicas e sociais entre os componentes do sistema (NAIR, 1984). Essa é a definição proposta e adotada pelo ICRAF (*International Centre for Research in Agroforestry*) (RIGHI, 2015).

Em geral, essa prática desempenha papéis importantes como fornecimento de habitats para espécies chave, redução das taxas de conversão do habitat natural, criação de corredores entre os remanescentes florestais que apoiam a conservação da fauna e flora, além de fornecer outros serviços ecossistêmicos, como controle de erosão e recarga d'água, sendo uma alternativa mais produtiva e sustentável aos sistemas agrícolas tradicionais (JOSE, 2012).

O potencial de recuperação de áreas degradadas de um agroecossistema florestal é essencial para sua disseminação, onde o uso de espécies arbóreas em um SAF permite a recuperação de áreas degradadas, reduzindo a erosão e transportando nutrientes para o solo por meio da ciclagem de nutrientes (PIMENTEL et al., 2021). Além disso, o manejo de poda nesses sistemas acelera a produção e o acúmulo de serapilheira no solo. Segundo Pereira et al. (2013), a serapilheira funciona como habitat para animais invertebrados que compõem a fauna do solo em florestas.

As principais atividades dessa fauna são: decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, ciclagem de nutrientes e energia, e produção de complexos que causam agregação do solo, entre outros (HOFFMANN et al., 2009). Além disso, os organismos da mesofauna destacam-se por apresentar funcionalidade alimentar, através do consumo de microrganismos e da fragmentação da serapilheira (POMPEO et al., 2016).

A decomposição da serapilheira resulta no acúmulo da matéria orgânica humificada ao solo, na liberação de seus nutrientes para a biota e na dissipação de parte do dióxido de carbono, sendo um processo que mantém a fertilidade e produtividade do sítio, mesmo em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (SCHEER, 2008). A atuação desses invertebrados contribui nos processos de recuperação e restauração do solo, uma vez que agem na ciclagem de nutrientes, estímulo e controle dos microrganismos, além de servirem de alimento para outros grupos da fauna (OLIVEIRA FILHO et al., 2015).

De maneira geral, a qualidade do solo está diretamente relacionada ao seu funcionamento, avaliado por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos (MENDES et

al., 2015). Contudo, as populações da fauna edáfica desempenham um papel significativo como bioindicadoras do uso do solo e de sua fertilidade, proporcionando uma compreensão do estado atual do solo e das alterações ao longo do tempo, resultantes de ações bióticas e abióticas (MELO et al., 2009). No entanto, a abundância e diversidade desses organismos do solo, presentes em ecossistemas naturais e agroecossistemas, podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como condições edáficas, tipos de vegetação, históricos do uso da terra, topografia e condições climáticas (PARRON et al., 2015).

Estudos sobre a fertilidade do solo e diversidade de fauna edáfica em sistemas agroflorestais, são de fundamental importância para comprovar a eficiência desses modelos de produção sustentável associado a recuperação de áreas degradadas. Tais estudos fornecem informações da contribuição desse tipo de sistema para a riqueza e diversidade do solo, como também, pode ser uma importante ferramenta para avaliação do sucesso de determinado projeto de recuperação de área degradada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Este trabalho objetiva avaliar correlações entre a diversidade da fauna edáfica e a fertilidade do solo em um sistema agroflorestal e áreas de Floresta Ombrófila Densa em estágios inicial e intermediário de sucessão florestal.

### **2.2 Específicos**

- Identificar os indivíduos da mesofauna e macrofauna edáfica a nível de ordem;
- Avaliar a riqueza e diversidade da mesofauna e macrofauna edáfica das três áreas de estudo;
- Determinar os atributos químicos do solo e avaliar nas três áreas de estudo;
- A partir da determinação dos atributos químicos do solo, calcular a soma de bases (SB), a saturação por  $Al^{3+}$  (m) e a capacidade de troca de cátions efetiva (t);
- Correlacionar os atributos químicos do solo com a riqueza e diversidade nos três ambientes;
- Avaliar o potencial da fauna edáfica como indicadora da qualidade do solo, em sistema agroflorestal;
- Gerar informações que possam subsidiar o manejo de áreas produtivas, em especial sistemas agroflorestais, no que diz respeito a melhoria das condições edáficas.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Histórico do desmatamento da Mata Atlântica**

A Mata Atlântica ocupa cerca de 15% do território brasileiro e abriga 27% das terras agropecuárias, onde estão 40% dos estabelecimentos rurais do país (PINTO et al., 2022). Esse domínio fitogeográfico começou a ser desmatado com certa amplitude desde o período colonial no século XVI (PÁDUA, 2015). A extração do pau-brasil, a expansão da cultura canavieira e do café, a urbanização crescente e a exploração desenfreada de recursos naturais foram fatores determinantes para a progressiva perda dessa floresta tropical (MUNIZ, 2011).

Ao longo do século XX, o crescimento populacional, o desenvolvimento industrial e agrícola intensificou a exploração ilegal de madeira, caça, extrativismo vegetal e introdução de espécies exóticas invasoras, resultando em um desequilíbrio ecológico e uma diminuição da biodiversidade (SANTOS et al., 2020).

Atualmente restam cerca de 28% da cobertura vegetal nativa do domínio Mata Atlântica, sendo predominantemente composta por vegetação secundária e pequenos fragmentos florestais (REZENDE et al., 2018). Apesar da existência da Lei nº 11.428, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do bioma Mata Atlântica (BRASIL, 2006), em algumas áreas de endemismo, tudo o que restou foram imensos arquipélagos de fragmentos minúsculos e muito espaçados (TABARELLI, 2005).

A Mata Atlântica, outrora vasta e densa, teve suas áreas reduzidas, levando à ameaça de extinção e extinção de inúmeras espécies endêmicas. Esforços de conservação são vitais para reverter esse quadro, preservando não apenas a riqueza biológica, mas também os serviços ecossistêmicos cruciais proporcionados por essa vegetação (LIMA, 2023). O futuro da Mata Atlântica certamente dependerá de ações e políticas que incentivem o manejo adequado de espécies e ecossistemas para garantir a proteção da sua biodiversidade em longo prazo (PINTO et al., 2006).

#### **3.2 Sistemas agroflorestais como estratégia de recuperação de áreas degradadas**

Tendo em vista que a agricultura e a pecuária causaram 80% do desmatamento global histórico (FAO, 2019), os sistemas agroflorestais emergem como uma estratégia promissora para a recuperação de áreas degradadas (FAVERO et al., 2008; JOSE, 2009; MORAES; CAVICHIOLI, 2022). Essa abordagem inovadora combina práticas agrícolas e florestais sustentáveis promovendo a sustentabilidade agrícola, a recuperação ecológica e a preservação da vegetação nativa (URRUTH et al., 2022).

A integração entre agricultura e preservação representa um caminho viável para a coexistência harmoniosa entre as atividades humanas e o desenvolvimento sustentável (BUAINAIN et al., 2020). Isso pode contribuir para garantir os recursos naturais para as presente e futuras gerações (IPCC, 2019). Ao associar árvores, arbustos e culturas agrícolas, os sistemas agroflorestais melhoram a qualidade do solo e favorecem a preservação da biodiversidade, proporcionando habitat e corredores ecológicos, permitindo um fluxo gênico (JOSE, 2012; SIMINSKI et al., 2016, FERREIRA et al., 2020).

Os SAF's são reconhecidos por sua capacidade de minimizar a erosão do solo, melhorar a retenção de água, promover ciclos de nutrientes eficientes e criar ambientes propícios para o desenvolvimento da fauna do solo e de microrganismos benéficos (BUENO et al., 2018; ORTIZ et al., 2023). Esses benefícios são fundamentais para a recuperação de áreas degradadas, oferecendo soluções inovadoras para os desafios ambientais contemporâneos.

Além de recuperar áreas degradadas e promover a fertilidade do solo, a agrofloresta pode melhorar a segurança alimentar e nutricional, aumentando a diversidade da produção, conseqüentemente aumentando a diversidade de nutrientes na dieta e a estabilidade no acesso aos alimentos ao longo do tempo, além de proporcionar alimentos mais ricos em micronutrientes, vitaminas, fibras e proteínas do que as culturas convencionais (FAO, 2017; GADALLAH et al., 2019).

### **3.3 Solo da Zona da Mata pernambucana**

O solo é um elemento imprescindível à formação e manutenção dos sistemas vivos (ROVEDDER et al., 2013). Esse elemento é classificado como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos e é resultante da interação entre cinco fatores de formação: material de origem, relevo, clima, organismo e tempo (SANTOS et al., 2018; ALMEIDA, 2021).

De uma maneira geral, os solos da Zona da Mata pernambucana são classificados como Argissolos e Latossolos (RIBEIRO FILHO et al., 2005), que de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2018) são classes muito evoluídas e intemperizadas. O que é esperado para regiões com alta pluviosidade (CALDAS, 2007). Deste modo, esses solos apresentam-se ácidos, com baixa disponibilidade de nutrientes e elevada saturação por  $Al^{3+}$ , podendo restringir o desenvolvimento das raízes, causar efeitos negativos na nutrição, principalmente em períodos secos (LIMA et al., 2018).

A demanda nutricional para a manutenção da exuberante floresta que se desenvolve nestes solos de baixa fertilidade, não é atendida pela quantidade de nutrientes disponíveis neles, mas em sua maior parte pela ciclagem de nutrientes, especialmente pela contribuição da deposição de serapilheira, camada orgânica que contribui consideravelmente com o aumento da fertilidade do solo (ESPIG et al., 2008; LIMA et al., 2018; ALMEIDA, 2021).

### **3.4 O Papel da Fauna Edáfica**

A fauna edáfica, desempenha um papel fundamental na ciclagem de nutrientes, na decomposição da matéria orgânica e na manutenção do ecossistema, sendo considerada bioindicadora de qualidade do solo (BERUDE et al., 2015). Além disso, agem como controladores biológicos, por meio da predação de outros invertebrados (MACHADO et al., 2015).

De maneira geral, a forma mais utilizada para classificar essa biota é a classificação proposta por Swift et al. (1979), em que os grupos que contêm a biota do solo são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e, principalmente, pelo seu tamanho, em: microfauna (0,2 mm), mesofauna (0,2 - 2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm).

Apesar de desempenharem um papel ativo no solo, esses organismos também refletem as ações humanas sobre o solo (POMPEO et al., 2016), demonstrando ser bastante sensíveis às modificações ambientais, pois são influenciados pelo tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, disponibilidade de matéria orgânica, umidade, textura e estrutura do solo, vegetação (fisionomia e cobertura), histórico (especialmente antrópico, mas também geológico), topografia (posição fisiográfica, inclinação) e clima (precipitação, temperatura, vento, umidade relativa do ar) (MACHADO et al., 2015).

