

DÉBORA DE MELO ALMEIDA

**ATRIBUTOS DO SOLO COMO INDICADORES DA DISTRIBUIÇÃO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS**

RECIFE
Pernambuco – Brasil
Fevereiro – 2021

DÉBORA DE MELO ALMEIDA

**ATRIBUTOS DO SOLO COMO INDICADORES DA DISTRIBUIÇÃO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Freire

Coorientador: Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva

RECIFE
Pernambuco – Brasil
Fevereiro – 2021

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)

- D287a Almeida, Débora de Melo
Atributos do solo como indicadores da distribuição de espécies florestais / Débora de Melo Almeida. -
2021.
99 f. : il.
- Orientador: Fernando Jose Freire.
Coorientador: Emanuel Araujo Silva.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais, Recife, 2021.
1. Mata Atlântica. 2. Atributos físicos e químicos do solo. 3. Nutrição florestal. 4. Análise multivariada. 5.
Geoestatística. I. Freire, Fernando Jose, orient. II. Silva, Emanuel Araujo, coorient. III. Título

CDD 634.9

DÉBORA DE MELO ALMEIDA

ATRIBUTOS DO SOLO COMO INDICADORES DA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES
FLORESTAIS

Aprovado em: 25/02/2021

Banca examinadora:

Profa. Dra. Eliane Cristina Sampaio de Freitas
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/PPGCF)

Prof. Dr. Gualter Guenther Costa da Silva
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN)

Orientador:

Prof. Dr. Fernando José Freire
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/PPGCF)

RECIFE – PE
Fevereiro – 2021

Aos meus pais, Francisco Renan de Almeida e
Ronalda de Melo Oliveira, por todo o amor,
dedicação e incentivo.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por todas as bênçãos concedidas e por sempre me proteger e guiar os meus passos.

Aos meus pais, Francisco Renan de Almeida e Ronalda de Melo Oliveira, que são o meu alicerce, pela demonstração de amor incondicional ao longo de toda a minha vida e por todo o apoio durante esta trajetória.

A minha irmã, Dayane de Melo Almeida, pela amizade, companheirismo e por sempre me incentivar para que alcance os meus objetivos.

Ao meu orientador, professor Fernando José Freire, pela orientação, confiança, disponibilidade, ensinamentos e contribuições na construção deste trabalho.

Ao meu coorientador, professor Emanuel Araújo Silva, por todas as contribuições.

Ao Dr. Douglas Monteiro Cavalcante pela paciência e disponibilidade para ajudar com a análise de dados.

Aos amigos, Paulo César, Vital Caetano e Patryk Wandersee, por toda a ajuda durante o período de coleta de dados em campo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de cursar o Mestrado e por todo o suporte oferecido.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

A administração do Jardim Botânico do Recife por ceder a área de estudo.

A todos que se fizeram presentes durante esta trajetória e direta ou indiretamente contribuíram com a realização deste trabalho.

"Devemos acreditar que somos talentosos para algumas coisas, e que essa coisa, a qualquer custo, deve ser alcançada."

Marie Curie

ALMEIDA, DÉBORA DE MELO. **Atributos do solo como indicadores da distribuição de espécies florestais.** 2021. Orientador: Fernando José Freire. Coorientador: Emanuel Araújo Silva.

RESUMO

O solo é um importante constituinte dos ecossistemas florestais. No entanto, são escassos os estudos que visam compreender a influência da variabilidade dos seus atributos na distribuição de espécies florestais. Esses estudos são necessários porque fornecem informações para o melhor entendimento da complexa relação solo-floresta, visando a adoção de estratégias adequadas para a conservação da biodiversidade e restauração florestal. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar correlações entre a distribuição de espécies florestais arbóreas e os atributos do solo em um fragmento de Mata Atlântica, tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Recife, Pernambuco, Brasil. O estudo foi realizado em um fragmento florestal localizado no Jardim Botânico do Recife. O levantamento fitossociológico foi realizado pelo método das parcelas, sendo alocadas 40 parcelas de 10 m x 25 m, distribuídas de forma sistemática. Nessas parcelas foram identificados e georreferenciados todos os indivíduos vivos que apresentaram circunferência a 1,30 m acima do solo ≥ 15 cm. Os atributos físicos e químicos do solo foram determinados em cada parcela, coletando-se 4 amostras de solo não deformadas na profundidade de 0-5 cm e 18 amostras simples deformadas na profundidade 0-20 cm, formando uma amostra composta por parcela. Dentre os atributos físicos do solo foram determinados os teores de areia, silte e argila, densidade do solo, resistência do solo à penetração, porosidade total, macro e microporosidade. A caracterização química do solo foi realizada determinando-se os teores de carbono orgânico total (COT), P disponível, bases trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}), acidez trocável (Al^{+3}) e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$). Além disso, calculou-se soma de bases, saturação por bases, saturação por Al^{+3} , capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca de cátions potencial. As características do solo foram avaliadas utilizando-se estatística descritiva e para avaliar a influência dos atributos do solo na distribuição das espécies florestais utilizou-se análise multivariada e geoestatística. O solo do fragmento florestal foi caracterizado como Franco-Argilo-Arenoso, ácido, não-álico e eutrófico. Possivelmente, por se tratar de uma floresta em estágio sucessional avançado, a decomposição e a mineralização da camada de serapilheira depositada na superfície contribuem com a nutrição florestal e atuam no incremento dos níveis de fertilidade do solo. A distribuição das espécies florestais se encontra relacionada aos atributos físicos e químicos do solo. *Brosimum guianense*, *Miconia affinis*, *Bactris ferruginea* e *Dialium guianense* apresentam preferência por áreas com teores mais elevados de argila. *Parkia pendula*, *Pouteria durlandii* e *Schefflera morototoni*, predominaram em áreas com aumento da densidade e resistência à penetração do solo. *Artocarpus heterophyllus*, *Eriotheca gracilipes*, *Hevea brasiliensis*, *Luehea ochrophylla* e *Mabea piriri* apresentaram maior ocorrência em locais com melhores condições de fertilidade. Enquanto *Brosimum rubescens*, *Helicostylis tomentosa* e *Thyrsodium spruceanum* predominaram em locais com solos mais ácidos e maiores teores de acidez trocável e potencial. Por serem interações complexas e específicas, padrões sobre a influência dos atributos do solo na distribuição de espécies florestais só devem ser generalizados após repetições do mesmo padrão em áreas distintas.

Palavras-chave: Mata Atlântica, atributos físicos e químicos do solo, nutrição florestal, análise multivariada, geoestatística

ALMEIDA, DÉBORA DE MELO. **Soil attributes as indicators of the distribution of forest species**. 2021. Orientador: Fernando José Freire. Coorientador: Emanuel Araújo Silva.

ABSTRACT

Soil is an important constituent of forest ecosystems. However, there are few studies that aim to understand the influence of the variability of its attributes on the distribution of forest species. These studies are necessary because they provide information for a better understanding of the complex soil-forest relationship, aiming at the adoption of appropriate strategies for the conservation of biodiversity and forest restoration. Therefore, this work aimed to evaluate correlations between the distribution of tree forest species and soil attributes in a fragment of Atlantic Forest type Dense Ombrophilous Forest of the Lowlands, Recife, Pernambuco, Brazil. The study was carried out in a forest fragment located in the Botanical Garden of Recife. The phytosociological survey was carried out using the plots method, with 40 plots of 10 m x 25 m being allocated, systematically distributed, where all living individuals who had a circumference at 1.30 m above the ground ≥ 15 cm were identified and georeferenced. The physical and chemical attributes of the soil were determined in each plot, collecting 4 samples of non-deformed soil at the depth of 0-5 cm and 18 simple samples deformed at the depth 0-20 cm, forming a sample composed by plot. Among the physical attributes of the soil, the contents of sand, silt and clay, density of the soil, resistance of the soil to penetration, total porosity, macro and microporosity were determined. The chemical characterization of the soil was carried out by determining the levels of total organic carbon (TOC), available P, exchangeable bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^{+}), exchangeable acidity (Al^{+3}) and potential acidity (H+Al). In addition, base sum, base saturation, Al^{+3} saturation, effective cation exchange capacity and potential cation exchange capacity were calculated. Soil characteristics were evaluated using descriptive statistics and to evaluate the influence of soil attributes on the distribution of forest species, multivariate and geostatistical analysis was used. The soil of the forest fragment was characterized as Sandy-Clay-Loam, acid, non-alic and eutrophic. Possibly, because it is a forest in an advanced successional stage, the decomposition and mineralization of the litter layer deposited on the surface contribute to the forest nutrition and act in the increase of soil fertility levels. The distribution of forest species is related to the physical and chemical attributes of the soil. *Brosimum guianense*, *Miconia affinis*, *Bactris ferruginea* and *Dialium guianense* show preference for areas with higher clay contents. *Parkia pendula*, *Pouteria durlandii* and *Schefflera morototoni*, predominated in areas with increased density and resistance to soil penetration. *Artocarpus heterophyllus*, *Eriotheca gracilipes*, *Hevea brasiliensis*, *Luehea ochrophylla* and *Mabea piriri* were more prevalent in places with better fertility conditions. While *Brosimum rubescens*, *Helicostylis tomentosa* and *Thyrsodium spruceanum* predominated in places with more acidic soils and higher levels of exchangeable and potential acidity. Because they are complex and specific interactions, patterns on the influence of soil attributes on the distribution of forest species should only be generalized after repetitions of the same pattern in different areas.

Keywords: Atlantic Forest, physical and chemical attributes of the soil, forest nutrition, multivariate analysis, geostatistics

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Mata Atlântica	18
3.2 Solos da Mata Atlântica	21
3.3 Atributos do solo e distribuição de espécies florestais	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Caracterização da área de estudo	27
4.2 Amostragem, coleta e determinação dos atributos físicos e químicos do solo	28
4.4 Análise dos dados	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Espécies florestais	36
5.2 Atributos físicos do solo	39
5.3 Atributos químicos do solo	45
5.4 Índice de qualidade do solo	57
5.5 Distribuição das espécies florestais e atributos do solo	62
5.6 Variabilidade geoespacial dos atributos do solo e da distribuição de espécies florestais	74
6 CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica do Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.	27
Figura 2. Diagrama esquemático da distribuição de parcelas na área do Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.	29
Figura 3. Croqui demonstrativo da área útil de cada parcela para a coleta das amostras simples e formação da amostra composta de solo por parcela.	29
Figura 5. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, com base nos atributos físicos do solo.	43
Figura 6. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) para as 40 parcelas usadas na amostragem da vegetação e solo no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, com base nos atributos físicos do solo (Ds = Densidade do solo; PT = Porosidade total; Macro = Macroporosidade; Micro = Microporosidade; RP = Resistência do solo à penetração).	44
Figura 7. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil, com base nos atributos químicos do solo.	54
Figura 8. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) para as 40 parcelas usadas na amostragem da vegetação e solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil, com base nos atributos químicos do solo.	56
Figura 9. Índice de qualidade do solo (IQS) com base nos atributos físicos das 40 parcelas utilizadas para amostragem do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$; Tukey) entre as parcelas.	58
Figura 10. Índice de qualidade do solo (IQS) com base nos atributos químicos, das 40 parcelas utilizadas para amostragem do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$; Tukey) entre as parcelas.	59

Figura 11. Índice de qualidade do solo (IQS) com base nos atributos físicos e químicos das 40 parcelas utilizadas para amostragem do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. PT = porosidade total; Al = Alumínio; COT = carbono orgânico total. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$; Tukey) entre as parcelas.....	61
Figura 12. Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica (ACC) da distribuição das 40 parcelas (A) e das 24 espécies (B) amostradas no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, correlacionadas com atributos físicos do solo.....	63
Figura 13. Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica (ACC) da distribuição das 40 parcelas (A) e das 24 espécies (B) amostradas no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, correlacionadas com atributos químicos do solo.....	65
Figura 14. Mapas de krigagem da distribuição espacial de atributos físicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Macro = macroporosidade; RP = resistência do solo à penetração.	78
Figura 15. Mapas de krigagem da distribuição espacial de atributos químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.....	79
Figura 16. Mapas de krigagem da distribuição espacial de espécies florestais (ind.ha ⁻¹) com maior densidade absoluta em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das famílias e espécies florestais selecionadas para compor a matriz de vegetação, nome popular, densidade absoluta (DA), local de origem (LO), grupo ecológico (GE) e síndrome de dispersão (SD).....	36
Tabela 2. Atributos físicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil	39
Tabela 3. Atributos do solo utilizados na Análise de Componentes Principais (ACP) e suas correlações com os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2).....	43
Tabela 4. Atributos químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil	45
Tabela 5. Atributos do solo utilizados na Análise de Componentes Principais (ACP) e suas correlações com os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2).....	55
Tabela 6. Coeficientes de correlação entre os atributos físicos do solo e os dois primeiros eixos de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (ACC)	62
Tabela 7. Coeficientes de correlação entre os atributos químicos do solo e os dois primeiros eixos de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (ACC)	64
Tabela 8. Coeficientes de correlação entre as espécies florestais e os atributos físicos e químicos do solo gerados pela Análise de Correlação Canônica (CCorA) .	68
Tabela 9. Modelos e parâmetros de semivariogramas de atributos físicos e químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil	75
Tabela 10. Modelos e parâmetros de semivariogramas das espécies florestais com maior densidade absoluta em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.....	77

1. INTRODUÇÃO

O contínuo processo de devastação da Mata Atlântica é reflexo da ocupação e exploração desordenada dos recursos naturais, que ocorre desde o início do período de colonização do Brasil. Isso resultou na redução da área de vegetação natural, elevada concentração de pequenos fragmentos florestais (< 50 hectares) e inserção do bioma na lista de áreas prioritárias para conservação (RIBEIRO et al., 2009). O bioma passou a ser considerado o mais ameaçado do Brasil e um dos 35 *hotspots* mundiais. *Hotspots* são áreas que apresentam grande diversidade biológica endêmica, com menos de 30% da sua cobertura vegetal original (NETTESHEIM et al., 2010; MITTERMEIER et al., 2011).

Os ecossistemas florestais, de modo geral, têm grande importância ambiental e social, atuando na conservação da biodiversidade; proteção do solo; manutenção dos cursos de água e controle climático, por meio do sequestro de CO₂ (HIGUCHI et al., 2012; JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; HIGUCHI et al., 2016). Diante disso, estudos que tenham como proposta subsidiar estratégias de conservação, manejo sustentável e restauração florestal são necessários e de grande relevância ambiental e social.

A utilização de estratégias adequadas depende da compreensão acerca da interação existente entre os fatores edafoclimáticos e a vegetação. Isso pode proporcionar resultados satisfatórios para a conservação e o manejo sustentável dos remanescentes florestais ainda existentes, bem como para a recuperação ou restauração florestal de áreas degradadas.