Esses fatores explicam a diversidade e abundância dos grupos presentes, variando conforme diferentes práticas de manejo e tipos de cobertura do solo (ROSSI et al., 2009; BRITO et al., 2016; ALMEIDA et al., 2017; GÓES et al., 2021). Assim, qualquer intervenção, seja antrópica ou natural, pode potencialmente afetar a dinâmica desses organismos e, por consequência, as funções ecológicas na qual ela está envolvida (MELO et al., 2009).

Dependendo do tipo e intensidade do impacto promovido ao ambiente, tais práticas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, podem aumentar, diminuir ou não influir na diversidade de organismos edáficos (BARETTA et al., 2011). Reconhecer e valorizar

a importância desses organismos invisíveis é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação eficazes.

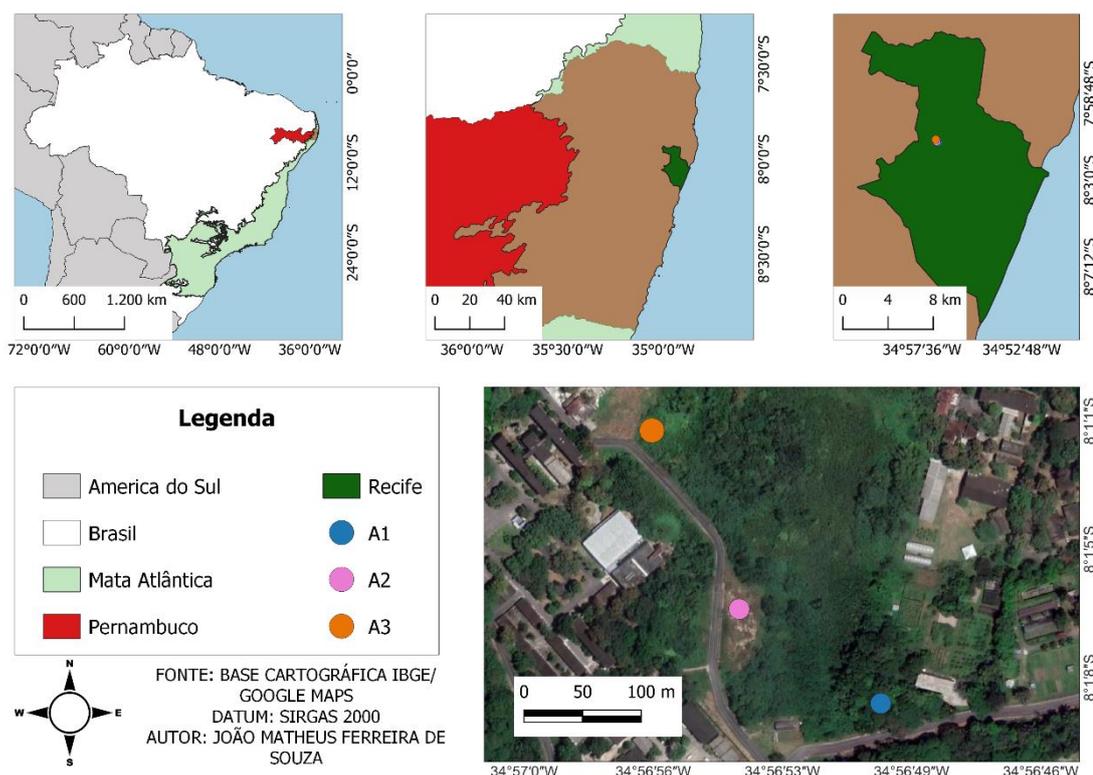
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na área do campus sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, localizada na Região Metropolitana do Recife em Pernambuco ( $8^{\circ}04'03''$  S e  $34^{\circ}55'07''$  W), com altitude média de 4 m. A vegetação é predominantemente Mata Atlântica, isto é, vegetação do tipo floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (IBGE, 2012). O clima é classificado como As' (quente e úmido) seguindo a classificação de Köppen-Geiger. A precipitação média anual de 2.263,4 mm e temperaturas médias mensais superiores a  $23^{\circ}$  C, com período chuvoso concentrado no período de abril a agosto (INMET, 2018).

Será utilizada para pesquisa uma área de fragmento de floresta urbana (Figura 1).

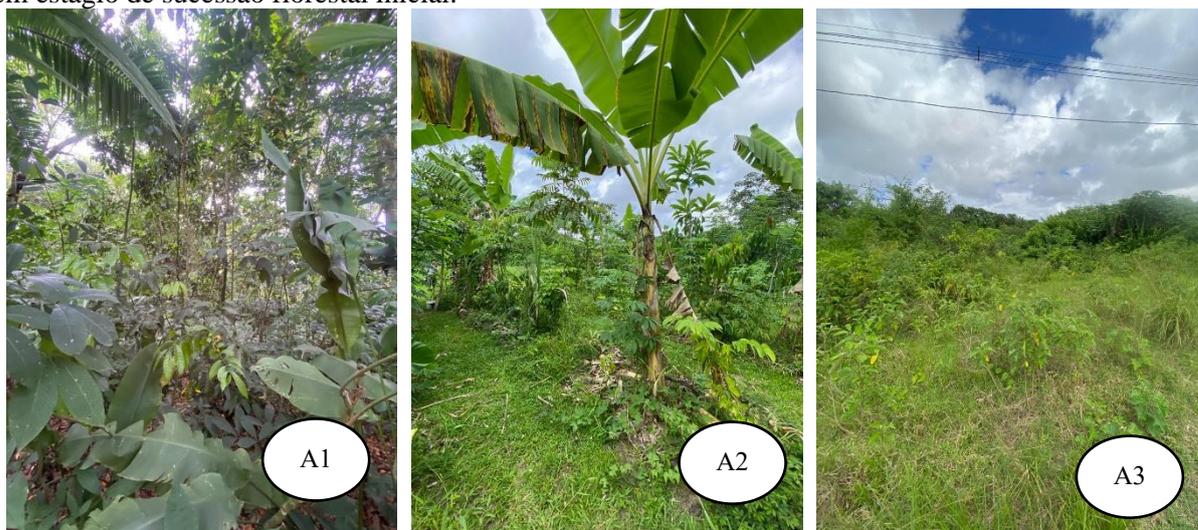
Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.



Na ocasião, foram utilizados três locais com diferentes históricos de uso: área em estágio de sucessão florestal intermediária (A1), que é o ecossistema de referência para o estudo, a qual corresponde a uma área de várzea que sofreu com intervenções humanas ao longo do tempo, com ocorrência e abundância de plantas exóticas como seringueira (*Hevea brasiliensis*) e jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*), e também presença de plantas pioneiras como a

periquiteira (*Guazuma ulmifolia*), gitó (*Guarea guidonia*) e embaúba (*Cecropia* sp.). Essa área fica adjacente à uma estrada, e reflete um processo de regeneração da vegetação, com fechamento de dossel e com a presença de espécies exóticas associadas a espécies nativas da Mata Atlântica em processo de regeneração (Figura 2).

Figura 2. A1. Área em estágio de sucessão florestal intermediária; A2. Agrofloresta da Rural; A3. Área em estágio de sucessão florestal inicial.



A Agrofloresta da Rural (A2) é caracterizada como um sistema agroflorestal multiestratificado em linhas, com 3 anos de idade. Possui cerca de 160 m<sup>2</sup> e foi implantado em uma área de várzea, onde foi construída uma estrada que ocasionou impacto ambiental no local. Antes da implantação do sistema, a área encontrava-se abandonada, degradada e com solo compactado pelo aterramento, realizado com barro e entulho de construção.

O sistema é composto pelas seguintes espécies: pau-ferro (*Libidibia ferrea*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), pau-pombo (*Tapirira guianensis*), caju (*Anacardium occidentale*), mamão (*Carica papaya*), banana (*Musa* spp.), ingá (*Inga* spp.), mandioca (*Manihot esculenta*), batata-doce (*Ipomoea batatas*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e crotalária (*Crotalaria* spp.), manga (*Mangifera indica*), sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), jenipapo (*Genipa americana*) e urucum (*Bixa orellana*).

O manejo realizado é baseado em plantio consorciado e denso nas linhas, plantio de capim nas entrelinhas, roçagem periódica e cobertura do solo com podas trituradas.

A área em estágio de sucessão florestal inicial (A3) também corresponde a uma área de várzea, com aproximadamente 500 m<sup>2</sup>. O histórico de degradação é semelhante ao da A2, porém sem atividade de recuperação e conta apenas com a presença dominante de duas ervas, jurubeba (*Solanum paniculatum*) e vedélia (*Sphagneticola trilobata*).

## 4.2 Coleta de dados

### 4.2.1 Fauna do solo

A captura da comunidade de invertebrados edáficos foi feita utilizando armadilhas de queda do tipo “*pitfall*” (AQUINO et al., 2006). As armadilhas foram confeccionadas com garrafas pet, com 10 cm de largura e 15 cm de altura, contendo líquido conservante composto por 200 ml de água, 3 gotas de detergente e 10 g de cloreto de sódio (NaCl), em cada recipiente (Figura 3). No dia 04 de outubro de 2023, foram instaladas três armadilhas em três áreas de estudo, totalizando nove armadilhas, dispostas em forma de “Z” e seguindo as dimensões de 10m x 16m, conforme definido pela dimensão da agrofloresta. As armadilhas foram espaçadas sete metros entre si e permaneceram no local por um período de 48 horas.

Figura 3. Armadilha do tipo “*pitfall*” instalada na A2 e matérias utilizados na instalação.



Os organismos capturados nas armadilhas foram encaminhados ao Laboratório de Proteção Florestal (LAPROF) da UFRPE. No laboratório, passaram por um processo de triagem para descarte de restos vegetais presentes nas amostras. Em seguida, foram armazenados e conservados em recipientes plásticos, contendo álcool 70%. A identificação dos organismos foi realizada com uso de microscópio estereoscópico (Figura 4). Após a identificação, foram classificados em táxons como classe e ordem devido à grande diversidade de organismos (AQUINO, 2001).

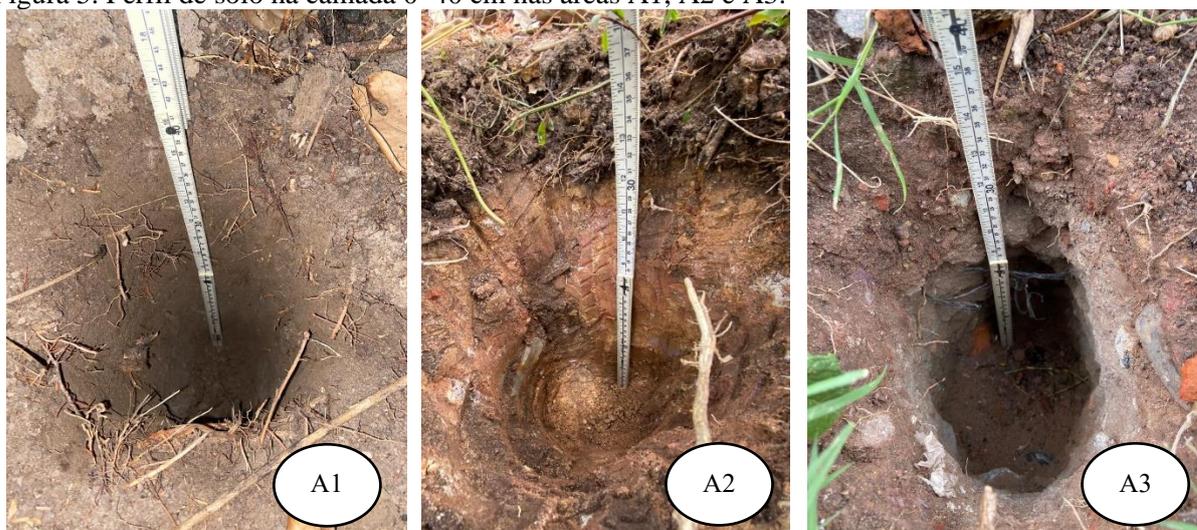
Figura 4. Identificação dos grupos taxonômicos com auxílio do microscópio estereoscópico no Laboratório de Proteção Florestal.



#### 4.2.2 Amostragem, coleta e determinação dos atributos químicos do solo.

A coleta do solo foi conduzida nas três áreas de estudo em dezembro de 2023, utilizando uma picareta e uma trena. Em cada local, foi definida uma área útil (10 m x 16 m), com base na dimensão da Agrofloresta. A coleta de solo abrangeu as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm. Em cada área de estudo (Figura 5), quatro subamostras foram coletadas, seguindo um padrão de disposição em forma de "x". Essas subamostras foram retiradas do centro e dos vértices da área útil, sendo transferidas para baldes identificados. Posteriormente, as subamostras foram homogeneizadas para formar uma amostra composta por área, totalizando 3 amostras, uma para cada área de estudo.

Figura 5. Perfil de solo na camada 0–40 cm nas áreas A1, A2 e A3.



Após a coleta, as amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco (IPA), onde foram feitas

as análises químicas do solo. Os atributos químicos determinados foram: pH, P disponível, bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) e acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ). A partir da determinação dos atributos químicos do solo, calculou-se a soma de bases (SB), a saturação por alumínio (m) e capacidade de troca de cátions efetiva (t).

### 4.3 Análise dos dados

A partir dos dados obtidos para a meso e macrofauna edáfica, foram determinados a abundância, a frequência relativa (%), a riqueza e os índices de equitabilidade de Pielou ( $J'$ ), diversidade de Shannon ( $H'$ ) e diversidade de Simpson (D). A frequência relativa corresponde ao total de indivíduos de cada grupo representados em porcentagem, enquanto a riqueza representa o número total de grupos taxonômicos coletados em cada área.

O índice de Shannon ( $H'$ ) foi calculado pela seguinte equação:  $H' = - \sum P_i \cdot \log P_i$ , onde  $P_i = n_i/N$ ;  $n_i$  = número de indivíduos em cada grupo,  $N$  = número total de indivíduos de todos os grupos (ODUM, 1983). O índice de diversidade de Simpson foi calculado pela equação  $D = \sum P_i^2$  (SIMPSON, 1949). O índice de equitabilidade ( $J'$ ) foi calculado da seguinte forma:  $J' = H'/H'_{\text{max}}$ , onde  $H'$  = índice de diversidade de Shannon observado,  $H'_{\text{max}}$  = é a diversidade máxima teórica da comunidade obtida por meio de  $\log S_e$ , sendo  $S_e$  = número total de grupos existentes na comunidade (riqueza) (PIELOU, 1975).

Também foram estimados os componentes verdadeiros da diversidade ( $qD$ ) de Hill para cada ambiente (HILL, 1973). proposta por Chao et al. (2014), sendo calculados: o exponencial da riqueza de grupos taxonômicos (ordem:  $q = 0$ ), a entropia da diversidade de Shannon (ordem:  $q = 1$ ) e o inverso da diversidade de Simpson (ordem:  $q = 2$ ). Este procedimento foi realizado com o auxílio das funções do pacote “iNEXT” do ambiente R (iNterpolation/EXTrapolation), que fornece funções para traçar as curvas de diversidade de espécies por interpolação e extrapolação (CHAO et al., 2014; HSIEH et al., 2016).

Para verificar a composição da fauna edáfica, com intuito de detectar uma possível divergência de grupos taxonômicos e do número de indivíduos entre as áreas, foi efetuada uma análise exploratória utilizando o escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), com significância dos grupos aferida pela análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA). A matriz de dissimilaridade foi elaborada utilizando a distância de Bray-Curtis (OKSANEN et al., 2017).

Para avaliar a relação entre os atributos químicos do solo, calculou-se a matriz de correlação de Pearson. A fim de identificar a similaridade dos atributos químicos do solo entre

as áreas de estudo, os dados foram submetidos à análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (HAC), utilizando a distância euclidiana ao quadrado e o método de ligação de Ward. No entanto, dado que o HAC não permite a identificação dos atributos que influenciam na formação dos grupos, realizou-se a análise de componentes principais (ACP).

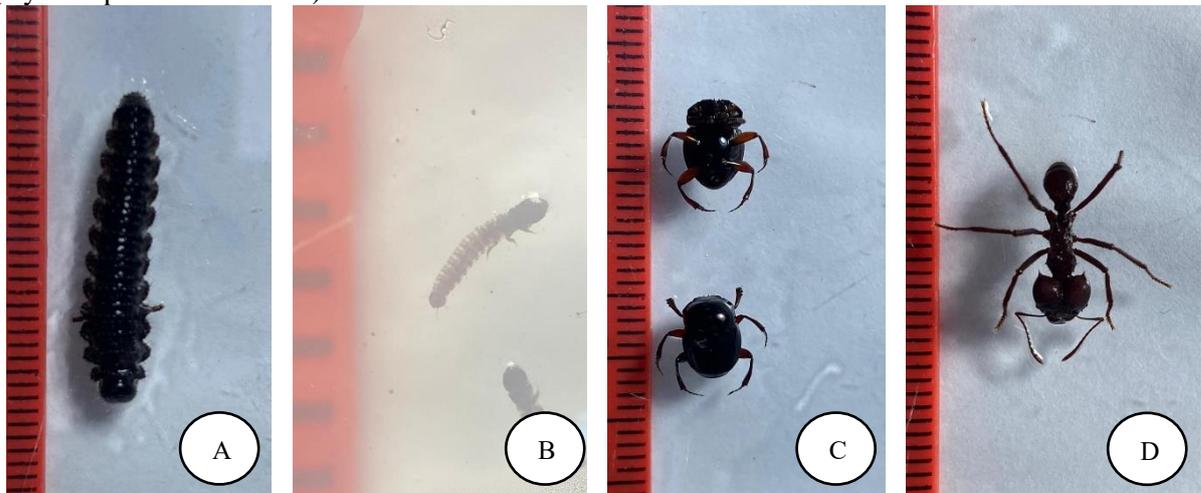
A hipótese delineada neste estudo, que sugere a presença de variações na distribuição dos grupos taxonômicos correlacionadas com fatores edáficos, foi examinada por meio da aplicação da Análise de Correlação Canônica (CCorA), tendo como base as matrizes dos grupos taxonômicos e os atributos químicos do solo. Por fim, toda manipulação estatística dos dados e construção dos gráficos foram realizadas com o auxílio do ambiente R Studio versão 4.3.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2023).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Através da coleta da fauna edáfica, foram identificados cerca de 2.232 indivíduos distribuídos em 18 grupos taxonômicos. Na área Agrofloresta da UFRPE (A2), foram registrados 684 indivíduos pertencentes a 15 grupos, enquanto que nas áreas de estágio de sucessão florestal intermediária (A1) e estágio de sucessão florestal inicial (A3), apresentaram uma riqueza de 12 grupos e um registro de 419 e 1129 indivíduos, respectivamente. Essas diferenças são compreensíveis, considerando-se a heterogeneidade das áreas estudadas.

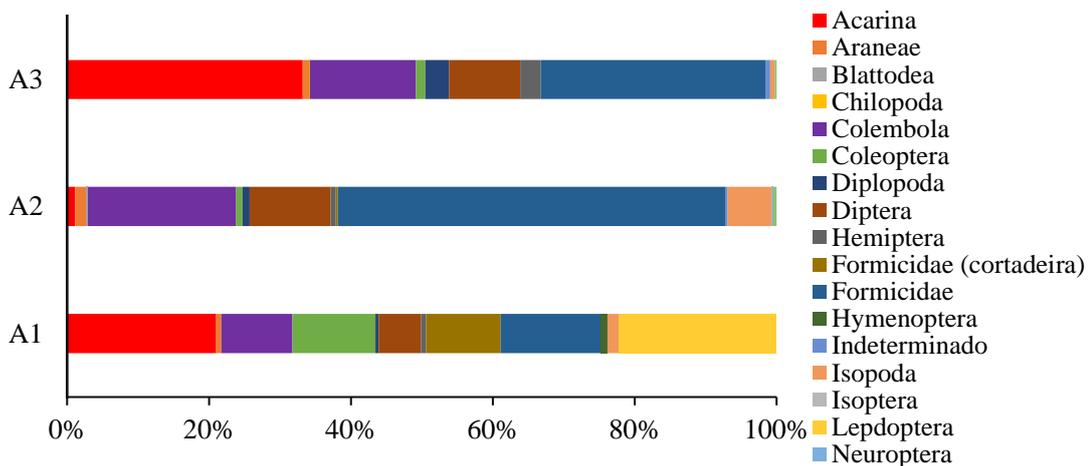
Os grupos Lepdoptera (93 indivíduo), Acarina (88 indivíduos), Formicidae (59 indivíduos) e Coleoptera (49 indivíduos), foram os mais abundantes na área de sucessão florestal intermediária (Figura 6), tendo um destaque para o grupo de Formicidae cortadeira (44 indivíduos), que apresentou maior abundância nesta área em relação às outras. Neste estudo, o grupo das cortadeiras foram separados das Formicidae por conta do papel fundamental na ciclagem de nutrientes, acelerando a decomposição da serapilheira (LIMA JÚNIOR, 2016). Uma vez que a produtividade de florestas tropicais é mantida pela reciclagem rápida e absorção de nutrientes em decomposição da serapilheira, o papel das formigas cortadeiras é extremamente importante nesses ecossistemas (VITAL et al., 2004).