A heterogeneidade ambiental nos trópicos influencia diretamente a distribuição e a coexistência de espécies com diferentes exigências às condições microambientais, fazendo com que cada local apresente características próprias, além daquelas que são comuns a outros locais (LIMA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2007; PINTO et al., 2008; BRAGA et al., 2015; AMARAL et al., 2020).

As variações altitudinais e climáticas em escalas regionais acarretam heterogeneidade florística aos ecossistemas florestais associados a Mata Atlântica. No entanto, atributos do solo e topografia em escalas locais são responsáveis por moldar a composição e a estrutura da comunidade arbórea. Isso demonstra a importância da variação dos fatores edáficos na formação da estrutura da comunidade local e abundância de espécies em diversas florestas tropicais ao redor

do globo (MARTINS et al., 2003; MCGILL, 2010; NETTESHEIM et al., 2010; BALDECK et al., 2013; LOPES et al., 2015; HIGUCHI et al., 2016).

Os solos da Mata Atlântica têm grande diversidade em função da variabilidade de clima, relevo, material de origem e vegetação, com características físicas e químicas marcantes, as quais podem variar em pequenas distâncias (RESENDE; LANI; REZENDE, 2002). Assim, é possível observar solos bem rasos ou afloramentos de rocha ocorrendo ao lado de solos profundos, bem como a ocorrência de solos distróficos próximos a solos eutróficos (LIMA et al., 2018a). Essas características podem originar padrões complexos de disponibilidade de água e nutrientes e influenciar na biodiversidade, bem como na distribuição de espécies florestais (MARQUES et al., 2014).

Apesar do solo ser considerado componente fundamental dos ecossistemas florestais, atuando diretamente no desenvolvimento e estabelecimento da floresta, ainda são escassos estudos em relação aos atributos do solo de maior influência na distribuição e abundância de espécies florestais (JOHN et al., 2007; ROUSSEAU et al., 2012; SARCINELLI et al., 2012; RODRIGUES et al., 2016).

Estudos realizados em diferentes ecossistemas florestais associadas a Mata Atlântica indicaram que os principais atributos do solo que influenciaram na distribuição de espécies florestais arbóreas foram: pH; P; Ca^{2+} ; K^{+} ; Mg^{2+} ; Al^{3+} , matéria orgânica, capacidade de troca de cátions efetiva e potencial (t e T), saturação por Al^{3+} (m), saturação por bases (V) e textura (OLIVEIRA-FILHO et al., 2001; BOTREL et al., 2002; RODRIGUES et al., 2007; CAMARGOS et al., 2008; SOUZA et al., 2012; ROVEDDER et al., 2014; BRAGA et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016; SILVA et al., 2018).

Esses estudos são importantes, pois fornecem informações sobre a influência de atributos do solo na distribuição de espécies florestais. Isso permite a indicação qualitativa de espécies para plantio de recomposições florestais com base nas características do solo da área de recomposição, visando maior percentual de sobrevivência, crescimento e estabelecimento.

Entretanto, são interações complexas e específicas para cada sítio, o que explica a razão desse tema ser pouco estudado nos ecossistemas florestais (RODRIGUES et al., 2016). As interações observadas só podem ser generalizadas após repetidas em distintas áreas. Portanto, estudos que visem geração de informações das características dos solos, bem como das exigências nutricionais

das árvores em florestas naturais, são necessários para elucidar a complexa relação entre o solo e a vegetação.

Diante do exposto, a hipótese desse estudo é a de que a distribuição de espécies florestais arbóreas ao longo de um fragmento de Mata Atlântica tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, se encontra relacionada às variações dos atributos do solo, sendo os níveis de acidez e fertilidade do solo determinantes na distribuição dessas espécies.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar correlações entre a distribuição de espécies florestais arbóreas e os atributos do solo em um fragmento de Mata Atlântica tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Recife, Pernambuco, Brasil.

2.2. Objetivos específicos

- Georreferenciar os indivíduos arbóreos no fragmento florestal;
- Identificar os indivíduos arbóreos do fragmento florestal em nível de família, gênero e espécie;
- Identificar a síndrome de dispersão e o grupo ecológico das espécies no fragmento florestal;
- Determinar às características físicas do solo – textura, densidade do solo, resistência à penetração, porosidade total, macro e microporosidade;
- Determinar os atributos químicos do solo – pH, P disponível, bases trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}), acidez trocável (Al^{+3}), acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e carbono orgânico total (COT);
- A partir da determinação dos atributos químicos do solo, calcular a soma de bases (SB), a saturação por bases (V), a saturação por Al^{+3} (m), a capacidade de troca de cátions efetiva (t) e a capacidade de troca de cátions potencial (T);
- Calcular o índice de qualidade do solo (IQS) do fragmento florestal;
- Correlacionar atributos físicos e químicos do solo com a distribuição das espécies florestais;
- Determinar os atributos físicos e químicos do solo que apresentam dependência espacial;
- Determinar as espécies florestais que apresentam variação quanto à distribuição espacial em função dos atributos físicos e químicos do solo;
- Elaborar mapas temáticos que facilitem a visualização e a compreensão da relação solo-floresta.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mata Atlântica

Com redução drástica de sua área de cobertura, a Mata Atlântica permanece na forma de fragmentos isolados distribuídos ao longo de toda a costa do Brasil. Nessa nova área de abrangência estão inclusas florestas secundárias e áreas restauradas em diferentes estágios sucessionais (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Em função disso, a Mata Atlântica é o bioma brasileiro com o menor percentual de cobertura vegetal original (MMA; IBAMA, 2012).

A Mata Atlântica ocupava, originalmente, em torno de 15% do território brasileiro, equivalente a 1.296.446 km², estendendo-se ao longo da costa litorânea, abrangendo, parcialmente ou integralmente, desde o estado do Rio Grande do Norte ao do Rio Grande do Sul (CAMPANILI; SCHAFFER, 2010). Estudos recentes constataram que atualmente são encontrados apenas cerca de 162.000 km², considerando fragmentos florestais acima de três hectares, que equivalem a 12,4% da área de cobertura vegetal original do bioma (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Segundo Ribeiro et al. (2009), mais de 80% desses fragmentos florestais ocupam áreas inferiores a 50 hectares, com distância média entre si de 1.440 m, indicando a predominância de pequenos fragmentos, com baixa conectividade entre si. Essa realidade se torna cada vez mais agravante em função das reservas naturais protegerem apenas 9% das florestas remanescentes e 1% da floresta original.

O Nordeste do Brasil tem baixos índices de preservação, dentre as regiões de ocorrência do bioma. Os fragmentos são encontrados margeando grandes centros urbanos e, conseqüentemente, degradados e fragmentados (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Nesse contexto, o estado de Pernambuco, que apresentava 18% do território coberto por Mata Atlântica, foi identificado como a unidade federativa com os maiores índices de degradação, considerando-se o grupo de estados brasileiros acima do rio São Francisco. Atualmente, restam aproximadamente apenas 2,18%, que são representados por um conjunto de pequenos fragmentos florestais (RANTA et al., 1998; CAPOBIANCO, 2001; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Apesar do elevado nível de degradação, apenas 1% da área de ocorrência original do bioma no estado se encontra sob proteção legal (RIBEIRO et al., 2009).

As ações antrópicas que acarretaram na degradação e fragmentação da Mata Atlântica datam do início do período de colonização do Brasil. Iniciaram-se com a exploração do pau-brasil [*Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis], seguindo-se com a supressão das áreas florestadas para a implantação de cafezais, criação de gado e, principalmente, para o cultivo de cana-de-açúcar (RANTA et al., 1998).

É importante ressaltar que a ocorrência de grandes centros econômicos e urbanos brasileiros em áreas próximas ao litoral foi responsável por ocasionar a conversão de extensas áreas com vegetação natural em áreas urbanas. Isso tem contribuído, até os dias atuais, para a degradação e fragmentação contínua da Mata Atlântica (AGUIAR et al., 2003; ARCHANJO et al., 2012). A degradação do bioma também está relacionada ao desmatamento, associado à expansão das fronteiras agrícolas e à exploração madeireira; caça predatória; incêndios e introdução de espécies exóticas invasoras (MALHI et al., 2014).

As diversas ações antrópicas exercidas ao longo dos anos acarretaram na inserção da Mata Atlântica na lista de florestas mais ameaçadas do mundo. O bioma passou a ser considerado um dos *hotspots* mundiais prioritários para conservação. *Hotspots* são ecossistemas com grande diversidade biológica endêmica, que se encontram em alto grau de degradação, com menos de 30% da sua cobertura vegetal original (MITTERMEIER et al., 2011).

A Mata Atlântica tem alto grau de diversidade de espécies e endemismo, com elevada importância para a manutenção da biodiversidade. Estima-se a ocorrência de cerca de 20 mil espécies vegetais, das quais 8 mil são endêmicas (RIBEIRO et al., 2009; STEHMANN et al., 2009; JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; ICMBio, 2015).

Dessa forma, os fragmentos de Mata Atlântica contribuem para a manutenção da biodiversidade e, também, são de fundamental importância para a população, pela prestação de serviços ecossistêmicos, como: fornecimento de água para cerca de 125 milhões de brasileiros, que corresponde a 75% da população; produção de 62% da energia elétrica nacional, por meio de seus reservatórios e barragens; provimento de frutas, óleos e resinas; controle climático, em função do sequestro de carbono; e manutenção do patrimônio histórico cultural das populações tradicionais (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; MENDES et al., 2018). Entretanto, assim

como a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos prestados pela Mata Atlântica estão cada vez mais ameaçados pela degradação antrópica do bioma.

Métodos para a restauração florestal das áreas degradadas estão sendo propostos, visando a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, além da criação de reservas naturais sob proteção legal. De modo geral, para a obtenção da restauração ecológica, considera-se o conjunto de variações geográficas e climáticas que a Mata Atlântica apresenta, destacando-se a variação altitudinal, desde o nível do mar até 2.900 m e as diferenças nos índices pluviométricos, variando de áreas subúmidas a hiperúmidas. Essas variações acarretam muitas mudanças ao longo das unidades de paisagem, com distribuição específica de flora (CARVALHO JÚNIOR et al., 2008; STEHMANN et al., 2009).

As variações altitudinais e climáticas que acarretam na heterogeneidade florística dos ecossistemas florestais associados à Mata Atlântica são analisadas considerando escalas regionais. Ao considerar escalas locais, as variações topográficas e edáficas também exercem importante papel na organização espacial da vegetação arbórea. Os ecossistemas florestais são considerados produtos da interação de diversos fatores que coevoluem ao longo do tempo e do espaço (MARTINS et al., 2003; AMARAL et al., 2013).

Apesar do solo ser um importante constituinte dos ecossistemas florestais, existe uma lacuna quanto a estudos com solo em projetos que visam a restauração da Mata Atlântica. O solo atua diretamente no desenvolvimento e estabelecimento da floresta, devido ao fornecimento de suporte mecânico, por meio da fixação do sistema radicular; retenção e suprimento de água; provimento e ciclagem de nutrientes (ROUSSEAU et al., 2012; RODRIGUES et al., 2016; MENDES et al., 2018).

Estudos que buscam compreender como a variação dos atributos do solo, bem como aspectos geográficos e climáticos influenciam na distribuição da vegetação em florestas tropicais são escassos. Esses estudos podem gerar informações úteis, para auxiliar na definição de medidas adequadas para a conservação e manejo desses ecossistemas, além da indicação de espécies para a restauração florestal, considerando a adaptação das plantas a atributos do solo (BRAGA; BORGES; MARTINS, 2015; SANTOS et al., 2020).

3.2 Solos da Mata Atlântica

Os solos são resultantes da interação entre cinco fatores de formação: material de origem, relevo, clima, organismos e tempo. O processo de formação do solo se inicia com o intemperismo do material de origem, sobre o qual atuam fenômenos físicos, químicos e biológicos. Assim, os solos são provenientes da ação climática e biológica sobre o material de origem, em uma determinada condição de relevo por um determinado tempo. Nessa ação, ocorrem processos de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria ao longo do tempo (ZARONE; SANTOS, 2020).

Os solos que predominam no Brasil estão sob domínio climático tropical. Esses solos ocorrem na faixa que se estende desde o extremo norte do estado de Roraima (aproximadamente 5° N) até a cidade de São Paulo (aproximadamente 23,5° S em relação ao Equador). Entretanto, mais ao sul desta latitude de São Paulo, os solos estão sob o domínio climático subtropical, que compreende parte do estado de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ALMEIDA; ZARONI; SANTOS, 2020). Portanto, os solos nas áreas de ocorrência da Mata Atlântica podem ser encontrados sob o domínio climático tropical e subtropical.

Os solos da Mata Atlântica têm grande diversidade em função da variabilidade de clima, relevo, material de origem e vegetação, com características físicas e químicas marcantes. Assim, é possível observar solos bem rasos ou afloramentos de rocha ocorrendo ao lado de solos profundos, bem como a ocorrência de solos distróficos e/ou álicos, próximos a solos eutróficos. Essas características podem originar padrões complexos de disponibilidade de recursos, como, por exemplo, água e nutrientes, que podem influenciar na distribuição das espécies florestais em escalas locais, bem como na biodiversidade (RESENDE; LANI; REZENDE, 2002; MCGILL, 2010; MARQUES et al., 2014).

De modo geral, o processo de formação do solo nas áreas de ocorrência da Mata Atlântica é mais acelerado. A temperatura e a precipitação pluvial são mais elevadas, fazendo com que a ação da água e a atuação biológica sejam mais intensas, prevalecendo o intemperismo químico. Como consequência, os minerais primários das rochas são intemperizados, resultando em solos com maior proporção de minerais secundários, com baixa capacidade de reter cátions básicos. Além disso, predominam óxidos de Fe e Al, que possuem alta capacidade de fixar P (RODRIGUES et al., 2016; ZARONE; SANTOS, 2020).

Portanto, a maioria dos solos da Mata Atlântica encontra-se em avançado estágio de intemperismo. São caracterizados, geralmente, como solos ácidos, de baixa fertilidade natural e com elevada saturação por Al^{3+} . Os cátions trocáveis de caráter básico (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) normalmente são perdidos por lixiviação, concentrando cátions trocáveis de caráter ácido, principalmente, Al^{3+} (BARRETO et al., 2006; LIMA et al., 2018a).

Rovedder et al. (2014) relataram que, na dinâmica natural desses solos, o teor dos nutrientes catiônicos e a reatividade do complexo sortivo estão relacionados ao teor de matéria orgânica. Essa relação é ainda mais evidente em solos com baixos teores de argila e com cobertura florestal, onde a deposição de serapilheira é fundamental para a ciclagem biogeoquímica.