Figura 6. A. lagarta (Lepdoptera); B. larva (Coleoptera); C. besouro (Coleoptera); D. formiga cortadeira (Hymenoptera: Formicidae).



Na Agrofloresta, os grupos mais preponderantes, em ordem decrescente de abundância, foram Formicidae (374 indivíduos), Collembola (143 indivíduos), Diptera (78 indivíduos) e Isopoda (42 indivíduos). Já na área de sucessão florestal inicial, os grupos que mais se destacaram, também em ordem decrescente de abundância, foram: Acarina (375 indivíduos), Formicidae (357 indivíduos), Collembola (169 indivíduos) e Diptera (113 indivíduos) (Figura 7).

Figura 7. Dominância e ocorrência de ordens e grupos nas áreas de estudo.



De maneira geral, independentemente do uso da terra, os grupos mais representativos foram Hymenoptera: Formicidae (37,46%), Acarina (21,10%), Collembola (15,86%) e Diptera (9,68%). Juntos, esses grupos representam 84% dos indivíduos coletados neste estudo (Figura 8). Vale ressaltar que em estudos que avaliam a comunidade de meso e macrofauna do solo,

esses grupos são mencionados como os mais abundantes (MOÇO et al., 2005; SILVA, 2006; MACHADO et al., 2015; SILVA et al., 2016).

Figura 8. A. formiga (Hymenoptera: Formicidae); B. ácaros (Acari); C. pulgas de jardim (Collembola); D. moscas e mosquitos (Diptera).



Através de uma Análise de Variância ( $p < 0,05$ ) dos índices tradicionais de diversidade, descritos na Tabela 1, não houve evidência de diferenças significativas. Entretanto, ao considerar apenas os índices tradicionais de diversidade, pode-se inferir que a diversidade nas áreas segue a seguinte ordem geral:  $A1 > A3 > A2$ . O índice de dominância de Simpson (D) também apresentou o mesmo padrão de Shannon. De acordo com tais valores, a diversidade de grupos taxonômicos na área de estágio intermediário de sucessão florestal (A1) é maior do que nas áreas de estágio inicial de sucessão florestal (A3) e na agrofloresta (A2), sendo ponderadas os grupos raros neste índice. A equabilidade de Pielou ( $J'$ ) também foi maior na A1 quando comparada às outras áreas, indicando uma distribuição mais uniforme das abundâncias dos grupos taxonômicos na área de sucessão florestal intermediária.

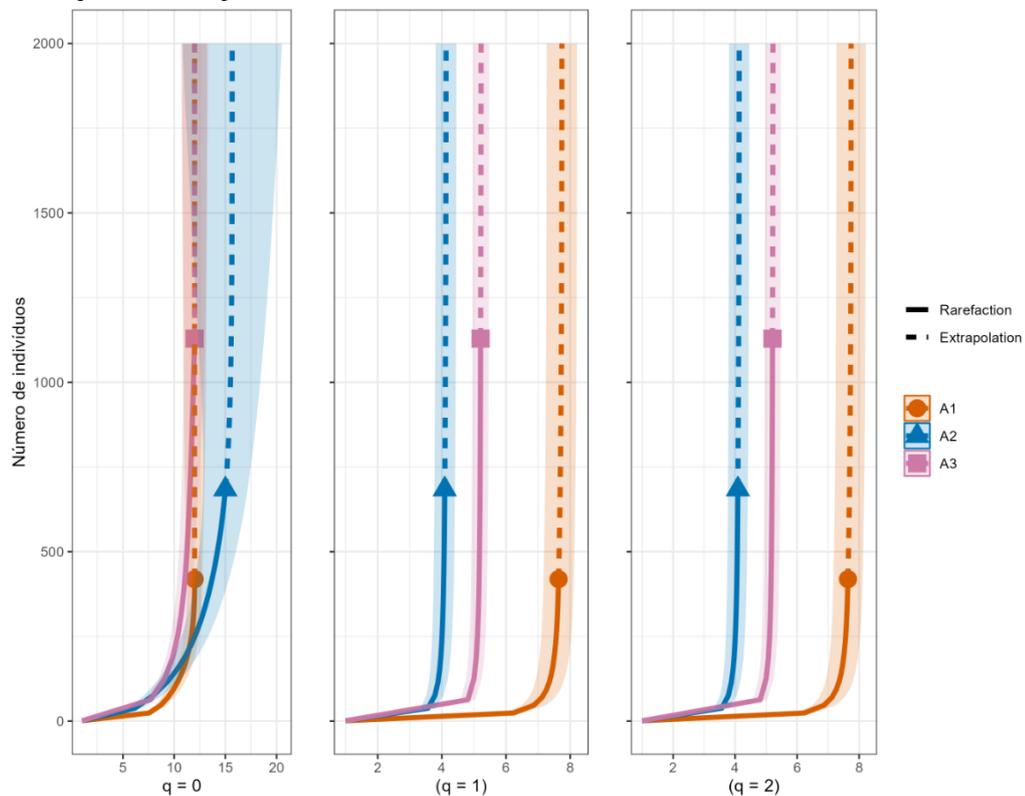
Tabela 1 - Índices de diversidade estimados para as áreas de estudo A1, A2 e A3.

Áreas	Shannon ( $H'$ )	Simpson (D)	Pielou ( $J'$ )
A1	2,03	0,85	0,82
A2	1,41	0,64	0,52
A3	1,65	0,75	0,66
Valor-P	0,06	0,05	0,05

A desuniformidade na distribuição dessas espécies, com a concentração da abundância em apenas alguns grupos, pode resultar em índices de diversidade mais baixos. Nesse aspecto, embora a área A3 tenha apresentado quase o triplo de organismos capturados em relação a A1 e quase o dobro da A2, os índices de diversidade foram influenciados pelos indivíduos dos grupos de Acarina e Formicidae na A3 e Formicidae e Collembola na A2, que dominaram a abundância média de organismos amostrados nestas áreas.

Os componentes verdadeiros da diversidade ( $qD$ ), foram estimados em 12, 7,64 e 6,58 grupos para a A1; em 15, 4,09 e 2,78 grupos para a A2; e em 12, 5,21, 4,08 grupos para A3 (ordens  $q = 0, 1$  e  $2$ , respectivamente). A curva de amostragem integrada permite comparações confiáveis, começando de qualquer tamanho de uma amostra observada (interpolação) até aproximadamente o dobro de indivíduos (extrapolados) (Figura 9). Ao analisar as tendências das curvas, nota-se que não houveram diferenças significativas quando estimada a riqueza ( $q = 0$ ).

Figura 9. Curvas de amostragem por interpolação (—) e extrapolação (- -) com intervalos de confiança de 95% (áreas sombreadas), obtidas pelo método *bootstrap*. Dados dos grupos de invertebrados das áreas A1, A2 e A3 são mostrados separadamente por perfis de diversidade com  $q = 0$  (riqueza de espécies),  $q = 1$  (diversidade de Shannon) e  $q = 2$  (diversidade de Simpson). Os pontos sólidos, círculos, triângulos, e quadrados representam os limites das amostras de referência.

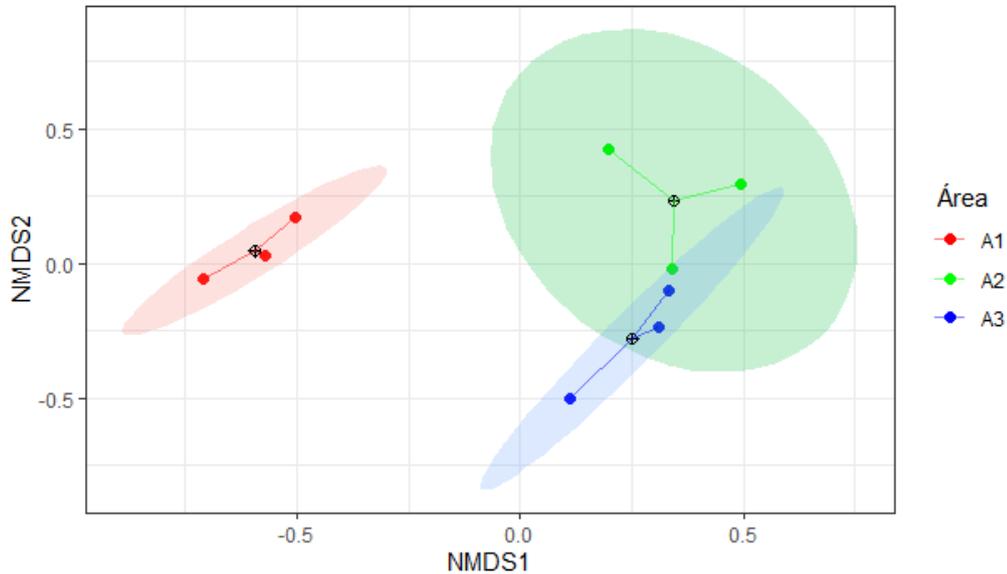


Quando os componentes de diversidade, que priorizam a abundância de espécies, são incorporados ( $q = 1$  e  $2$ ), há uma pequena mudança no padrão, demonstrando, assim, que há maior diversidade na  $A1 > A3 > A2$ , é importante ressaltar que diversidade não depende exclusivamente do número de grupos e da densidade total. Em outras palavras, no contexto desta pesquisa, por exemplo, apesar de haver maior riqueza na A2, não obrigatoriamente esta teria maior diversidade. Tal fato ocorreu devido a A1 ter uma distribuição mais uniforme das abundâncias dos grupos, apresentando-se como um ambiente com níveis ecológicos naturais de estabilidade ecológica, sendo um ambiente mais equilibrado.

De modo geral, considerando tanto as formas tradicionais dos índices como números efetivos de espécies ( $qD$ ), viu-se que, a Agrofloresta, mesmo apresentando uma maior riqueza de grupos taxonômicos, teve uma diversidade estimada menor do que a área de em estágio de sucessão inicial. Essa disparidade pode ser atribuída ao fato de que a agrofloresta, embora possua recursos mais abundantes para certos grupos, como uma maior composição florística, as práticas de manejo nesse sistema podem resultar em uma distribuição desigual na abundância de alguns grupos.

Com base na análise exploratória utilizando o escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), identificaram-se similaridades na composição dos organismos edáficos entre o sistema agroflorestal e a área em estágio inicial de sucessão florestal. Adicionalmente, observaram-se diferenças significativas em comparação com o ecossistema de referência (Figura 10).

Figura 10. Ordenação do NMDS da composição de invertebrados do solo em sistema agroflorestal e diferentes tipos de coberturas vegetais em fragmento de floresta ombrófila densa. Os círculos de cores distintas representam as estimativas de distância (“method” = Bray-Curtis) entre o número de indivíduos de cada grupo dentro das unidades amostrais (*pitfall*) entre as diferentes áreas, sendo que A1, A2 e A3 representam os centróides de cada agrupamento.



A interpretação do gráfico segue o seguinte padrão: comunidades próximas exibem composição e abundância de grupos taxonômicos semelhantes, enquanto comunidades distantes apresentam composição e abundância distintas. Além disso, a análise de PERMANOVA corroborou essas observações, indicando uma diferença significativa entre os ambientes em estudo (Pseudo-F = 4,78;  $P \leq 0,003$ ).

A análise gráfica, ao considerar os pontos centroides e as distâncias, sugere semelhanças na distribuição dos grupos taxonômicos nas áreas A2 e A3, e a ausência de similaridade entre áreas A2 e A3 e o ecossistema de referência A1. Essas observações, indicam que fatores como o tipo de solo, vegetação circundante e práticas de manejo podem estar desempenhando um papel significativo na composição da fauna edáfica.

Nas camadas de 0–20 cm e de 20–40 cm do solo, o valor do pH foi superior na área A3 (Tabela 2). Além disso, os teores de fósforo apresentaram valores elevados tanto na camada superficial quanto na subsuperficial para a área A3, e na camada superficial para a área A2.

Tabela 2. Atributos químicos do solo nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

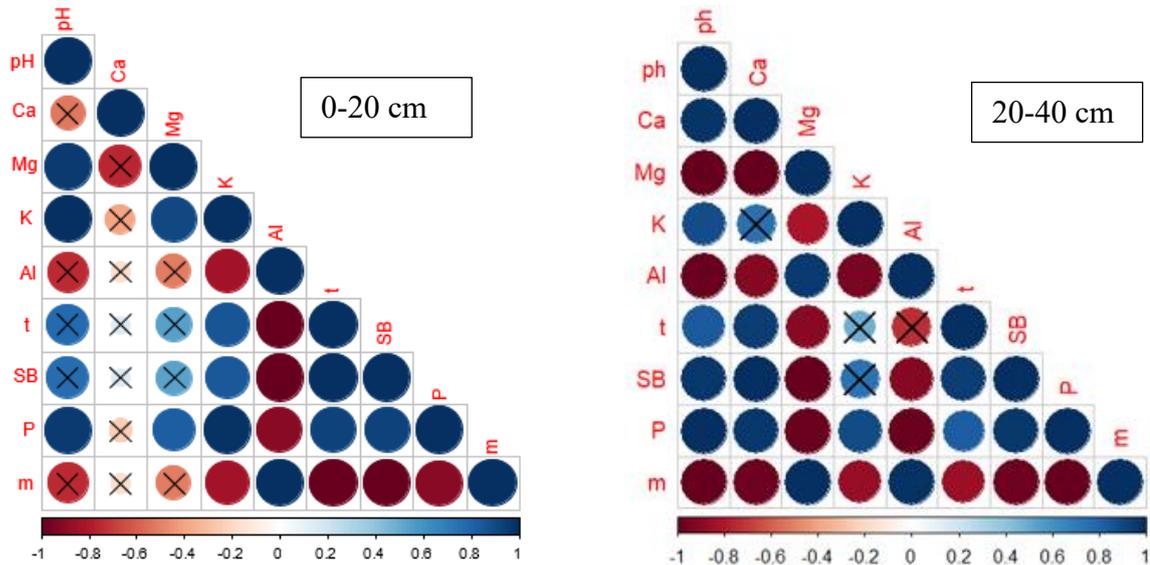
Área de estudo	pH 1:2,5	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	t	SB	P-Resina	m (%)
	H <sub>2</sub> O	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----						mg dm <sup>-3</sup>	%
<b>0-20 cm</b>									
A1	5,00	2,90	1,60	0,17	0,90	5,57	4,67	3,00	16,16
A2	5,90	7,00	1,70	0,25	0,00	8,95	8,95	21,00	0,00
A3	7,80	0,75	8,00	0,35	0,00	9,10	9,10	34,00	0,00
<b>20-40 cm</b>									
A1	4,90	2,70	2,00	0,07	1,60	6,37	4,77	3,00	25,12
A2	4,70	1,20	2,30	0,16	1,40	5,06	3,66	2,00	27,67
A3	8,10	6,30	0,70	0,28	0,00	7,28	7,28	32,00	0,00

Os valores elevados de pH e fósforo na área A3 podem estar associados ao fato de ser um solo de aterro. É possível que os materiais empregados no processo de aterramento, como alguns tipos de entulho de construção, concreto, argamassa ou gesso, possam conter fosfatos. A decomposição desses materiais pode resultar na liberação de fósforo no solo. Além disso, é possível que esses materiais tenham sido alcalinos ou ricos em carbonatos, o que contribuiria para o aumento do pH do solo.

Na área A2, caracterizada como um sistema agroflorestral, os elevados valores de fósforo (P) na camada de 0-20 cm podem indicar a presença de resíduos orgânicos no solo, como restos de vegetação. Isso pode ser atribuído às práticas de adubação com resíduos orgânicos e à deposição de podas no solo. A presença de matéria orgânica proveniente dessas práticas pode contribuir para teores mais altos de fósforo. A decomposição da matéria orgânica no solo, impulsionada pela atividade da fauna edáfica e pela ação microbiana, desempenha um papel fundamental na mineralização do fósforo, tornando-o disponível para as plantas (NAHAS, 2002; MENDES; REIS JUNIOR, 2003; FREIRE et al., 2010).

Na camada superficial do solo (0-20 cm), observa-se correlação positiva e estatisticamente significativa entre o pH, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P, t e SB (Figura 11). Isso sugere que à medida que o pH do solo aumenta, os teores de bases trocáveis, fósforo (P), soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica total (t) também tendem a aumentar. Essa associação se deve à forte dependência do teor de bases trocáveis e P em relação ao pH do solo (DUBUIS et al., 2012).

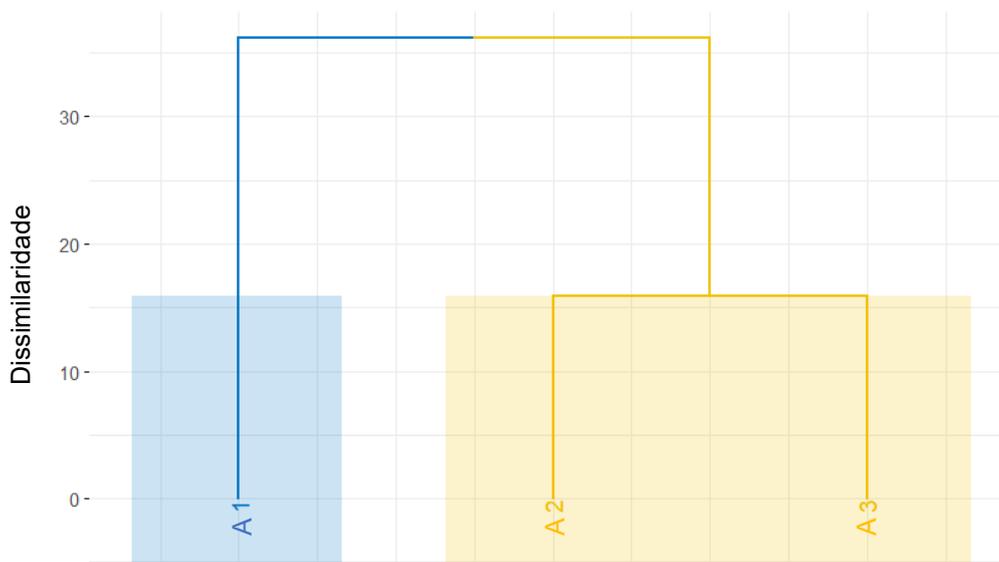
Figura 11. Estimativas de correlação de Pearson para Atributos químicos do solo nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. Quanto mais intensa a cor vermelha, maior a correlação negativa; quanto mais intensa a cor azul, maior a correlação positiva. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.



No que diz respeito aos componentes do complexo de acidez do solo ( $\text{Al}^{3+}$  e m), observa-se uma correlação positiva entre  $\text{Al}^{3+}$  e a saturação por alumínio (m). Por outro lado, esses componentes mostraram correlação negativa com  $\text{K}^+$ , t, SB e P. Essa relação indica que o  $\text{Al}^{3+}$  e a saturação por alumínio (m) estão diretamente relacionados à redução da fertilidade do solo. Na camada mais profunda do solo (20-40 cm), os atributos químicos pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , t, SB e P também exibiram correlação positiva entre si, enquanto  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e saturação por alumínio (m) apresentaram correlação positiva (Figura 11).

O estudo dos atributos químicos do solo nas camadas de 0–20 cm por meio da análise de agrupamento hierárquico (CAH), constatou a formação de dois grupos, sendo o primeiro constituído apenas pela área A1 e o segundo grupo formados pelas áreas A2 e A3 (Figura 12). O fato de A2 ser uma agrofloresta e A3 ser uma área de estágio inicial de sucessão florestal, ambas em cima de um aterro, sugere a similaridade entre essas áreas. A presença comum de solo aterrado pode ser um fator-chave na formação desse segundo grupo, indicando que, mesmo com diferentes históricos de uso (agrofloresta e sucessão florestal), as áreas A2 e A3 compartilham características químicas semelhantes em comparação com a área A1.

Figura 12. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das áreas utilizadas para amostragem do solo nas camadas de 0 – 20, das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo.



Os resultados obtidos na análise de componentes principais (ACP) nas camadas de 0-20 cm, confirmaram a separação das áreas de estudo em dois grupos (Tabela 3), além de fornecer informações sobre as relações dos grupos formados com os atributos químicos do solo.