Assim, nas formações florestais da Mata Atlântica, a exuberante e densa vegetação é mantida, principalmente pela camada orgânica que se desenvolve em função da deposição de serapilheira. Essa camada é responsável por atender grande parte da demanda nutricional para a manutenção e sobrevivência da floresta, através da ciclagem de nutrientes (LIMA et al., 2018a; SANTOS et al., 2020). Segundo Espig et al. (2009), a disponibilidade e demanda de nutrientes pelas espécies são sincronizados, sendo a diversidade biológica e a deposição da serapilheira elementos essenciais para o equilíbrio e sustentabilidade desses ecossistemas florestais.

Além disso, a camada orgânica contribui consideravelmente com o aumento da fertilidade do solo. Quando há elevado acúmulo da camada orgânica, o teor de P disponível do solo é mais elevado, possivelmente, pela sua manutenção em compostos orgânicos estáveis. Nisto, as bases trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ são mantidas pela matéria orgânica e disponibilizadas às plantas. E as substâncias orgânicas influenciam na diminuição do teor de Al^{3+} na solução do solo pela complexação orgânica do Al^{3+} . Essas substâncias orgânicas também aumentam a capacidade de troca de cátions e são responsáveis pela melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (BARRETO et al., 2006; CUNHA; FONTES; LANI, 2019).

3.3 Atributos do solo e distribuição de espécies florestais

O solo e a topografia são responsáveis por moldar a composição e a estrutura da comunidade arbórea local nas florestas tropicais. A variação dos fatores edáficos,

considerando uma pequena escala, tem elevada importância na formação da estrutura da comunidade local em diversas florestas tropicais ao redor do mundo (BALDECK et al., 2013).

Atributos do solo são capazes de influenciar o crescimento, a distribuição e a abundância de espécies florestais. Essas espécies têm preferências ecológicas distintas por propriedades específicas do solo. Isso se relaciona com a variação dos seus traços funcionais, fazendo com que estejam distribuídas de acordo com as suas necessidades intrínsecas (JOHN; DALLING; HARMS, 2007; DUBUIS et al., 2012; SARCINELLI et al., 2012).

Nos ecossistemas florestais, geralmente os solos são encontrados no seu estado natural, com características físicas (textura, estrutura, permeabilidade, densidade e porosidade) desejáveis para o desenvolvimento e estabelecimento da vegetação. Isso permite que grande volume de solo seja explorado pelas raízes das plantas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000).

A textura do solo está entre os atributos físicos com impacto direto no crescimento e desenvolvimento das plantas, porque pode facilitar ou limitar o crescimento das raízes. A textura interfere diretamente em outros atributos físicos do solo, influenciando na quantidade de água, oxigênio e nutrientes disponíveis (DUBUIS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; MENDES et al., 2018).

Em função da variabilidade dos solos, verifica-se que as espécies que exigem solos mais férteis e úmidos possuem preferência por solos com textura média. As espécies menos exigentes predominam em solos mais arenosos (TAVARES et al., 2019).

Nos solos de textura média, o percentual de argila interfere diretamente no complexo argilo-húmico e na fertilidade do solo (DUBUIS et al., 2012). Enquanto os solos arenosos costumam ser mais bem drenados e caracterizados por uma menor retenção de nutrientes. Nessas condições, as raízes têm mais facilidade de penetrar no solo, resultando em maior crescimento e desenvolvimento (MENDES et al., 2018).

Por outro lado, a variação quanto aos níveis de acidez no solo, principalmente nas florestas tropicais úmidas, pode influenciar diretamente na ocorrência de determinadas espécies. A acidez em solos está associada à redução na disponibilidade de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e P , além de acarretar maior solubilização de Al^{+3} e dos micronutrientes catiônicos Fe , Cu , Mn e Zn . Esses micronutrientes, em elevada

disponibilidade, podem se tornar tóxicos para as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; JOHN et al., 2007; DUBUIS et al., 2012).

Espera-se que espécies com baixa necessidade nutricional tenham bom crescimento e desenvolvimento em solos ácidos, frequentemente de baixa fertilidade (BRAGA; BORGES; MARTINS, 2015; SANTOS et al., 2020). Em contrapartida, se os nutrientes do solo não são limitantes, as espécies capazes de assimilar esses nutrientes rapidamente e convertê-los em biomassa possuem vantagem competitiva em relação as espécies menos eficientes. Espécies generalistas, que são capazes de crescer sob uma ampla variação de condições do solo, são menos afetadas por fatores edáficos (DUBUIS et al., 2012).

Crespo-Mendes et al. (2019), estudando a relação entre a riqueza de espécies de plantas tropicais e o pH do solo no Brasil, observaram que os biomas são caracterizados por diferentes ecorregiões. Essas ecorregiões têm valores de pH ótimo distintos para a distribuição da riqueza de espécies, indicando que a diminuição ou o aumento do pH pode proporcionar redução no número de espécies que ocorrem nessas áreas. Os autores relataram que alguns desses biomas podem incluir várias ecorregiões com diferentes valores de pH, como as florestas tropicais úmidas e subtropicais, que apresentam alta variabilidade de pH ótimo entre as ecorregiões agrupadas. É importante ressaltar que as diferenças observadas em nível de ecorregião não são observadas em nível de bioma.

O pH do solo é fator fundamental na distribuição de espécies florestais, porque influi na disponibilidade de nutrientes e elementos tóxicos. Variações nas concentrações e equilíbrio iônico no solo impactam diretamente no crescimento das plantas e, conseqüentemente, na formação de comunidades vegetais (JOHN et al., 2007; DUBUIS et al., 2012; MENDES et al., 2018).

Botrel et al. (2002) avaliaram a influência do solo e da topografia nas variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Ingaí, estado de Minas Gerais. Os autores observaram dominância ecológica mais intensa nos solos com menor disponibilidade de água e nutrientes. Além disso, relataram também que nas florestas tropicais, de modo geral, é comum que a dominância ecológica seja mais pronunciada nos extremos de baixa ou alta disponibilidade de água e nutrientes do solo. Assim, a maior diversidade de espécies é encontrada em áreas sob condições intermediárias.

Pedro, Lima e Meira Neto (2020) avaliaram a relação existente entre o gradiente pedológico e a abundância de espécies lenhosas no Cerrado brasileiro. Os autores observaram que, conforme ocorre à diminuição do teor de nutrientes, ocorreram alterações no gradiente vegetacional. Foram relatadas mudanças no gradiente pedológico quando a cobertura do solo foi alterada de savana florestada para vegetação de pequeno porte, arbustos espaçados e campo sujo, indicando que o gradiente pedológico influencia na dinâmica vegetacional. Além disso, os autores constataram a existência de uma relação negativa entre os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nesses ambientes com o teor de Al^{3+} . Quanto maior o teor desses nutrientes no solo, menor o teor de Al^{3+} .

Ao estudar três áreas distintas de floresta tropical, John et al. (2007) observaram que os nutrientes do solo influenciaram na distribuição espacial de espécies de árvores tropicais. Em floresta úmida semidecidual de várzea, no centro do Panamá, B e K^+ foram os nutrientes com maior efeito na estrutura da comunidade, seguido por N, Cu, Ca^{2+} , Zn e Mg^{2+} . No Parque Nacional de Yasuní, no Equador, Ca^{2+} e Mg^{2+} , foram os nutrientes que tiveram maior efeito, seguidos por Al^{3+} , K^+ e Zn. Enquanto em floresta Montana na Reserva Natural La Planada, na Colômbia, K^+ , P, Fe e N mostraram maiores efeitos na estrutura da comunidade. Os autores ressaltaram que em todas as áreas estudadas os cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) tiveram maior efeito de importância na distribuição das espécies.

Em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, no estado de Minas Gerais, as espécies *Casearia arborea*, *Ocotea laxa*, *Myrcia fallax*, *Siparuna guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Matayba elaeagnoides*, *Sparattosperma leucanthum* e *Protium warmingianum* foram mais abundantes em solos mais ácidos e com maior teor de Al^{3+} . Enquanto as espécies *Anadenathera peregrina*, *Albizia polycephala*, *Astronium graveolen*, *Allophylus sericeus*, *Cecropia glaziovii*, *Croton urucurana*, *Cabralea canjerana*, *Copaifera langsdorfii*, *Nectandra saligna*, *Rolinea* sp. e *Vernonanthura difusa* ocorreram em ambiente com pH mais elevado, maior concentração de K^+ e P, bem como maiores valores de capacidade de troca de cátions efetiva e saturação por bases. Esses resultados mostraram que a fertilidade e a qualidade do solo contribuem para o estabelecimento e desenvolvimento de espécies florestais (BRAGA; BORGES; MARTINS, 2015).

Higuchi et al. (2016) avaliaram a relação entre a florística e a estrutura do componente arbóreo com variáveis ambientais em um remanescente de Floresta

Ombrófila Mista, em Campos Novos, no estado de Santa Catarina. Os autores identificaram um gradiente florístico estrutural relacionado à cota média (altitude), pH, saturação por bases e teor de P nos solos. As variáveis pH e saturação por bases tiveram correlação positiva e significativa entre si, sendo responsáveis por definir um gradiente de solos de maior fertilidade, onde se destacaram as espécies *Coutaria hexandra* e *Araucaria angustifolia*, enquanto que em solos mais ácidos e menos férteis, destacaram-se *Dalbergia frutescens*, *Luehea divaricata* e *Parapiptadenia rigida*. Em relação ao P, os autores observaram que as espécies *Cupania vernalis*, *Helietta apiculata* e *Casearia decandra* ocorreram de forma preferencial nos locais com maiores valores de P no solo. Por outro lado, *Lonchocarpus campestris*, *Campomanesia xanthocarpa* e *Myrsine coriacea* estiveram associadas, preferencialmente, a locais com baixos valores de P no solo.

No estado do Amapá, em fragmento de Floresta Ombrófila de Terra Firme, Santos et al. (2020) relataram que as variáveis ambientais são fatores determinantes na distribuição de espécies florestais arbóreas no tempo e no espaço, com as espécies investigadas apresentando associação, principalmente, com o pH, acidez potencial, matéria orgânica e teores de P e K⁺ no solo. Enquanto Silva et al. (2018) em fragmento de Floresta Ombrófila Densa no estado de Pernambuco, observaram como principais fatores relacionados a distribuição de espécies florestais, a acidez potencial, capacidade de troca de cátions potencial, Mg²⁺, K⁺, soma de bases, saturação por bases e saturação por Al³⁺.

Portanto, estudos realizados em ecossistemas florestais indicaram que os principais atributos químicos do solo responsáveis pela variação da distribuição das espécies dependem de onde esses biomas estão geograficamente localizados (OLIVEIRA-FILHO et al., 2001; BOTREL et al., 2002; LIMA et al., 2003; ROVEDDER et al., 2014; RODRIGUES et al., 2016; SILVA et al., 2018; CRESPO-MENDES et al., 2019; TAVARES et al., 2019; SANTOS et al., 2020). Assim, mais pesquisas devem ser realizadas em diferentes fragmentos para que se incremente o conhecimento das relações solo-floresta em remanescentes de Mata Atlântica no Brasil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Jardim Botânico do Recife (JBR), localizado à margem sul da BR-232, sudoeste do município do Recife, sob as coordenadas geográficas 08°04' e 08°05' Latitude S e 34°59' e 34°57' Longitude W, com 11,23 ha, inclusos cobertura vegetal, jardins, viveiro florestal, áreas edificadas e de visitação (Figura 1). O JBR foi criado em 1979, pelo Decreto Municipal 11.341. Atualmente, encontra-se inserido na categoria de unidade protegida do Sistema Municipal de Unidades Protegidas – SMUP (Lei Municipal 18.014/2014).

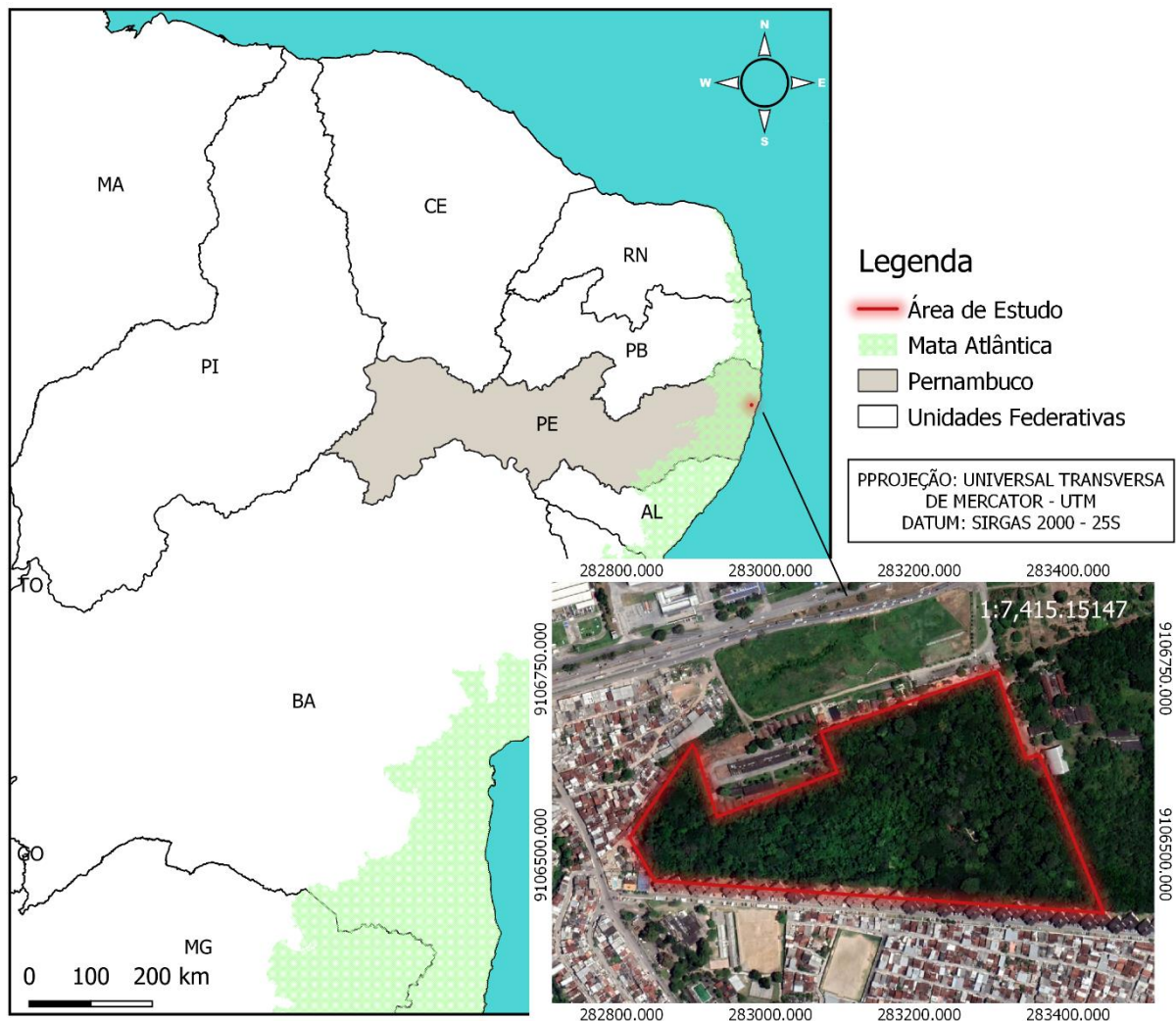


Figura 1. Localização geográfica do Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.

Fonte: Almeida (2021).

À área com cobertura vegetal no JBR corresponde a um fragmento florestal de Mata Atlântica com 10,72 ha, tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Essa tipologia florestal, em geral, ocupa planícies costeiras, ocorrendo desde a Amazônia e estendendo-se por toda a região Nordeste até o estado do Rio de Janeiro, sendo caracterizada por apresentar fanerófitos (macro e mesofanerófitos), lianas lenhosas e epífitas em abundância (IBGE, 2012).

O fragmento de Mata Atlântica do JBR é resultante da construção da BR-232, que dividiu o conjunto de fragmentos florestais conhecido como Matas do Curado. Após a fragmentação, a maior parte desse conjunto de fragmentos florestais ficou sob administração do comando do Exército Brasileiro, sendo composto por três áreas descontínuas ao longo da BR-232, que perfazem um total de 100,86 ha. Esses fragmentos estão localizados nas proximidades do Distrito Industrial do Curado, na Região Metropolitana do Recife. Em função dessa área ser relativamente populosa, o JBR sofre pressão antrópica, ocasionada pela ocupação urbana ao longo de parte de seu entorno (ALVES JUNIOR et al., 2007; PEIXE; TORRES, 2011).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Am (ALVARES et al., 2013), com estação chuvosa concentrada entre os meses de março e agosto, precipitação pluviométrica anual de 2.457 mm e temperatura mensal variando entre 20,6 e 30,2° C (APAC, 2021).

O solo predominante na área é o Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Este solo se caracteriza por apresentar horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com saturação por bases inferior a 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (SANTOS et al., 2018).

4.2 Amostragem, coleta e determinação dos atributos físicos e químicos do solo

A caracterização do solo foi realizada em amostras representativas de 40 parcelas de 10 m x 25 m (250 m²) alocadas no fragmento. As parcelas foram distribuídas sistematicamente, distanciadas 10 m entre si (Figura 2).

Para a caracterização química do solo, a amostragem foi realizada coletando-se, em cada parcela, 18 amostras simples, distanciadas de 4 m. Essas amostras foram homogeneizadas, formando uma amostra composta por parcela. Para a

amostragem na parcela, excluiu-se 1,0 m dos dois menores lados da parcela e 2,5 m dos dois maiores lados da parcela, eliminando o efeito de bordadura. Assim, a amostragem do solo foi realizada na área útil de 160 m² (8 m x 20 m) (Figura 3).

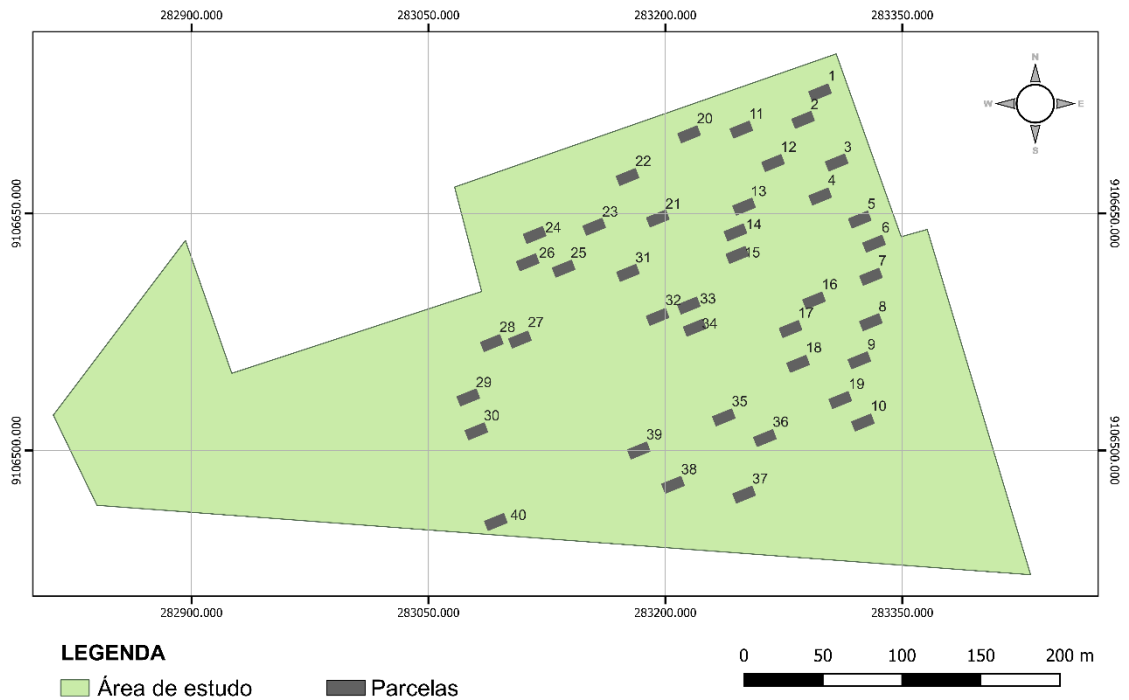


Figura 2. Diagrama esquemático da distribuição de parcelas na área do Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.

Fonte: Almeida (2021).

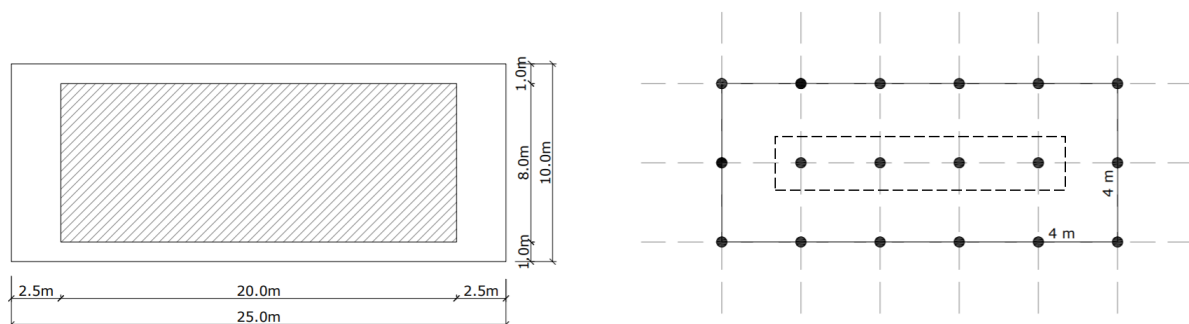


Figura 3. Croqui demonstrativo da área útil de cada parcela para a coleta das amostras simples e formação da amostra composta de solo por parcela.

Fonte: Almeida (2021).

As amostras para determinação dos atributos químicos foram coletadas na camada de 0-20 cm. Esta profundidade coincide com a área de maior concentração de raízes finas (OLIVEIRA-FILHO et al. 2001) e maiores teores de nutrientes, que

tendem a diminuir com o aumento da profundidade, principalmente em solos florestais (ESPIG et al., 2008a; LIMA et al., 2018a; SILVA et al., 2018). A camada de serapilheira foi desconsiderada, sendo removida em cada ponto de coleta do solo.

Após a coleta, as amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório. Foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para a realização das análises químicas do solo.

Os atributos químicos determinados foram: pH em água; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹, sendo Ca^{2+} e Mg^{2+} dosados por espectrofotometria de absorção atômica e Al^{3+} por titulação; K^+ foi extraído com solução Mehlich⁻¹ e dosado por fotometria de chama; P foi extraído pelo método da resina de troca aniônica e dosado por espectrometria UV-vísível e a acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução de acetato de amônio tamponada a pH 7,0 e dosada por titulação. Todos os atributos químicos foram determinados conforme métodos descritos por Teixeira et al. (2017). O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação, pelo método do dicromato de potássio (MENDONÇA; MATOS, 2005).

A partir dos resultados obtidos por meio das análises químicas das amostras de solo, calculou-se a soma de bases (SB), a saturação por bases (V), a saturação por Al (m), a capacidade de troca de cátions efetiva (t) e a capacidade de troca de cátions potencial (T).

As amostras para determinação dos atributos físicos foram obtidas de forma não deformada na camada de 0-5 cm nos quatro pontos centrais de cada parcela (Figura 3) e determinadas a porosidade total (Pt); macroporosidade (Map); microporosidade (Mip); resistência à penetração (RP); e densidade do solo (Ds). A textura do solo foi determinada em amostras deformadas coletadas até 20 cm de profundidade por meio da análise da composição granulométrica (teor de areia, silte e argila). Todos os atributos físicos foram determinados conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

4.3 Identificação e seleção das espécies florestais

Nas 40 parcelas de 10 m x 25 m (250 m²) distribuídas sistematicamente no fragmento foram mensurados todos os indivíduos vivos que apresentaram circunferência a 1,30 m do solo ≥ 15 cm. Após mensurados, os indivíduos foram

identificados, visando registrar seu número e táxon. Em seguida, suas localizações foram georreferenciadas.

As espécies selecionadas foram agrupadas em famílias de acordo com o sistema Angiosperm Phylogeny Group IV (2016). A sinonímia e a grafia dos táxons foram atualizadas de acordo com o índice de espécies no banco de dados da Flora do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>).

Além disso, as espécies foram classificadas quanto à origem (espécies nativas, espécies nativas endêmicas do Brasil ou exóticas oriundas de outros países); grupo ecológico (pioneira, secundária inicial e secundária tardia), seguindo a proposta de classificação sucessional sugerida por Gandolfi et al. (1995); e síndrome de dispersão de sementes (autocórica, anemocórica e zoocórica), com base nos critérios e categorias propostas por Pijl (1982).

4.4 Análise dos dados

Os atributos físicos e químicos do solo foram submetidos à análise estatística descritiva, determinando-se média, valores máximos e mínimos e coeficiente de variação (CV). O CV foi classificado com base nos critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980): $CV < 12\%$ – baixa dispersão; $12\% < CV \leq 24\%$ – moderada dispersão e $CV > 24\%$ – alta dispersão.

Esses dados também foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors ($p < 0,10$). Apenas os atributos que apresentaram distribuição normal foram selecionados. Em seguida, foi realizado o teste de multicolinearidade pelo método tradicional de análise de trilha (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Esse método verifica a presença ou ausência de dependência entre as variáveis, visando a eliminação de variáveis altamente correlacionadas entre si. O diagnóstico de multicolinearidade foi feito pelo método do fator de inflação da variância (VIF), sendo a multicolinearidade considerada quando os valores de VIF foram maiores que 10 (HAIR et al., 2009).

Após a análise de multicolinearidade, os atributos físicos e químicos do solo selecionados foram utilizados para a elaboração da matriz ambiental, que considerou os atributos do solo de cada parcela. Foram selecionados os atributos físicos: teor de areia, porosidade total, macro e microporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração. Os atributos químicos selecionados foram: pH, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , $CTC_{potencial}$ (T), (H + Al) e saturação por alumínio.

Esses dados foram submetidos a uma análise de agrupamento. O método utilizado foi o agrupamento hierárquico (CAH) e o coeficiente de similaridade adotado para o procedimento aglomerativo foi o de Ward. No entanto, como a partir do CAH não é possível identificar quais atributos influenciam na formação de grupos, foi realizada a análise de componentes principais (ACP), com rotação varimax, por ser considerada de grande eficiência para explicar a variação de dados ambientais (RODRIGUES et al., 2007).

O IQS foi obtido segundo o procedimento proposto por Cavalcante et al. (2021), em que um conjunto mínimo de dados foram selecionados por meio de uma série de métodos estatísticos uni e multivariados. Assim sendo, os atributos do solo selecionados por meio da análise de multicolinearidade foram submetidos a ACP, visando selecionar indicadores apropriados e como método de extração dos fatores de ponderação (KARLEN; STOTT, 1994; BREJDA et al., 2000; MUKHOPADHYAY et al., 2016).

Para interpretação foram utilizados apenas os fatores com autovalores $\geq 1,0$ em pelo menos 5% da variação dos dados (BREJDA et al., 2000; SHARMA et al., 2005; MUKHOPADHYAY et al., 2016). Isso explica mais da variação total dos dados do que um único atributo. Os fatores retidos foram submetidos à rotação varimax para maximizar a relação entre os atributos interdependentes, o que facilita a interpretação (MINGOTI, 2007). Em cada componente principal, apenas as variáveis com altas cargas fatoriais foram retidas, ou seja, aquelas com valores absolutos dentro de 10% da maior carga fatorial (ANDREWS et al., 2004). As cargas fatoriais rotacionadas dos atributos selecionados foram utilizadas no cálculo dos pesos relativos dos atributos do IQS, conforme equação sugerida por Andrade et al. (2005):

$$W_i = \frac{F_1 P_{1i} + F_2 P_{2i}}{(\sum_{j=1}^n F_1 P_{1j}) + (\sum_{j=1}^n F_2 P_{2j})}$$

Em que:

W_i : peso relativo do atributo na i -ésima variável que compõe o IQS;

F_{1i} e F_{2i} : autovalor das componentes principais;

P_i : carga fatorial rotacionada do atributo na i -ésima variável;

P_j : carga fatorial rotacionada do atributo na j -ésima variável;

i e j : índices para as variáveis;

n : número de variáveis envolvidas na ACP.

Após a seleção dos indicadores, os valores foram normalizados por meio de uma padronização relativa a ser incluído no IQS, transformando-se em escores dos indicadores (S), que variam de 0 a 1, de acordo com Liebig, Varvel e Doran (2001) e Bhardwaj et al. (2011). Os indicadores foram ranqueados em ordem ascendente ou descendente, considerando que o valor mais alto pode ser prejudicial ou benéfico, respectivamente, a depender das funções do solo. Para indicadores do tipo “mais é melhor”, cada observação foi dividida pelo maior valor observado, de modo que o valor mais alto recebeu o escore 1,0. Para indicadores do tipo “menos é melhor”, o menor valor observado (no numerador) foi dividido por cada observação (no denominador), de modo que o valor mais baixo recebeu o escore 1,0. Para aqueles indicadores onde nem mais alto é melhor nem mais baixo é melhor (“ótimo”), as observações foram pontuadas como “mais é melhor” até um valor limite e então pontuadas como “menos é melhor” acima deste valor (Liebig et al., 2001). O IQS foi determinado pela expressão:

$$IQS = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)$$

Em que:

IQS: é um número entre 0 e 1;

W_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1;

S_i : escore do i -ésimo indicador, um número entre 0 e 1. No modelo, maiores índices indicam melhor qualidade do solo ou maior desempenho da função do solo.