Tabela 3. Atributos do solo na camada de 0–20 cm utilizados na Análise de Componentes Principais (ACP) e suas correlações com os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2)

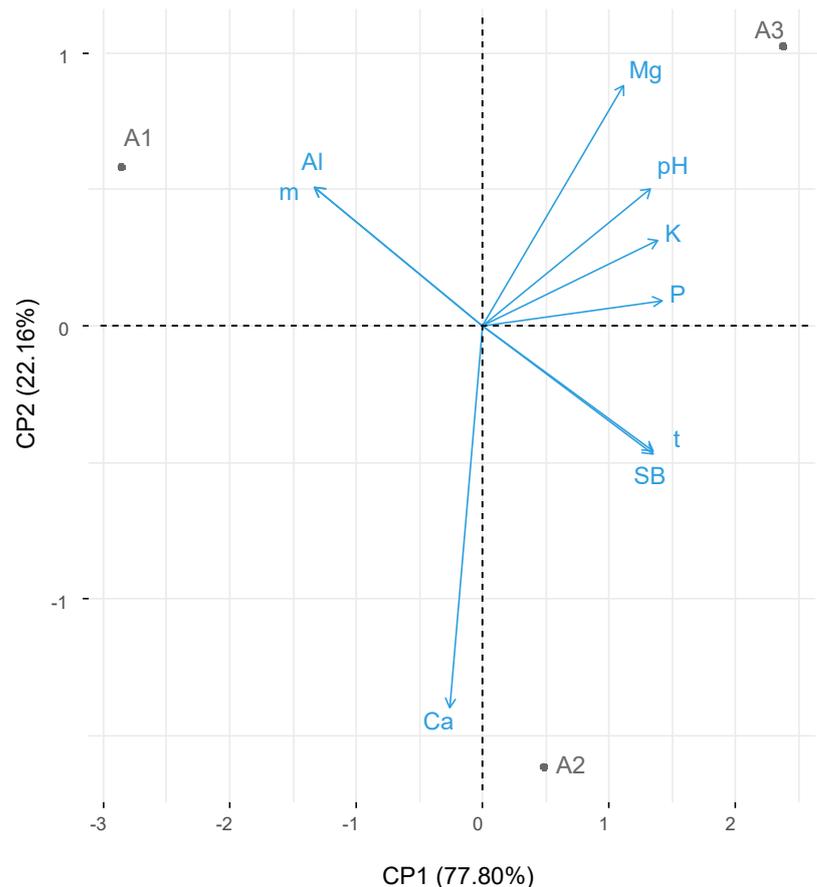
Atributo do solo	CP1	CP2
pH	<b>0,9351</b>	-0,3543
Ca <sup>2+</sup>	-0,1855	<b>0,9826</b>
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,7846</b>	-0,6200
K <sup>+</sup>	<b>0,9753</b>	-0,2210
Al <sup>3+</sup>	<b>-0,9342</b>	-0,3568
t	<b>0,9469</b>	0,3214
SB	<b>0,9444</b>	0,3287
P	<b>0,9978</b>	-0,0659
M	<b>-0,9342</b>	-0,3568
Variância (%)	77,84	22,16
Variância acumulada (%)	77,80	100

A variância acumulada dos dois primeiros componentes principais da ACP foi de 77,84 e 22,16%, que explica 100% da variação dos atributos químicos do solo das parcelas. O primeiro componente principal teve elevada correlação positiva com pH, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, soma de

bases (SB) e capacidade de troca de cátions efetiva (t), seguido de elevada correlação negativa com  $Al^{3+}$ , e saturação por alumínio (m). Enquanto o segundo componente principal teve alta correlação positiva com  $Ca^{2+}$  (Tabela 3).

A ordenação das áreas, com base nos vetores dos atributos químicos do solo, considerando os dois primeiros componentes principais da ACP (Figura 13), demonstrou que  $Mg^{2+}$ , pH,  $K^+$ , P e  $Ca^{2+}$  tiveram alta correlação positiva entre si. Portanto, constatou-se correlação positiva entre pH, P e bases trocáveis do solo. Em contrapartida, observou-se que o  $Al^{3+}$  e saturação por alumínio (m) tiveram alta correlação positiva entre si e alta correlação negativa com o  $Ca^{2+}$  e que também estão correlacionados negativamente com pH e aos demais atributos relacionados à fertilidade do solo (P,  $K^+$  e  $Mg^{2+}$ ).

Figura 13. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) nas camadas de 0–20 cm, das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo.

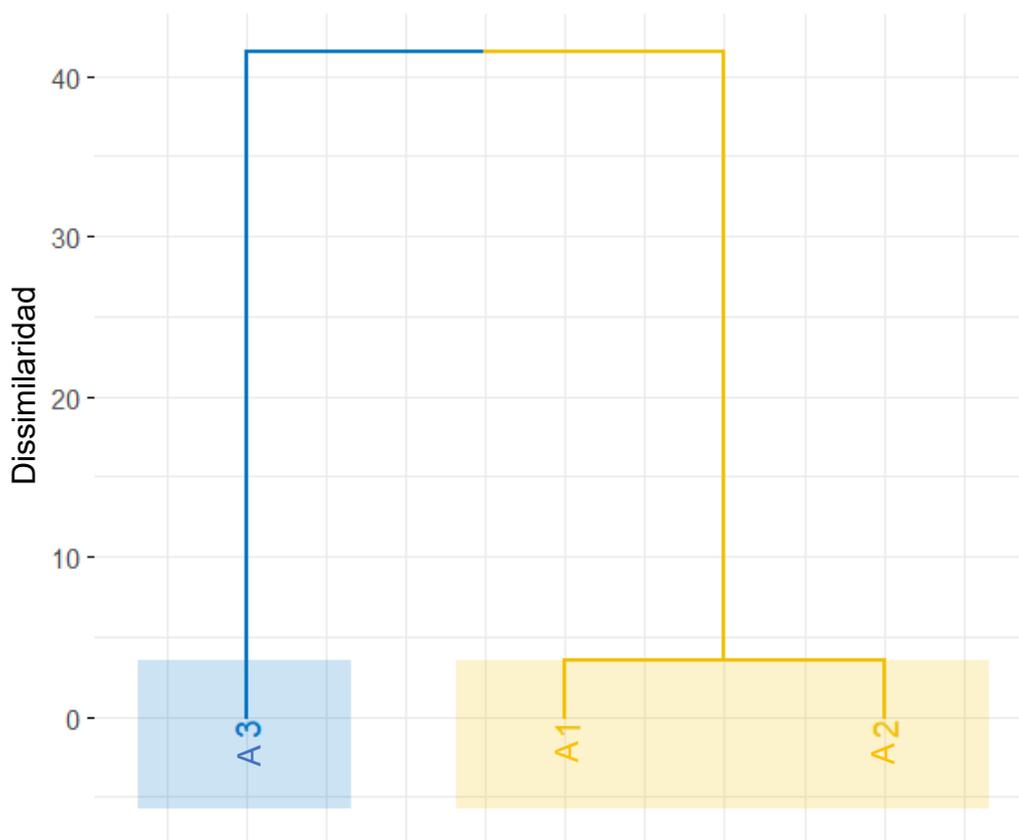


Além disso, pôde-se observar que os vetores que representaram os atributos pH,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e P apontaram para o lado direito do gráfico, enquanto os vetores de  $Al^{3+}$ , saturação por alumínio (m) e  $Ca^{2+}$  apontaram para o lado esquerdo do gráfico (Figura 13). Portanto, as áreas foram divididas em dois grupos distintos: áreas com solos menos ácidos e mais férteis,

representados pelas áreas A2 e A3 que ocorrem no lado direito do diagrama de ordenação, e áreas com solos mais ácidos, em função dos teores mais elevados de  $Al^{3+}$  e saturação por alumínio (m), representados pela área A1 que ocorre no lado esquerdo do diagrama de ordenação.

O estudo dos atributos químicos do solo nas camadas de 20 – 40 cm por meio da análise de agrupamento hierárquico (CAH), constatou a formação de dois grupos de áreas, sendo o primeiro constituído apenas pela área A3 e o segundo grupo formados pelas áreas A1 e A2 (Figura 14). A observação de que não há uma variação significativa nos atributos químicos do solo da A3 entre as camadas superficiais e subsuperficiais, o que sugere uma possível homogeneidade do aterro, na composição química ao longo dessas profundidades.

Figura 14. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das áreas utilizadas para amostragem do solo nas camadas de 20–40 cm, das áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo.



É possível que a composição química na A2, semelhante à floresta em estágio de sucessão intermediária na A1, sugira que práticas específicas, como as associadas à agrofloresta em A2, possam impactar as condições químicas do solo em profundidades mais elevadas. As

raízes das plantas e os processos biológicos desempenham um papel relevante na criação de condições químicas comuns nessas áreas, evidenciando a complexidade das interações entre cobertura vegetal, práticas de manejo e composição química do solo (ROCHA JUNIOR et al., 2020).

Os resultados obtidos na análise de componentes principais (ACP) nas camadas de 20–40 cm, confirmaram a separação das áreas de estudo em dois grupos (Tabela 3), além de fornecer informações sobre as relações dos grupos formados com os atributos químicos do solo.

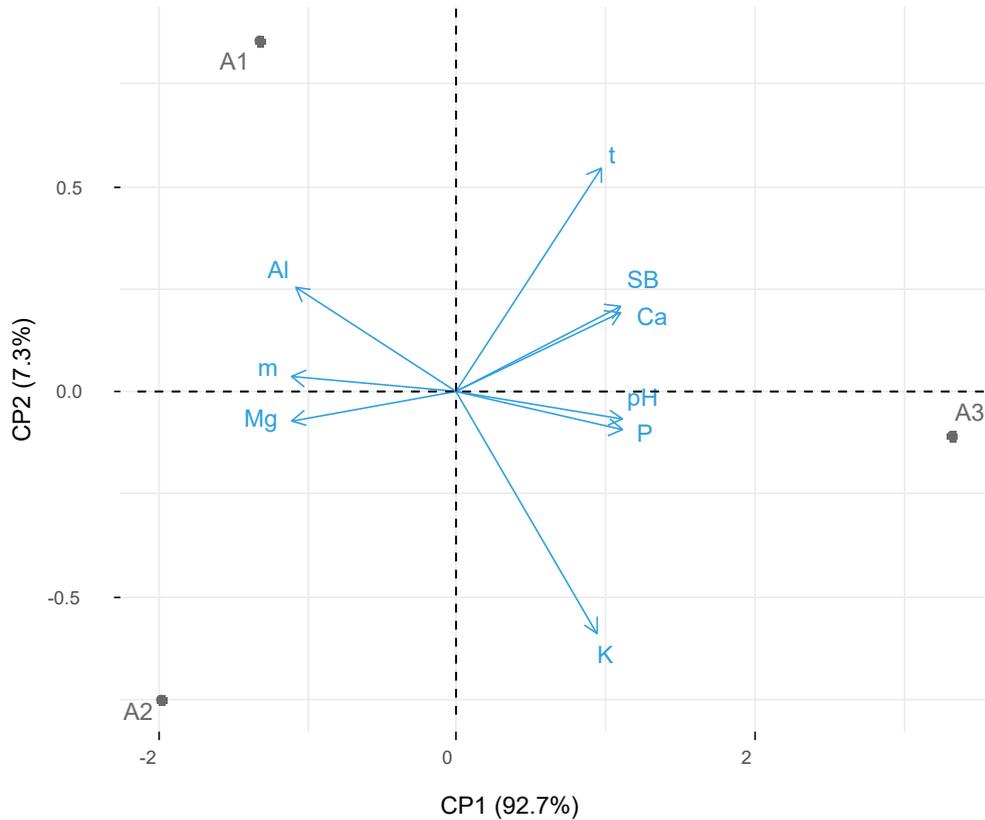
Tabela 4. Atributos do solo na camada de 20–40 cm utilizados na Análise de Componentes Principais (ACP) e suas correlações com os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2).