Os dados do IQS obtidos para cada unidade amostral foram submetidos à análise de variância de classificação simples (One-way ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Para verificar a correlação entre os atributos do solo e a distribuição de espécies florestais arbóreas, foram consideradas apenas as espécies com densidade absoluta ≥ 10 indivíduos. Espécies raras ou menos abundantes contribuem pouco para a análise dos dados, aumentam o volume de cálculos e os erros de interpretação (OLIVEIRA-FILHO et al. 2001; BOTREL et al. 2002; SANTOS et al., 2004; RODRIGUES et al., 2007; CAMARGOS et al., 2008; HIGUCHI et al., 2012; TAVARES et al., 2019; AMARAL et al., 2020).

A fim de identificar a existência de similaridade florística entre as parcelas, a matriz de vegetação elaborada, considerando a densidade das espécies selecionadas por parcela, foi submetida a análise de agrupamento. O método utilizado foi o agrupamento hierárquico (CAH) e o coeficiente de similaridade adotado para o procedimento aglomerativo foi o de Ward.

A hipótese formulada nesse estudo (existem variações na distribuição das espécies correlacionadas com fatores edáficos) foi investigada aplicando-se a Análise de Correspondência Canônica (ACC), utilizando-se a matriz de vegetação e a matriz ambiental pré-elaboradas. O nível de significância do principal eixo de ordenação canônica foi avaliado pelo teste de permutação de Monte Carlo (TER BRAAK; PRENTICE, 1988). Para confirmar os padrões indicados na ACC, aplicou-se a Análise de Correlação Canônica (CCorA), tendo como base as matrizes de vegetação e os atributos do solo utilizados na ACC.

A caracterização da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo e das espécies florestais que tiveram correlação foi realizada utilizando a análise geoestatística (VIEIRA et al., 1983). Os dados foram submetidos à análise de semivariância, objetivando compreender a variabilidade espacial das variáveis. Sob a teoria da hipótese intrínseca, estimou-se o semivariograma experimental pela equação (TRANGMAR; YOST; UEHARAA, 1986):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

Em que:

$\hat{\gamma}(h)$: semivariância estimada a partir de dados experimentais;

$N(h)$: número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$: valor da variável na posição x_i ;

$Z(x_i+h)$: valor da variável na posição $x_{(i+h)}$;

i : posição da amostra;

h : distância entre duas amostras.

O semivariograma teórico foi obtido ajustando-se os valores calculados do semivariograma experimental a um modelo matemático (Esférico, Exponencial ou Gaussiano), com base nos parâmetros efeito pepita (C_0), variância estrutural (C),

patamar ($C_0 + C$) e alcance (a). O C_0 corresponde ao valor da semivariância para uma distância maior do que zero e menor do que a menor distância de amostragem, indicando o componente da variação ao acaso; a C é obtida através da diferença entre o patamar e o efeito pepita, representando a semivariância estruturada espacialmente; o patamar ($C_0 + C$) indica o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante e o alcance (a) corresponde a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (TRANGMAR; YOST; UEHARAA, 1986).

A escolha dos modelos teóricos foi efetivada observando-se a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), o maior coeficiente de determinação (R^2) e, posteriormente, o maior coeficiente de correlação entre dados obtidos pela técnica de validação cruzada e dados reais. A validação cruzada foi realizada utilizando o critério de Jack-Knifing (VAUCLIN et al., 1983). Nesse método, erro com média próxima a zero e erro padrão próximo a um representam a melhor qualidade de ajuste.

O grau de dependência espacial (GDE) das variáveis foi determinado a partir da análise de semivariogramas. Os valores obtidos foram classificados de acordo com Cambardella et al. (1994), que considerada GDE forte quando os semivariogramas apresentam efeito pepita menor ou igual a 25%; moderada quando está entre 25% e 75% e fraca quando superior a 75%.

Após verificado o GDE para os atributos físicos e químicos do solo e das espécies florestais, os dados foram interpolados por krigagem, utilizando-se os parâmetros dos semivariogramas (modelo ajustado, efeito pepita, variância estrutural e alcance), seguido da elaboração de mapas temáticos de distribuição espacial.

A interpolação por krigagem consiste em um método de estimação linear e local, que busca minimizar o erro de estimação sem viés. A espacialização foi realizada considerando o campo de amostragem e os pontos que não foram mensurados, gerando estimativas a partir das amostras analisadas (SCHOSSLER et al., 2019).

Os dados foram analisados utilizando o *software* para Microsoft Excel XLSTAT (versão 2020.4.1.1016) (ADDINSOFT, 2020). A análise geoestatística foi realizada utilizando o *software* GS+, enquanto para a construção dos mapas de krigagem foi utilizado o *software* Surfer versão 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Espécies florestais

A matriz de vegetação foi composta por 18 espécies nativas, 5 espécies nativas endêmicas do Brasil e uma espécie exótica oriunda de outro país, totalizando 24 espécies arbóreas, que representaram 79,34% do total de indivíduos amostrados. Essas espécies estão distribuídas em 20 gêneros e 13 famílias botânicas, sendo as mais representativas em número de espécies Moraceae (5) e Sapotaceae (3), seguidas por Anarcadiaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Malvaceae, apresentando duas espécies cada, enquanto as demais famílias foram representadas por apenas uma única espécie (Tabela 1).

Tabela 1. Relação das famílias e espécies florestais selecionadas para compor a matriz de vegetação, nome popular, densidade absoluta (DA), local de origem (LO), grupo ecológico (GE) e síndrome de dispersão (SD)

Família/Espécie	Nome popular	DA	LO	GE	SD
Anarcadiaceae					
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Cupiúba	16	N	ST	NC
<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Caboatão-de-leite	35	N	SI	ZOO
Araliaceae					
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.	Sambaquim	20	N	SI	ZOO
Arecaceae					
<i>Bactris ferruginea</i> Burret	Coco-de-fuso	12	NEB	ST	ZOO
Burseraceae					
<i>Protium giganteum</i> Engl.	Amescla-gigante	36	N	ST	ZOO
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Amescla-de-cheiro	78	N	SI	ZOO
Euphorbiaceae					
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Seringueira	31	N	ST	AUT
<i>Mabea piriri</i> Aubl.	Canudo-de-cachimbo	18	N	P	AUT
Fabaceae					
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	Pau-ferro-da-mata	55	N	SI	ZOO
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	Visgueiro	51	N	ST	AUT
Lecythidaceae					
<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers	Imbiriba	17	NEB	P	AUT
Malvaceae					
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	Munguba	12	N	ST	ANE
<i>Luehea ochrophylla</i> Mart.	Açoita-cavalo	11	N	SI	ANE
Melastomataceae					
<i>Miconia affinis</i> DC.	Tinteiro	17	N	SI	ZOO
Moraceae					
<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Jaqueira	105	EX	NC	AUT
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Quirí	23	N	ST	ZOO
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Quirí	24	N	SI	ZOO
<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby	Amora-da-mata	177	N	SI	ZOO

Tabela 1. Relação das famílias e espécies florestais selecionadas para compor a matriz de vegetação, nome popular, densidade absoluta (DA), local de origem (LO), grupo ecológico (GE) e síndrome de dispersão (SD)

<i>Sorocea hilarii</i> Gaudich.	Pau-tiú	10	NEB	SI	ZOO
Rubiaceae					
<i>Alseis pickelii</i> Pilg. & Schmale	Goiabinha	11	NEB	SI	ANE
Sapindaceae					
<i>Cupania impressinervia</i> Acev.-Rodr.	Caboatã-de-rego	12	NEB	SI	ZOO
Sapotaceae					
<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D.Penn.	Leiteiro	14	N	SI	ZOO
<i>Pouteria durlandii</i> (Standl.) Baehni	Abriçó-da-mata	39	N	NC	NC
<i>Pouteria grandiflora</i> (A.DC.) Baehni	Guapeba	21	N	SI	ZOO

N = nativa; NEB = nativa endêmica do Brasil; EX = exótica; P = pioneira; SI = secundária inicial; ST = secundária tardia; NC = não classificada; ANE = anemocórica; AUT = autocórica; ZOO = zoocórica.

Essas famílias são comumente citadas em trabalhos avaliando a composição florística do componente arbóreo e da regeneração natural em fragmentos de Mata Atlântica no estado de Pernambuco (APARÍCIO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011; LIMA et al., 2019b; SILVA et al., 2019).

As espécies que apresentaram maior abundância foram *Helicostylis tomentosa*, *Artocarpus heterophyllus*, *Protium heptaphyllum*, *Dialium guianense*, *Parkia pendula*, *Pouteria durlandii*, *Protium giganteum* e *Thyrsodium spruceanum*. De maneira geral, são espécies comumente encontradas no componente arbóreo, bem como na regeneração natural em fragmentos de Mata Atlântica de Pernambuco, com a abundância variando entre os fragmentos (APARÍCIO et al., 2011; LIMA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; LIMA et al., 2019; SILVA et al., 2019).

É importante destacar a presença de *Artocarpus heterophyllus* entre as espécies de maior abundância no fragmento, conhecida popularmente como jaqueira. Essa espécie representa a única espécie exótica oriunda de outro país. É nativa da Índia e está entre as primeiras espécies que foram introduzidas no Brasil na região da Mata Atlântica. Devido ao seu elevado potencial de dispersão, germinação e estabelecimento passou a ser considerada uma espécie exótica invasora, estando entre as mais relevantes na Floresta Ombrófila Densa (ABREU; RODRIGUES et al., 2010; ZENNI; ZILLER, 2011; BERGALLO et al., 2016).

A espécie *Hevea brasiliensis*, apesar de ser nativa do Brasil, ocorre naturalmente na região Amazônica (GONÇALVES; CARDOSO; ORTOLANI, 1990).

Portanto, assim como a *Artocarpus heterophyllus* foi introduzida de forma antrópica no fragmento florestal, sugerindo ser um fragmento de muita influência antrópica.

Com relação a síndrome de dispersão, predominaram as espécies zoocóricas (58,33%), seguido das autocóricas (20,83%), anemocóricas (12,5%) e não classificadas (8,33%) (Tabela 1). A síndrome de dispersão varia de acordo com a tipologia florestal e o estágio sucessional. Nas Florestas Ombrófilas a proporção de espécies com síndrome de dispersão zoocórica pode ultrapassar 80%. Além disso, essa proporção tende a ser maior nas florestas preservadas e em estágio sucessional mais avançado. Isso ocorre porque a fauna dispersora é susceptível a perturbações antrópicas (CARVALHO, 2010). Desse modo, apesar da influência antrópica que foi identificada, devido à inserção de espécies exóticas, o fragmento florestal estudado apresenta indícios de preservação, bem como de estágio sucessional mais avançado.

A análise de agrupamento hierárquico (CAH) - tendo como base a densidade das espécies selecionadas constatou a formação de dois grupos de parcelas, sendo o primeiro e o segundo grupo formados por 09 e 31 parcelas, respectivamente (Figura 4). Isso indica que as parcelas que compõem ambos os grupos, apresentaram maior similaridade florística entre si.

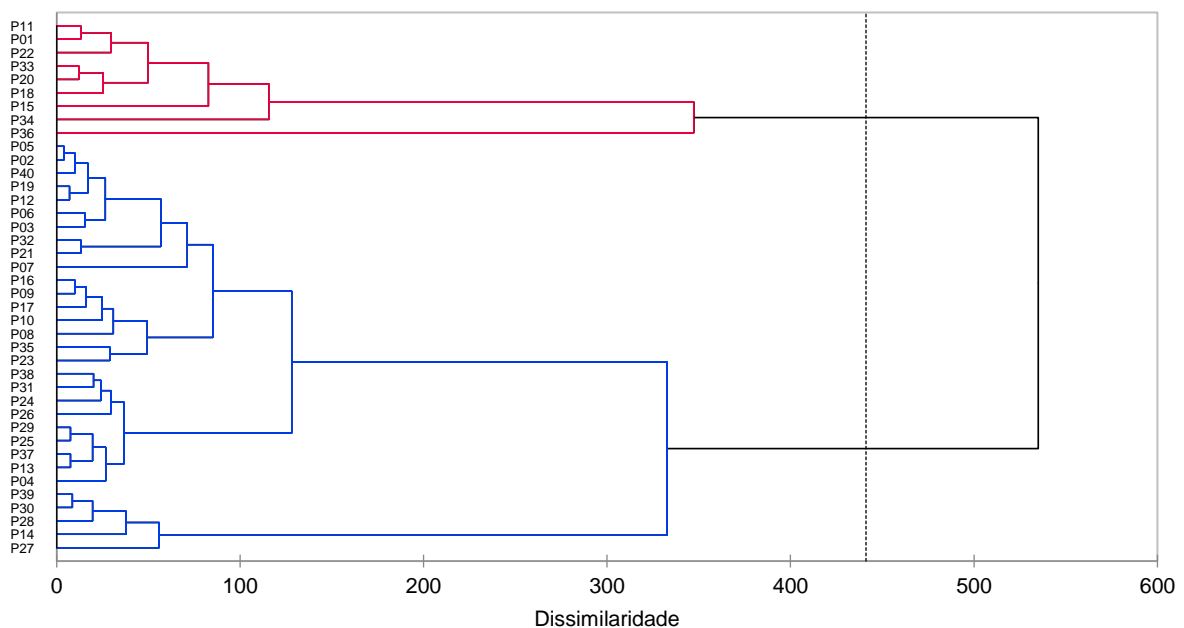


Figura 4. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, com base na densidade das espécies.

As espécies encontradas em maior abundância no primeiro grupo foram *Artocarpus heterophyllus*, *Hevea brasiliensis*, *Helicostylis tomentosa*, *Protium heptaphyllum* e *Dialium guianense*. No segundo grupo, as espécies que tiveram maior abundância foram *Helicostylis tomentosa*, *Protium heptaphyllum*, *Parkia pendula*, *Dialium guianense*, *Pouteria durlandii*, *Thyrsodium spruceanum*, *Protium giganteum* e *Artocarpus heterophyllus*. Destaca-se que todas as espécies ocorreram em maior abundância no segundo grupo de parcelas, exceto *Artocarpus heterophyllus* e *Hevea brasiliensis*, que predominaram no primeiro grupo. Isso pode ter influenciado na formação desses dois grupos.