Atributo do solo	CP1	CP2
pH	<b>-0,9981</b>	-0,0620
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,9846</b>	0,1748
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,9980</b>	-0,0628
K <sup>+</sup>	<b>-0,8495</b>	-0,5276
Al <sup>3+</sup>	<b>0,9738</b>	0,2274
t	<b>-0,8714</b>	0,4906
SB	<b>-0,9821</b>	0,1883
P	<b>-0,9964</b>	-0,0850
m	<b>0,9995</b>	0,0310
Variância (%)	92,75	7,25
Variância acumulada (%)	92,75	100

A variância acumulada nos dois primeiros componentes principais da ACP foi de 92,75 e 7,25%, que explica 100% da variação dos atributos químicos do solo das parcelas. O primeiro componente principal teve elevada correlação positiva com Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, e saturação por alumínio (m), seguido de elevada correlação negativa com pH, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t) e P disponível (Tabela 3).

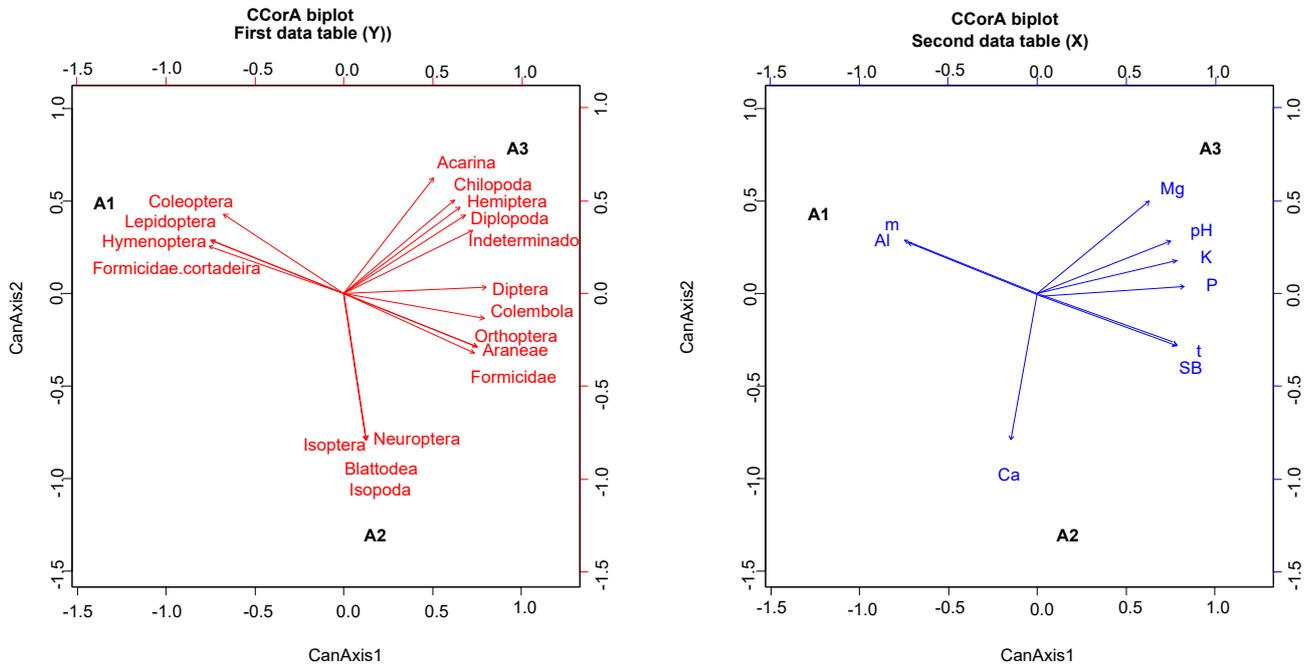
A ordenação das áreas, com base nos vetores dos atributos químicos do solo, considerando os dois primeiros componentes principais da ACP (Figura 15), demonstrou que os vetores que representaram os atributos Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e saturação por alumínio (m) apontaram para o lado esquerdo do gráfico, enquanto os vetores: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), Ca<sup>2+</sup>, pH, P, K<sup>+</sup> e apontaram para o lado direito do gráfico. Portanto as áreas foram divididas em dois grupos distintos: área com solo menos ácido e mais fértil, representado pela A3 que ocorre acima do diagrama de ordenação, e áreas com solos mais ácidos e menos férteis, representadas pelas áreas A1 e A2, que ocorrem abaixo do diagrama de ordenação.

Figura 15. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) nas camadas de 20–40 cm, das as áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, com base nos atributos químicos do solo.



De acordo com representação gráfica da análise de correlação canônica (Figura 16), foi possível observar que a presença de alguns elementos químicos nas áreas influenciou a distribuição de grupos taxonômicos da fauna. Na área A1, que apresentou a ocorrência dos grupos Coleoptera, Lepdoptera, Hymenoptera e Formicidae cortadeira, indica que esses grupos tendem a ocorrer em área com solos mais ácidos com presença de teores mais elevados de  $Al^{3+}$  e saturação por alumínio. As áreas A3 e A2 por apresentaram solo menos ácidos e mais férteis, com correlação positiva entre pH, P e bases trocáveis, demonstraram uma maior riqueza e também uma maior abundância de indivíduos por grupo.

Figura 16. Representação gráfica da análise de correlação canônica (CCorA) entre os dois grupos de variáveis compostos por variáveis ambientais (atributos químicos do solo nas camadas de 0-20 cm) e a abundância de organismos em cada ordem ou grupo de indivíduos nas amostras para áreas A1, A2 e A3, em fragmento de floresta urbana no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.



Os resultados confirmam a hipótese de que a distribuição da fauna edáfica é sensível às variações nos atributos químicos do solo, destacando uma correlação entre a distribuição dos grupos do solo e suas propriedades químicas. A presença ou ausência de certos elementos químicos no solo parece exercer uma influência significativa na distribuição de determinados grupos de organismos no solo. Conforme Baretta (2007), que avaliou a fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental, boa parte da variabilidade da macrofauna edáfica é explicada pelos atributos químicos do solo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da fauna edáfica nas diferentes áreas estudadas revelou padrões distintos de distribuição e abundância de grupos taxonômicos. Com isso, o estudo da fauna edáfica apresenta potencial para ser usada como indicadora da qualidade do solo, pois mostra-se sensíveis às interferências no ambiente, facilitando a tomada de decisões para um manejo ecológico do solo mais sustentável, ressaltando a importância das práticas agrícolas, como a produção em sistemas agroflorestais.

A área de sucessão florestal intermediária (A1) destacou-se pela maior uniformidade e diversidade, representada principalmente pelos grupos Hymenoptera (Formicidae), Acarina, Collembola e Diptera. A presença significativa de formigas cortadeiras na A1 ressalta sua importância na ciclagem de nutrientes e na manutenção da produtividade do ecossistema.

Por outro lado, a agrofloresta (A2) apresentou uma maior riqueza de grupos, uma predominância de Formicidae, Collembola, Diptera e Isopoda, indicando uma influência das práticas de manejo agroflorestais na composição da fauna do solo. A área de sucessão florestal inicial (A3) apresentou uma maior abundância entre os grupos, apesar disso, a diversidade não foi necessariamente maior, sendo influenciada pela concentração dos grupos de Acarina e Formicidae.

A análise estatística dos índices tradicionais de diversidade indicou que, não há diferenças significativas. Entretanto, ao considerar os componentes verdadeiros da diversidade (qD), que priorizam a abundância de espécies, mostrou diferenças significativas demonstrando que há maior diversidade na  $A1 > A3 > A2$ .

No estudo, percebe-se uma tendência de similaridade na distribuição dos grupos taxonômicos entre as áreas A2 e A3. A análise de agrupamento hierárquico e componentes principais confirmou a similaridade química entre A2 e A3, sugerindo que fatores como tipo de solo e práticas de manejo desempenham um papel significativo na composição da fauna edáfica.

Além disso, a correlação canônica indicou que a presença de elementos químicos específicos influenciou a distribuição dos grupos taxonômicos, com solos mais ácidos associados a certos grupos na área A1 e solos menos ácidos relacionados a maior riqueza e abundância dos grupos nas áreas A2 e A3.

## 7 REFERÊNCIAS

AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. **Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda** ("Pitfall-Traps"). Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2006.

AQUINO, A. M. **Manual para coleta de macrofauna do solo**. Documento 130, Embrapa Agrobiologia, Seropédica – RJ, 24 p., 2001. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB2010/27400/1/doc130.pdf>>

ALMEIDA, D. M. Atributos do solo como indicadores da distribuição de espécies florestais. 2021. 99 f. (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

ALMEIDA, H. S.; SILVA, R. F.; GROLLI, A. L.; SCHEID, D. L. Ocorrência e diversidade da fauna edáfica sob diferentes sistemas de uso do solo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 15 – 23, jul. 2017.

BARETTA, D. Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no estado de São Paulo, 2007, 158f. (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade do solo**. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Org.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2011, p. 119-170.

BERUDE, M.C.; GALOTE, J.K.B.; PINTO, P.H.; AMARAL, A.A. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 11 n. 22; p. 14, dez. 2015.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2006.

BRITO, M. F.; TSUJIGUSHI, B. P.; OTSUBO, A. A.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M. Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 51, n. 3, p. 253 - 260, mar. 2016

BUAINAIN, A. M.; FAVARETO, A.; CONTINI, E.; CHAVES, F. T.; HENZ, G. P.; GARCIA, J. R.; DAMIANI, O.; VIEIRA, P. A.; GRUNDLING, R. D. P.; NOGUEIRA, V. G. C. **Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros**. Brasília, DF: Embrapa, p. 69, 2020.

BUENO, P. A. A.; OLIVEIRA, V. M. T.; GUALDI, B. L.; SILVEIRA, P. H. N.; PEREIRA, R. G.; FREITAS, C. E. S. de; BUENO, R. O.; SEKINE, E. S.; SCHWARCZ, K. D. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 40 - 44, 2018.

CALDAS, A. M. Solos, antropização e morfometria da microbacia do Prata, Recife - PE. 2007. 134 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2007.

CHAO, A.; GOTELLI, N. J.; HSIEH, T. C.; SANDER, E. L.; MA, K. H.; COLWELL, R. K.; ELLISON, A. M. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monographs**, Washington, v. 84, n. 1, p. 45 - 67. fev. 2014.

DUBUIS, A.; GIOVANETTINA, S.; PELLISSIER, L.; POTTIER, J.; VITTOZ, P.; GUIBAN, A. Improving the prediction of plant species distribution and Community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 4, p. 593-606, 2012.

ESPIG, S. A., FREIRE, F. J., MARANGON, L. C., FERREIRA, R. L. C., FREIRE, M. B. G. DOS S., ESPIG, D. B. Distribuição de nutrientes entre a vegetação florestal e o solo em fragmento de Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 2, p. 132 - 137, abr. - jun., 2008.

FAO. **Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes**, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, p. 28, 2017.

FAO. **The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture**. In: BÉLAGER, J.; PILLING, D. (Eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome, pp. 572, 2019.

FAVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Rev. Árvore**, Viçosa MG, v. 32, n. 5, p. 861 – 868, out. 2008.

FERREIRA, A.S.; PERES, C.A.; DODONOV, P.; CASSANO, C. R. Multi-scale mammal responses to agroforestry landscapes in the Brazilian Atlantic Forest: the conservation value of forest and traditional shade plantations. **Agroforest Syst**, v. 94, p. 2331 – 2341, out. 2020.

FREIRE, J. L., DUBEUX JÚNIOR, J. C. B., LIRA, M. A., FERREIRA, R. L. C., SANTOS, M. V. F., FREITAS, E. V. Decomposição de serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.8, p. 1659 - 1665, 2010.

GADALLAH, N. A. H.1; ADEWOLE, N. A.; AJAYI, D. D. Potential of agroforestry as forest landscape restoration tool to solve forest cover loss cum food security in Sennar and Gedaref States, Sudan. **International Journal of Development and Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 199 – 210, 2019.

GÓES, Q. R.; FREITAS, L. R.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 123 - 144, jan - mar. 2021.

HILL, M. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. **Ecology**, v.54, p.427-432, 1973.

HOFFMANN, R. B.; NASCIMENTO, M. S. V.; DINIZ, A. A.; ARAÚJO, L. H. A.; SOUTO, J. S. S. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em Areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 121-125, jul. 2009.

HSIEH, T. C.; MA, K. H.; CHAO, A. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). **Methods in Ecology and Evolution**, London, v. 7, n. 12, p. 1451 - 1456, ago. 2016.

IBGE, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª Edição, Revista e Ampliada. Rio de Janeiro: 2012, 271 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas** (1981/2010). Brasília - DF, 2018. <https://portal.inmet.gov.br/normais>. 28 mai. 2023.

IPCC. **Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** [SHUKLA, P.R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PORTUGAL PEREIRA, J.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J.(Eds.)]. In press, 2019, 38 p.

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

JOSE, S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 1-8, 26 abr. 2012.

LIMA JUNIOR, F. C. Formigas cortadeiras como engenheiras de ecossistema: mudanças na deposição e decomposição de serapilheira no entorno de ninhos de *Atta cephalotes* e *Atta sexdens*. 78 f. 2016, (Mestrado em Biologia Animal) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

LIMA, M. S.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; ALMEIDA, B. G.; RIBEIRO, E. P.; SANTOS, R. L. Solos florestais em fragmento de floresta urbana na mata de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 542 - 553, abr. - jun., 2018.

LIMA, R. R. F. Mata Atlântica: uso, proteção e conservação. **Rev. Ext. Tril.**, Salvador, v. 3, n. 1, p. 66 - 76, ago. 2023.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R.; MENEZES, C. E. G. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da Mata Atlântica em floresta estacional semidecidual na Bacia do Rio Paraíba do Sul – RJ, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 91-106, jan.-mar., 2015.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Biologia do Solo. Boletim informativo da SBCS**. jan.- abr. 2009.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 24p. 2003.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 191-209, jan./ago. 2015.

MOÇO, 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.

MORAES, J. A. T.; CAVICHIOLI, F. A. Recuperação de solo com o sistema agrofloresta. **Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 597 – 607, dez. 2022.

MUNIZ, T. C. O desflorestamento da Mata Atlântica causado pelas atividades econômicas, em especial o cultivo do café. **Periódicos eletrônicos: Fórum ambiental da alta paulista**, São Paulo, v. 7. n. 3, p. 495 – 508, 2011.

NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. Forragicultura, **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n. 8, ago 2002.

NAIR, P. K. R. Tropical agroforestry systems and practices. In: FURTADO, J.I. e RUDDLE, K. (Eds.). **Tropical resource ecology and development**. John Willey Ed. Chichester: Inglaterra. 1984. 39 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 434 p.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOEC, E.; WAGNER, H. (2017). Vegan: Community Ecology Package. R package, version 2.4-4. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; VIAPIANA, C. M.; SANTOS, J. C. P. Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 14, n. 1, p. 55 - 64, abr. 2015.

ORTIZ, A. I.; BENAYAS, J. M. R.; DELGADO, L. C. Agroforestry improves soil fauna abundance and composition in the Atlantic Forest of Paraguay. **Agroforest Syst**, v. 97, p. 1447 – 1463, jul 2023.

PÁDUA, J. A. A Mata Atlântica e a Floresta Amazônica na construção do território brasileiro: estabelecendo um marco de análise. **Revista de História Regional**, v. 20, n. 2, p. 232 - 251, 2015.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Embrapa, Brasília, DF, p. 121 – 154. 2015.

PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; AMORIM, T. A.; MENEZES, C. E. G. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em

um fragmento de floresta atlântica. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1317-1327, set. / out. 2013.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. New York: J. Wiley, p. 165, 1975.

PIMENTEL, C. R.; PAULETTO, D.; RÊBELO, A. G. M.; SILVA, A. F.; PELEJA, V. L.; PALOMINO, E. C. Produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em três sistemas agroflorestais no Oeste do Pará. **Advances In Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1291-1300, 1 jul. 2021.

PINTO, L. F. G.; METZGER, J. P.; SPAROVEK, G. Produção de Alimentos na Mata Atlântica: Desafios para uma agropecuária sustentável, saudável e com neutralização de carbono no bioma que é o maior produtor de alimentos no Brasil. São Paulo: **Fundação SOS Mata Atlântica**, Cátedra Josué de Castro, 2022. 38p. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/noticias/producao-de-alimentos-na-mata-atlantica/>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

PINTO, L. P.; BEDÊ, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. Mata Atlântica brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. In: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S. (Org.) **Biologia da Conservação**: essências. São Carlos: RiMa, 2006, p. 91 – 118.

POMPEO, P. N.; SANTOS, M. A. B.; BIASI, J. P.; SIQUEIRA, S. F.; ROSA, M. G.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina – Brasil. **Revista Scientia Agrária**, Curitiba, PR, v. 25, n. 17, p. 42-51, jan. - mar., 2016.

REZENDE, C. L.; SCARANO, F. R.; ASSAD, E. D.; JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; STRASSBURG, B. B. N.; TABARELLI, M.; FONSECA, G. A.; MITTERMEIER, R. A. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208 – 214. out. – dez. 2018.

RIBEIRO FILHO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. **Guia de excursão pedológica do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: solos da zona da mata de Pernambuco**. 1 ed. Embrapa - Dados eletrônicos. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.

RIGHI, C. A. Sistemas Agroflorestais: definição e perspectivas. **Cadernos da Disciplina Sistemas Agroflorestais**, Piracicaba, v. 1, p. 1 – 5, 2015.

ROCHA JUNIOR, P. R.; STURIÃO, W. P.; NOGUEIRA, N. O.; PASSOS, R. R.; DONAGEMMA, G. K.; RANGEL, O. J. P.; BHATTARAI, R. Soil quality indicators to evaluate environmental services at different landscape positions and land uses in the Atlantic Forest biome. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 7, p. 100047, 2020.

ROSSI, C.; NOBRE, C.; COELHO, C.; BENAZZI, E.; RODRIGUES, K.; CORREIA, M. E. Efeito de Diferentes Coberturas Vegetais Sobre a Mesofauna Edáfica em Manejo Agroecológico. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v. 4, n. 2, nov. 2009.

ROVEDDER, A. P. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; DALMOLIN, R. S. D.; REICHERT, J. M.; SCHENATO, R. B. Compreensão e aplicabilidade do conceito de solo florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 517 - 528, jul. - set., 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa Solos, 2018 (Ebook)

SANTOS, L. D.; SCHLINDWEIN, S. L.; FANTINI, A. C.; HENKES, J. A.; BELDERRAIN, M. C. N. Dinâmica do desmatamento da Mata Atlântica: causas e consequências **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 378 - 402, jul. - set. 2020.

SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração. **Floresta**, Guaraqueçaba (PR), Curitiba, PR, v. 38, n. 2, p. 327-345, abr. / jun. 2008.

SILVA, M. S. C.; CORREIA, M. E.; SILVA, E. M. R.; MADDOCK, J. E. L.; PEREIRA, M. G. Soil Fauna Communities and Soil Attributes in the Agroforests of Paraty, **Floresta Ambient**, v. 23, n. 2, p. 180-190, abr. – jun., 2016.

SILVA, M. S. C. Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas Agroflorestais em Paraty, RJ. 2006, 66 f. (Mestrado em Ciências em Agronomia) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SIMINSKI, A.; SANTOS, K. L.; WENDT, J. G. N. Rescuing agroforestry as strategy for agriculture in Southern Brazil. **Journal of Forestry Research**, v. 27, p. 739 – 746, abr. 2016.

SIMPSON, E. Measurement of Diversity. **Nature**, v. 163, p. 688, abr. 1949. <https://doi.org/10.1038/163688a0>

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. **The Quarterly Review of Biology**, Oxford, Blackwell, v. 56. n. 1, p. 372, 1979.

TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; DA SILVA, J. M. C.; HIROTA, M.; BEDÊ, L. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade** (Belo Horizonte), Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 132-138, jul. 2005.

URRUTH, L. M.; BASSI, J. B.; CHEMELLO, D. Policies to encourage agroforestry in the Southern Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 112, p. 105802, jan. 2022.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p. 793 - 800, dez. 2004.