5.2 Atributos físicos do solo

A análise granulométrica das amostras de solo do fragmento florestal demonstrou predomínio da fração areia (67,97%), seguido das frações argila (22,96%) e silte (9,06%) (Tabela 2). Esse padrão se assemelha ao encontrado em estudos que avaliaram a composição granulométrica do solo em ecossistemas florestais associados à Mata Atlântica (BOTREL et al., 2002; ESPÍRITO-SANTO et al., 2002; DIAS et al., 2003; BRAGA et al., 2015; MARTINS et al., 2015; LIMA et al., 2018a; SILVA et al., 2018).

Tabela 2. Atributos físicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil

Parcela	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	Macro	Micro	RP
	(%)			g cm ⁻³	(cm ⁻³ cm ⁻³)		Mpa	
P01	70,59	11,20	18,22	1,40	0,53	0,12	0,29	1,03
P02	64,50	12,47	23,03	1,44	0,53	0,11	0,32	0,69
P03	64,42	13,43	22,14	1,45	0,52	0,08	0,35	1,04
P04	65,28	8,52	26,19	1,38	0,53	0,10	0,33	0,76
P05	65,70	3,04	31,26	1,36	0,52	0,12	0,28	0,70
P06	68,48	9,26	22,25	1,53	0,42	0,08	0,27	1,04
P07	69,00	12,58	18,41	1,40	0,52	0,09	0,31	0,90
P08	70,81	10,92	18,27	1,64	0,47	0,07	0,32	0,96
P09	71,21	3,36	25,43	1,58	0,44	0,08	0,29	1,00
P10	66,04	12,80	21,16	1,45	0,45	0,08	0,30	1,21
P11	67,67	6,85	25,48	1,59	0,44	0,07	0,30	0,99
P12	67,61	11,17	21,22	1,43	0,45	0,08	0,30	1,05
P13	65,28	6,96	27,76	1,47	0,47	0,08	0,31	0,96
P14	62,84	6,75	30,41	1,36	0,50	0,11	0,32	0,92
P15	67,19	10,51	22,30	1,49	0,47	0,09	0,31	0,83
P16	68,99	10,80	20,22	1,59	0,45	0,08	0,29	0,81
P17	69,89	10,95	19,16	1,61	0,36	0,07	0,31	0,91
P18	71,00	7,72	21,28	1,44	0,41	0,09	0,30	0,92

Tabela 2. Atributos físicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil

P19	70,20	10,69	19,11	1,59	0,49	0,08	0,32	0,97
P20	66,89	4,82	28,29	1,57	0,46	0,09	0,31	1,08
P21	69,86	13,99	16,15	1,55	0,48	0,08	0,32	0,86
P22	72,74	14,13	13,13	1,57	0,49	0,09	0,31	0,79
P23	69,66	5,29	25,04	1,58	0,47	0,09	0,31	1,10
P24	68,89	6,50	24,60	1,56	0,43	0,08	0,28	1,41
P25	67,35	10,55	22,10	1,54	0,48	0,07	0,32	1,04
P26	68,65	2,58	28,77	1,48	0,47	0,09	0,30	0,91
P27	64,62	7,35	28,03	1,41	0,50	0,10	0,32	0,80
P28	63,82	6,81	29,38	1,45	0,51	0,10	0,33	1,14
P29	69,03	8,72	22,25	1,40	0,48	0,07	0,33	1,07
P30	68,03	13,82	18,15	1,54	0,43	0,06	0,32	1,19
P31	67,40	12,49	20,12	1,51	0,47	0,06	0,34	1,01
P32	64,57	8,10	27,33	1,55	0,46	0,05	0,35	1,03
P33	69,91	5,95	24,14	1,51	0,46	0,08	0,31	0,99
P34	72,18	11,58	16,23	1,44	0,49	0,08	0,32	0,92
P35	67,81	11,57	20,63	1,45	0,47	0,07	0,32	1,31
P36	69,81	9,06	21,13	1,50	0,47	0,10	0,29	1,01
P37	65,32	12,40	22,28	1,49	0,48	0,09	0,31	1,13
P38	71,27	7,65	21,08	1,56	0,48	0,08	0,30	1,01
P39	66,44	4,30	29,26	1,44	0,52	0,09	0,34	0,88
P40	67,97	4,88	27,15	1,40	0,44	0,09	0,26	0,86
Média	67,97	9,06	22,96	1,49	0,47	0,09	0,31	0,98
V. Máx.	72,74	14,13	31,26	1,64	0,53	0,12	0,35	1,41
V. Mín.	62,84	2,58	13,13	1,36	0,36	0,05	0,26	0,69
CV (%)	3,65	36,14	18,84	5,05	7,65	18,59	6,27	15,38

Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; RP = resistência do solo à penetração.

As frações areia, argila e silte variaram entre 62,84 e 72,74%; 13,13 e 31,26% e 2,58 e 14,13%, respectivamente. O CV da fração areia foi de 3,65%, indicando baixa dispersão. Isso demonstra a uniformidade de distribuição dessa fração no solo do fragmento florestal. Enquanto as frações argila e silte apresentaram CV de 18,84 e 36,14%, que indicam moderada e elevada dispersão, respectivamente (Tabela 2).

Os solos com elevados percentuais de areia são mais bem drenados e caracterizados por uma menor retenção de nutrientes. Nessas condições, as raízes têm mais facilidade de penetrar no solo, resultando em maior crescimento e desenvolvimento (MENDES et al., 2018). Entretanto, argila e matéria orgânica representam a parte mineral e orgânica do solo mais importante, respectivamente. Essas frações possuem natureza coloidal, em função da elevada superfície

específica, com capacidade de reter cátions e água (CAMARGOS et al., 2008; RAIJ, 2011).

Assim, os coloides do solo (argila e matéria orgânica) são os principais responsáveis pela atividade química dos solos, pois apresentam balanço de cargas negativas, que podem atrair e reter as cargas positivas (TAVARES et al., 2019). Desse modo, o percentual de argila interfere diretamente no complexo argilo-orgânico e na fertilidade do solo (DUBUIS et al., 2012).

A classe textural do solo do fragmento variou entre Franco Arenosa e Franco Argilo Arenosa, que representaram 22,5 e 77,5% das amostras de solo, respectivamente. A textura é uma das propriedades mais estáveis do solo. Está entre os atributos físicos que apresentam impacto direto no crescimento e desenvolvimento das plantas, porque pode facilitar ou limitar o crescimento das raízes. A textura interfere diretamente em outros atributos físicos do solo, influenciando na quantidade de água, oxigênio e nutrientes disponíveis (DUBUIS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; MENDES et al., 2018).

A densidade do solo variou entre 1,36 e 1,64 g cm⁻³, com média de 1,49 g cm⁻³ e CV de 5,05%, que indica baixa dispersão dos dados (Tabela 2). Esses resultados assemelham-se aos obtidos por Barreto et al. (2006), Lima et al. (2018a), Cavalcanti et al. (2020) e Rocha Junior et al. (2020) em fragmentos de Mata Atlântica. Esses autores encontraram densidade do solo média de 1,10; 1,27, 1,30 e 1,26 g cm⁻³, respectivamente.

De acordo com Raij (2011), os valores mais comuns encontrados para a densidade do solo variam entre 1,0 e 1,4 g cm⁻³. A redução da densidade do solo encontra-se diretamente associada a elevação dos teores de matéria orgânica no solo. Os valores mais altos são encontrados em solos mais arenosos (> 1,5 g cm⁻³). Assim, pode-se observar que 42,5% das amostras de solo tiveram densidade do solo variando entre 1,0 e 1,4 g cm⁻³, enquanto 57,5% tiveram densidade do solo com valores acima de 1,5 g cm⁻³.

A porosidade total variou entre 0,36 e 0,53 cm³ cm⁻³, com média de 0,47 cm³ cm⁻³ e CV de 7,65%, indicando baixa dispersão. A macro e a microporosidade, que compõe a porosidade total, variaram entre 0,05 e 0,12 cm³ cm⁻³ e 0,26 e 0,35 cm³ cm⁻³, respectivamente. A média para a macroporosidade foi de 0,09 cm³ cm⁻³ e o CV de 18,59%, indicando moderada dispersão. Enquanto a média para a microporosidade foi de 0,31 cm³ cm⁻³ e CV de 6,27%, indicando baixa dispersão

(Tabela 2). Esses resultados demonstraram que, no fragmento florestal os microporos predominaram no solo. Isso pode estar relacionado a elevada quantidade de material orgânico presente na superfície do solo nos ecossistemas florestais associados a Mata Atlântica.

Coutinho et al. (2017), Cavalcanti et al. (2020) e Gotardo et al. (2020) encontraram padrão semelhante ao avaliarem as características físicas do solo em fragmentos de Mata Atlântica, com a microporosidade sendo o principal componente da porosidade total. Enquanto Rocha Junior et al. (2020) em fragmento de Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo, encontraram predomínio da macroporosidade.

A densidade e a distribuição do tamanho de poros influenciam diretamente a umidade, aeração, temperatura e resistência do solo à penetração. Esses fatores interagem e são responsáveis por regular o crescimento e a funcionalidade das raízes das plantas. Em função disso, a capacidade do solo em fornecer condição adequada para o crescimento e desenvolvimento das plantas consiste em uma forma de avaliar a qualidade física do solo (COLLARES et al., 2006).

A resistência do solo à penetração variou entre 0,69 e 1,41 Mpa, com média de 0,98 Mpa e CV de 15,38%, indicando moderada dispersão. Essa resistência do solo à penetração descreve a resistência física que o solo oferece para uma raiz em crescimento (PORTUGAL et al., 2010). Segundo a classificação da USDA (2017), em 52,4% das amostras de solo a resistência à penetração foi intermediária baixa ($0,1 < 1$ Mpa) e em 47,5% intermediária moderada ($1 < 2$ Mpa). Para Araujo, Tormena e Silva (2004), resistência do solo à penetração acima de 2 Mpa, pode indicar níveis considerados críticos ao crescimento das raízes das plantas.

Os resultados encontrados assemelham-se aos obtidos por Rodrigues et al. (2016) e Cavalcanti et al. (2020) em fragmentos de Mata Atlântica, indicando pouca restrição ao desenvolvimento das raízes das plantas em ambientes florestais. Além disso, devido a área de estudo se tratar de uma unidade protegida, o fragmento florestal permanece isolado, sendo mínimas as intervenções antrópicas. Isso permite a manutenção de características físicas (textura, estrutura, permeabilidade, densidade e porosidade) desejáveis para o desenvolvimento e estabelecimento da vegetação (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000).

O estudo dos atributos físicos do solo por meio da análise de agrupamento hierárquico (CAH), também constatou a formação de dois grupos de parcelas, sendo

o primeiro e o segundo grupo formados por 13 e 27 parcelas, respectivamente (Figura 5).

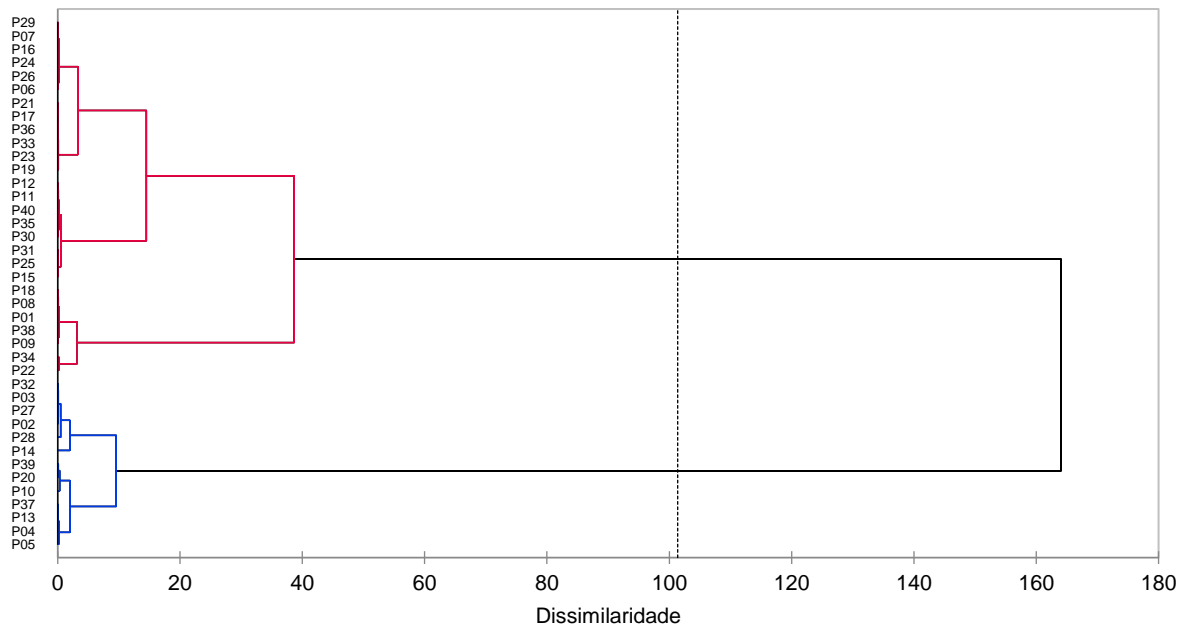


Figura 5. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, com base nos atributos físicos do solo.

Os resultados obtidos na análise de componentes principais (ACP), confirmaram a separação das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo em dois grupos (Tabela 3), além de fornecer informações sobre as relações dos grupos formados com os atributos físicos do solo.

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

Atributo do solo	CP1	CP2
Areia	0,252	-0,729
Densidade do solo	0,724	-0,378
Porosidade total	-0,638	0,559
Macroporosidade	-0,933	-0,077
Microporosidade	0,296	0,848
Resistência à penetração	0,604	0,052
Variância (%)	38,62	28,57
Variância acumulada (%)	38,62	67,19

A variância acumulada dos dois primeiros componentes principais da ACP foi de 38,62 e 28,57%, que explica 67,19% da variação dos atributos físicos do solo das

parcelas. O primeiro componente principal teve elevada correlação positiva com densidade do solo e resistência à penetração. Por outro lado, teve elevada correlação negativa com porosidade total e macroporosidade. Enquanto o segundo componente principal, teve alta correlação positiva com microporosidade e alta correlação negativa com areia (Tabela 3). Esses resultados demonstraram que o aumento da densidade do solo acarreta aumento da resistência à penetração e redução da porosidade total e macroporosidade, enquanto o aumento da microporosidade pode indicar redução do teor de areia.

A ordenação das parcelas, com base nos vetores dos atributos físicos do solo, considerando os dois primeiros componentes principais da ACP (Figura 6), demonstrou que densidade do solo, microporosidade e resistência à penetração tiveram alta correlação positiva entre si. Entretanto, a fração areia, porosidade total e macroporosidade estão correlacionados negativamente com esses atributos.

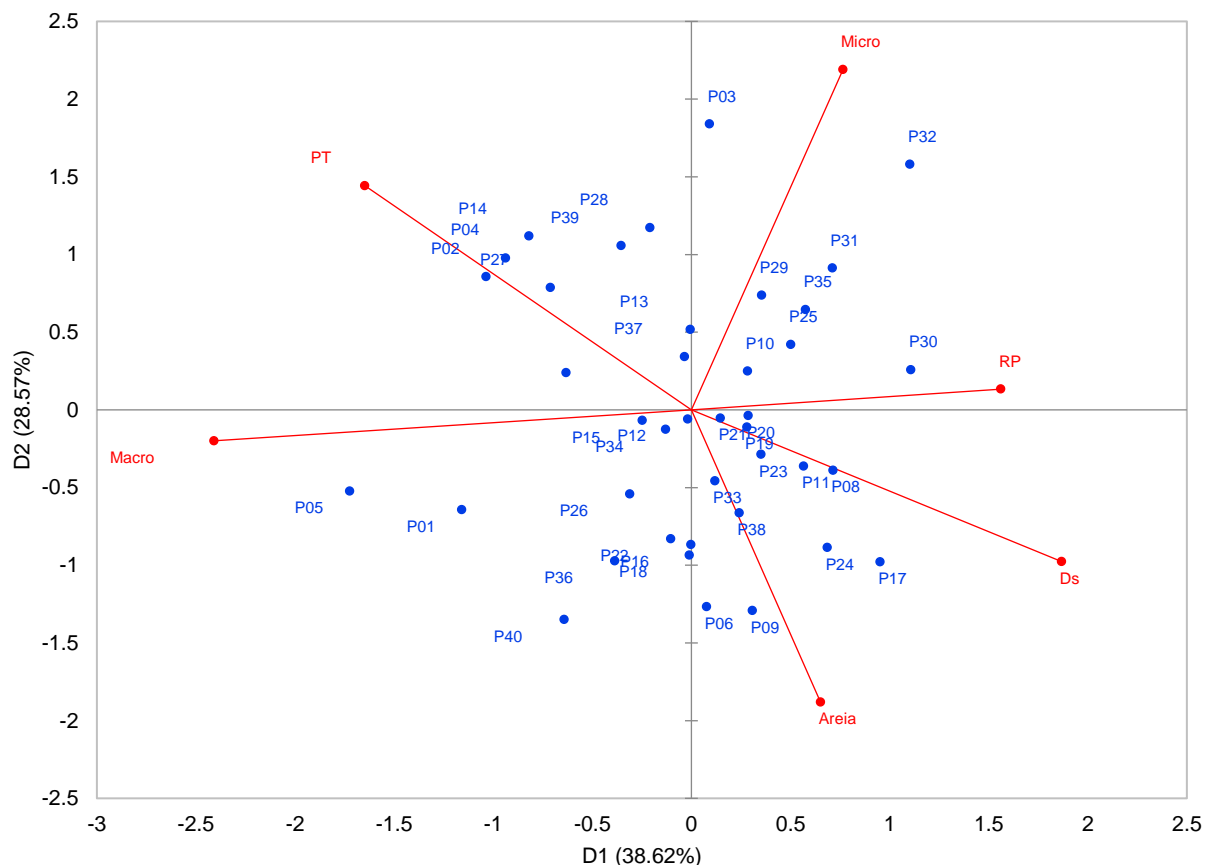


Figura 6. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) para as 40 parcelas usadas na amostragem da vegetação e solo no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, com base nos atributos físicos do solo (Ds = Densidade do solo; PT = Porosidade total; Macro = Macroporosidade; Micro = Microporosidade; RP = Resistência do solo à penetração).

Os vetores que representaram os atributos densidade do solo, microporosidade, resistência à penetração e fração areia apontaram para o lado direito do gráfico, enquanto os vetores de porosidade total e macroporosidade apontaram para o lado esquerdo do gráfico (Figura 6). Portanto, as parcelas foram divididas em áreas com maior densidade do solo, microporosidade e resistência à penetração e em áreas com maior porosidade total e macroporosidade.

Isso ocorre porque o aumento da densidade do solo influencia na redistribuição do tamanho dos poros, com redução da macroporosidade e aumento da microporosidade. À medida que a densidade do solo aumenta, a tendência é que ocorra aumento da microporosidade, que pode alcançar valores próximos ao de porosidade total (COLLARES et al., 2006; VASCONCELOS et al., 2014). Assim, o aumento da densidade e microporosidade e, conseqüentemente, redução da macroporosidade, acarreta no aumento da resistência do solo à penetração, podendo dificultar o desenvolvimento do sistema radicular.

Além disso, a variação desses atributos físicos do solo pode influenciar nos fluxos de água e nutrientes. Desse modo, o aumento da densidade do solo, microporosidade e resistência do solo à penetração dificulta os fluxos de água e nutrientes, enquanto a redução desses atributos acarreta na melhoria desses fluxos no sistema solo-planta.

5.3 Atributos químicos do solo

Os valores de pH do solo variaram entre 4,00 e 4,80, com média de 4,39 e CV de 5,62%, indicando baixa dispersão (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Barreto et al. (2006), Espig et al. (2008a), Lima et al. (2018a) e Silva et al. (2018) ao avaliarem as características químicas de solo em fragmentos de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil. Esses autores encontraram pH médio de 4,38; 4,04; 4,19 e 4,15, respectivamente.

Tabela 4. Atributos químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil

Parcela	pH 1:2,5 (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	(H + Al)	t	T	SB	P-Resina (mg dm ⁻³)	V —(%)—	m	COT (g kg ⁻¹)
		(cmol _c dm ⁻³)											
P01	4,44	5,44	1,11	0,12	0,02	1,92	6,69	8,59	6,67	4,30	77,63	0,30	21,43
P02	4,70	3,89	0,88	0,13	0,12	2,49	5,01	7,38	4,89	2,10	66,25	2,40	18,15
P03	4,45	2,65	0,74	0,14	0,17	2,76	3,69	6,28	3,52	2,20	56,12	4,60	19,43

Tabela 4. Atributos químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil

P04	4,60	2,31	0,63	0,16	0,23	2,71	3,32	5,81	3,09	2,60	53,25	6,90	18,57
P05	4,10	1,49	0,17	0,11	0,77	2,92	2,54	4,69	1,77	2,20	37,75	3,84	14,75
P06	4,10	1,87	0,42	0,14	0,67	3,15	3,10	5,59	2,43	2,10	43,58	4,61	21,08
P07	4,30	2,34	0,70	0,15	0,25	2,88	3,44	6,07	3,19	1,50	52,54	7,30	19,69
P08	4,80	4,82	1,03	0,18	0,09	2,20	6,12	8,23	6,03	2,20	73,25	1,50	13,96
P09	4,50	2,38	0,50	0,13	0,27	2,76	3,28	5,78	3,01	2,60	52,15	8,20	14,78
P10	4,00	2,06	0,26	0,12	0,82	3,49	3,26	5,93	2,44	1,90	41,19	4,28	16,76
P11	4,40	3,28	0,56	0,15	0,27	2,86	4,27	6,86	4,00	2,50	58,26	6,30	24,03
P12	4,50	3,32	1,01	0,12	0,20	3,09	4,64	7,53	4,44	3,40	58,94	4,30	23,22
P13	4,40	3,55	1,07	0,13	0,36	2,81	5,11	7,56	4,75	2,50	62,80	7,00	17,05
P14	4,80	4,46	1,05	0,18	0,05	2,91	5,74	8,61	5,69	3,50	66,16	0,90	22,13
P15	4,80	4,85	0,70	0,17	0,08	3,13	5,80	8,85	5,72	3,52	64,65	1,40	25,19
P16	4,30	3,62	0,72	0,16	0,09	2,71	4,59	7,20	4,50	2,60	62,43	2,00	23,16
P17	4,00	2,83	0,35	0,15	0,50	3,62	3,83	6,95	3,33	3,40	47,88	13,10	25,66
P18	4,20	5,18	0,52	0,15	0,24	4,20	6,08	6,82	5,84	3,22	58,18	3,90	28,03
P19	4,80	3,31	1,00	0,15	0,03	2,22	4,75	7,62	4,72	2,81	79,80	0,30	19,93
P20	4,80	4,43	0,82	0,16	0,05	2,59	5,47	8,01	5,42	4,00	67,65	0,90	17,63
P21	4,60	4,35	0,64	0,14	0,04	2,42	5,17	7,54	5,13	3,00	67,95	0,80	23,88
P22	4,39	3,64	0,74	0,15	0,01	1,92	7,31	9,22	7,30	3,30	79,16	0,10	22,75
P23	4,30	3,12	0,33	0,10	0,36	3,09	3,92	6,65	3,56	2,40	53,50	9,20	15,61
P24	4,00	2,75	0,32	0,11	0,81	3,79	3,99	6,97	3,18	3,30	45,68	2,30	21,38
P25	4,30	3,28	0,50	0,18	0,30	2,76	4,26	6,71	3,96	2,50	58,94	7,00	15,12
P26	4,20	3,28	0,40	0,11	0,36	3,15	4,15	6,94	3,79	2,90	54,60	8,70	17,67
P27	4,30	3,78	0,47	0,15	0,32	3,06	4,72	7,47	4,40	2,60	59,00	6,80	19,81
P28	4,00	3,40	0,39	0,15	0,56	3,24	4,49	7,18	3,93	3,00	54,82	12,50	23,56
P29	4,20	2,91	0,30	0,14	0,48	3,23	3,82	6,58	3,34	2,80	50,82	12,60	14,01
P30	4,20	2,60	0,34	0,14	0,41	3,21	3,50	6,29	3,09	4,30	49,20	11,70	12,99
P31	4,20	3,56	0,30	0,11	0,38	3,23	4,35	7,20	3,97	2,90	55,18	8,70	15,87
P32	4,20	3,18	0,34	0,12	0,45	3,01	4,09	6,65	3,64	2,80	54,70	11,00	12,21
P33	4,70	4,84	0,57	0,15	0,05	2,56	5,60	8,11	5,55	4,70	68,47	0,90	20,82
P34	4,37	4,32	0,97	0,18	0,02	2,01	4,27	6,02	4,25	3,10	79,90	0,20	28,30
P35	4,45	3,18	0,77	0,21	0,03	2,01	4,95	9,98	4,92	3,57	79,82	0,20	21,54
P36	4,68	3,11	0,65	0,16	0,28	0,50	5,82	9,00	5,54	3,30	70,66	6,60	29,27
P37	4,50	3,33	0,15	0,11	0,59	3,51	4,18	7,11	3,59	2,60	50,56	14,10	20,40
P38	4,60	4,12	0,33	0,11	0,13	2,45	4,69	7,01	4,56	2,70	65,04	2,80	16,64
P39	4,30	3,05	0,23	0,10	0,58	2,47	3,96	5,84	3,38	2,50	57,80	14,70	12,81
P40	4,20	5,35	0,46	0,13	0,64	4,07	6,58	6,90	5,94	2,60	59,34	9,70	29,62
Média	4,39	3,48	0,59	0,14	0,30	2,83	4,61	7,14	4,31	2,90	59,89	5,62	19,97
V. Máx.	4,80	5,44	1,11	0,21	0,82	4,20	7,31	9,98	7,30	4,70	79,90	14,70	12,21
V. Mín.	4,00	1,49	0,15	0,10	0,01	0,50	2,54	4,69	1,77	1,50	37,75	0,10	29,62
CV (%)	5,62	27,52	47,20	18,01	79,33	23,32	23,43	15,40	28,49	23,37	18,10	78,78	23,40

t = capacidade de troca de cátions efetiva; T = capacidade de troca de cátions potencial; SB = soma de bases; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; COT = carbono orgânico total.

Segundo a classificação de Alvarez V. et al. (1999), 60% das amostras de solo apresentaram acidez muito elevada ($\text{pH} < 4,5$) e 40% apresentaram acidez elevada ($4,5 < \text{pH} \leq 5,0$). No entanto, utilizando a classificação de Cunha et al.

(2019), 100% apresentaram alta acidez ($\text{pH} \leq 5,0$). Portanto, pode-se constatar que o solo do fragmento apresenta, de modo geral, reação ácida elevada.

A liberação de nutrientes utilizados pelas plantas depende da acidez do solo, principalmente para solubilização de minerais primários. Em solos pouco ácidos, a liberação de cátions básicos pode ser reduzida ou até mesmo impedida, podendo causar deficiências nutricionais nas plantas (DUBUIS et al., 2012). No entanto, a acidez muito elevada também pode causar deficiências ou excessos, porque a disponibilidade de nutrientes como P é muito dependente do pH do solo e os micronutrientes catiônicos podem se tornar tóxicos em solos muito ácidos. Além disso, a alta acidez do solo aumenta a solubilização de vários elementos, especialmente de metais como Al, que pode ser tóxico para plantas pouco adaptadas a essas condições químicas (JOHN et al., 2007; DUBUIS et al., 2012).

Nas florestas tropicais úmidas, os solos têm uma tendência natural de reação mais ácida. Isso pode ser atribuído à acentuada remoção de bases trocáveis oriundas do intemperismo de minerais primários, liberação de exsudatos ácidos pelas raízes das plantas e mineralização da matéria orgânica. Esta, por ser rica em ácidos orgânicos e fenóis, libera íons H^+ , que tendem a acidificar os solos (DIAS et al., 2003; BARRETO et al., 2006; LIMA et al., 2018a).

De acordo com Lima et al. (2018), a matéria orgânica, apesar de ser responsável pela redução do pH do solo, fornece nutrientes por meio de sua decomposição. Por outro lado, os ácidos orgânicos produzidos quelatizam os elementos com capacidade de se tornarem tóxicos, quando são encontrados no solo em elevadas concentrações. Isso demonstra que os ecossistemas naturais possuem diferentes meios para equilibrar efeitos positivos e negativos da reação do solo.

Mendes et al. (2018) ressaltaram que a matéria orgânica do solo, além de possuir a capacidade de reter nutrientes e imobilizar elementos que possam ter algum grau de toxicidade, é fonte de C orgânico de alta disponibilidade e apresenta maior capacidade de reter água. Em função disso, interfere positivamente nas propriedades biológicas, físicas e químicas do solo.

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ variaram de 1,49 a 5,44; 0,15 a 1,11 e 0,10 a 0,21 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com médias de 3,48; 0,59 e 0,14 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (Tabela 4). Esses valores foram superiores aos obtidos em estudos que caracterizaram solos de ecossistemas florestais associados à Mata Atlântica (BARRETO et al. 2006; CAMARGOS et al., 2008; ESPIG et al. 2008a; TEIXEIRA et

al., 2010; LIMA et al. 2018). Esse padrão, com o K^+ sempre nos menores teores, pode estar relacionado à mobilidade que esse elemento apresenta no solo, além de não ser componente estrutural de compostos orgânicos, sendo facilmente lixiviado (ESPIG et al., 2009).

Em estudos realizados em fragmento florestal associado à Mata Atlântica, Pinto et al. (2008) e Pinto et al. (2009) observaram que os teores dos nutrientes no solo podem variar em função do estágio sucessional da floresta. Em áreas de floresta com estágio sucessional avançado, os autores encontraram resultados que indicaram solos com melhores condições de fertilidade, com teores médios das bases trocáveis sendo similares aos obtidos nesse estudo.

Segundo Teixeira et al. (2020), isso ocorre porque os processos microbiológicos do solo relacionados à ciclagem de C e nutrientes aumentam com o envelhecimento da floresta. Os autores destacaram que, após os primeiros 15 anos de sucessão secundária esses processos tendem a se estabilizar, assemelhando-se aos de florestas primárias. Assim, teores mais elevados de nutrientes, em solos de floresta tropical úmida podem indicar a existência de uma floresta madura, evidenciando a importância da conservação dessas áreas.

De acordo com a classificação de Raij (2011), 100% das amostras de solo têm teor de Ca^{2+} alto ($> 0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O teor de Mg^{2+} foi considerado médio para 77,5% das amostras de solo ($0,5 - 0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e alto para 22,5% ($> 0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); enquanto para o K^+ , em 75% das amostras o teor foi considerado baixo ($0,08 - 0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e em 25% médio ($0,16 - 0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 4).

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram CV de 27,52 e 47,20%, respectivamente, indicando elevada dispersão, enquanto o CV do K^+ foi de 18,01%, indicando moderada dispersão (Tabela 4). A variação observada para Ca^{2+} encontra-se relacionada, principalmente, à elevação do teor desse elemento em alguns locais do fragmento. A variação nos teores de Mg^{2+} pode ser explicada pelos teores médios encontrados na maioria das regiões do fragmento. Nesse caso, um pequeno acréscimo observado em locais específicos do fragmento, resultou em uma maior variação dos dados.

A variação nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ observada no solo do fragmento pode estar relacionada à variação que foi verificada no acúmulo de material orgânico na superfície do solo do fragmento. Santos et al. (2020) observaram que matéria orgânica e pH tiveram correlação negativa, ou seja, existe uma tendência de

acúmulo de material orgânico em áreas de maior acidez do solo. Segundo Laurance et al. (1999), isso ocorre porque a maioria dos micro-organismos do solo tem um metabolismo de pH ótimo próximo à neutralidade. Assim, a elevada acidez do solo inibe a atividade desses micro-organismos, proporcionando maiores taxas de acúmulo de material orgânico, reduzindo o retorno desses nutrientes ao solo, por meio da decomposição e mineralização da serapilheira.

A toxidez causada pelo Al^{3+} também limita a atividade microbiana. Além disso, em condições de elevados teores de Al^{3+} , as plantas produzem maior quantidade de compostos fenólicos, acarretando na redução da degradabilidade do material orgânico depositado no solo. No entanto, os compostos humificados do material orgânico possuem a capacidade de complexar e remover metais como Al^{3+} . Em função disso, este elemento se torna indisponível e além de não causar toxidez, não limita a atividade microbiana (DIAS et al., 2003).

Assim, a variação dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo do fragmento, além de estarem relacionados à absorção contínua pelas plantas, encontram-se associados à expressiva camada de serapilheira acumulada em alguns locais do fragmento. Essa acumulação de serapilheira pode ser devido a maior taxa de produção de material orgânico e menor taxa de decomposição e mineralização, em função da elevada acidez do solo e teores mais altos de Al^{3+} . Isso limita a atividade microbiana, reduz a presença de complexos estáveis de Al-matéria orgânica e, conseqüentemente, o retorno de nutrientes ao solo.

Os nutrientes que são disponibilizados por meio da decomposição e mineralização da camada orgânica, formada acima do solo, são rapidamente assimilados e absorvidos pelas plantas, devido à existência de uma grande quantidade de raízes finas absorventes nesse microambiente de intensa atividade biológica (ESPIG et al., 2008a). No entanto, à medida que se observa a elevação do pH em alguns locais específicos do fragmento, os teores desses nutrientes se elevam, indicando maior equilíbrio entre as taxas de produção, decomposição e mineralização da matéria orgânica. Isso contribui diretamente com a nutrição florestal e atua no incremento dos níveis de fertilidade do solo do fragmento florestal.

Nas florestas tropicais úmidas, quando existe um equilíbrio entre as taxas de produção, decomposição e mineralização, a camada orgânica contribui consideravelmente com o aumento da fertilidade do solo. O teor de P disponível é ligeiramente elevado, assim como os teores das bases trocáveis, além de influenciar

na diminuição do teor de Al^{3+} na solução do solo. Isso contribui para o aumento da capacidade de troca de cátions e na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (BARRETO et al., 2006; CUNHA; FONTES; LANI, 2019).

O alto teor de Ca^{2+} encontrado no solo do fragmento pode estar relacionado à elevada participação deste elemento na ciclagem de nutrientes. Espig et al. (2009) e Lima et al. (2019a) ao avaliarem a ciclagem de nutrientes em fragmentos de Mata Atlântica no Estado de Pernambuco, observaram que os teores de nutrientes na serapilheira, bem como o aporte anual de nutrientes seguem, respectivamente, a seguinte ordem decrescente: $Ca > K > Mg > P$ e $Ca > Mg > K > P$. Portanto, pode-se constatar que, além do Ca^{2+} ser o cátion básico encontrado em maiores quantidades na serapilheira, é o que apresenta maior retorno ao solo.

Além disso, o elevado teor de Ca^{2+} , bem como o acréscimo no teor de Mg^{2+} , também estão relacionados à composição florística da área. Espécies como *Brosimum guianense*, *Brosimum rubescens*, *Dialium guianense*, *Eschweilera ovata*, *Helicostylis tomentosa*, *Hevea brasiliensis*, *Parkia pendula*, *Protium heptaphyllum*, *Schefflera morototoni*, *Tapirira guianensis* e *Thyrsodium spruceanum*, que foram encontradas em abundância no fragmento, apresentam elevados teores desses nutrientes nas folhas. De maneira geral, o N é o nutriente encontrado em maior quantidade e o P em menor quantidade, enquanto os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ acumulados na folha variam entre essas espécies (MENDES et al., 2012; ESPIG et al., 2008b; AMADI; IHEMEJE; AFAM-ANENE, 2018; LIMA et al., 2018b; RAULINO et al., 2020).

Esse padrão demonstra que a variação nos teores dos cátions básicos no solo também pode estar relacionada à distribuição das espécies no fragmento, que contribuem de forma diferenciada com a nutrição florestal e incrementos nos níveis de fertilidade do solo. Uriarte et al. (2015) relataram que nos ecossistemas florestais a diferenciação da distribuição espacial das espécies, bem como as particularidades que cada espécie apresenta em relação a produção e qualidade da serapilheira, podem causar heterogeneidade espacial no retorno de nutrientes ao solo da floresta.

Os valores máximos de Ca^{2+} e Mg^{2+} , assim como a menor variação dos teores desses nutrientes entre as parcelas, foram encontrados no grupo de parcelas com maior abundância de *Artocarpus heterophyllus* e *Hevea brasiliensis*. Em contrapartida, no grupo de parcelas com maior abundância das demais espécies encontradas no fragmento, com destaque para *Helicostylis tomentosa*, *Protium*

heptaphyllum, *Pouteria durlandii*, *Pouteria grandiflora* e *Dialium guianense*, observou-se maior variação dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Isso demonstra que, quanto mais diversificada for a comunidade florestal, maior será a variação do retorno dos nutrientes ao solo.

O teor de Al^{3+} encontrado no solo variou entre 0,01 e 0,82 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, com média de 0,30 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 4). De acordo com a classificação de Alvarez V. et al. (1999), 42,5% das amostras têm teores muito baixos ($\text{Al}^{3+} \leq 0,20 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), 37,5% têm teores baixos (0,21 – 0,50 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e 20% têm teores médios (0,51 – 1,00 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). O CV foi de 79,33%, demonstrando elevada dispersão dos dados (Tabela 2).

Pela elevada acidez do solo, era de se esperar que os teores de Al^{3+} fossem mais elevados do que os encontrados nesse estudo. No entanto, foram constatados elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , acarretando na diminuição da atividade do Al^{3+} , devido ao complexo de troca do solo ter sido ocupado por essas bases trocáveis. Além disso, os baixos teores de Al^{3+} obtidos também podem indicar que esse elemento está sendo quelatizado pelas substâncias húmicas liberadas por meio da decomposição da matéria orgânica (HARTWIG et al., 2007; LIMA et al., 2018a). Entretanto, em muitos estudos realizados em solos de ecossistemas florestais associados à Mata Atlântica, foram encontrados elevados teores de Al^{3+} (BARRETO et al., 2006; CAMARGOS et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2016; LIMA et al., 2018a; SILVA et al., 2018). Na maioria desses estudos, a amostragem do solo foi realizada até 10 cm de profundidade, em que os teores de Al^{3+} são normalmente mais elevados.

A saturação por alumínio (m) variou entre 0,10 e 14,70%, sendo mais alta nas unidades amostrais com os maiores teores de Al^{3+} , com média de 5,62% e CV de 78,78%, que indica ampla dispersão dos dados (Tabela 4). Com base na classificação de Alvarez V. et al. (1999), 100% das unidades amostrais tiveram saturação por alumínio (m) muito baixa. Portanto, o solo do fragmento florestal estudado pode ser classificado como não álico.

A acidez potencial (H + Al) variou entre 0,50 e 4,20 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, com média de 2,83 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e CV de 23,32%, que indica moderada dispersão (Tabela 4). Na classificação de Alvarez V. et al. (1999), os valores obtidos variam entre muito baixo ($2,5\% \leq 1 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), baixo (25% entre 1,01 e 2,50 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e médio (72,5% entre 2,51 e 5,00 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$).

Os maiores valores observados para a acidez potencial ($H + Al$) predominaram nas unidades amostrais com maior acidez ativa e maiores concentrações de Al^{+3} . Corroborando com a hipótese de que nesses pontos, devido as taxas de decomposição e mineralização do material orgânico serem inferiores à de produção, os íons liberados na camada orgânica formada acima do solo são rapidamente assimilados e absorvidos pelas plantas, reduzindo o retorno desses nutrientes ao solo, acarretando no acúmulo de íons H^+ .

Amaral et al. (2020) observaram relação semelhante. Os autores relataram que em áreas com maiores valores de acidez potencial ($H + Al$), também foram encontrados altos teores de matéria orgânica. Camargos et al. (2008) ressaltaram que os teores de ($H + Al$) do solo tiveram seus valores duplicados em áreas com teores mais elevados de matéria orgânica. Braga et al. (2015), ao caracterizarem solos em trechos de floresta inicial e avançada, relataram que os maiores teores de matéria orgânica foram encontrados no solo ácido da floresta avançada.

A soma de bases, $CTC_{efetiva}$ e $CTC_{potencial}$ variaram de 1,77 a 7,30; 2,54 a 7,31 e 4,69 a 9,98 $cmol_c dm^{-3}$, com médias de 4,31; 4,61 e 7,14 $cmol_c dm^{-3}$, respectivamente. A soma de bases apresentou CV de 28,49%, indicando elevada dispersão, que se encontra relacionada, principalmente, à ampla variação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Enquanto a $CTC_{efetiva}$ e a $CTC_{potencial}$ apresentaram CV de 23,43 e 15,40%, sendo observada moderada dispersão (Tabela 4).

Em relação à saturação por bases (V), observou-se que variou entre 37,75 e 79,79%, com média de 59,89% e CV de 18,10%, que indica moderada dispersão (Tabela 2). Segundo a classificação de Alvarez V. et al. (1999), a saturação por bases (V) das amostras de solo variou entre baixo (2,5% entre 20,1 e 40%), médio (57,5% entre 40,1 e 60%) e bom (40% entre 60,1 e 80%).

Ao considerar o requisito que classifica o solo como sendo de caráter eutrófico ($V > 50\%$) ou distrófico ($V \leq 50\%$), observou-se que, entre as unidades amostrais, apenas 15% apresentaram saturação por bases ($V\%$) inferior a 50%. Assim, o solo do fragmento florestal estudado pode ser considerado de caráter eutrófico. Isso indica que a serapilheira é responsável pela nutrição da floresta e que em alguns pontos atua no incremento dos níveis de fertilidade do solo.

Nas unidades amostrais com saturação por bases $\leq 50\%$ foram encontrados os menores valores de pH (4,0 – 4,2), indicando acidez ativa muito elevada; os

maiores teores de Al^{3+} ; e os maiores valores de saturação por alumínio (m), que apresentam influência direta na diminuição da fertilidade do solo.

John et al. (2007) observaram que valores de pH baixos resultaram em disponibilidade reduzida de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P, enquanto cátions como Al^{3+} , Cu, Mn e Zn se tornaram mais solúveis e disponíveis para absorção pela planta. Além disso, os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ tiveram, de modo geral, relação negativa com o teor Al^{3+} , ou seja, quanto maior o teor dos cátions básicos no solo, menor o teor de Al^{3+} (PINTO; LIMA; MEIRA NETO, 2020). Portanto, é esperado que em solos com acidez muito elevada prevaleçam os metais, como por exemplo o Al^{3+} , e à medida que ocorre a elevação do pH, os cátions básicos podem ser encontrados em maiores concentrações no solo.

Desse modo, o pH está entre as propriedades químicas do solo que apresentam significativa importância. O pH se relaciona diretamente com a disponibilidade de nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P) e de elementos tóxicos, como por exemplo, o Al^{3+} . Os nutrientes se tornam indisponíveis para as plantas e os elementos químicos que, em elevadas concentrações no solo podem causar toxidez às plantas, são solubilizados (LIMA et al., 2018a).

O teor de P no solo variou entre 1,50 e 4,70 mg dm^{-3} , com média de 2,90 mg dm^{-3} e CV de 23,37%, indicando moderada dispersão (Tabela 4). De acordo com a classificação de Raij (2011), 100% das amostras de solo tiveram baixo teor de P (3 – 5 mg dm^{-3}). Segundo Camargos et al. (2008), a acidez elevada dos solos está diretamente relacionada com a deficiência de P, que indica solos de baixa fertilidade.

Nas unidades amostrais com os maiores teores de P, foram observados valores mais altos de pH e baixos teores de Al^{3+} . Enquanto nas unidades amostrais com baixos valores dos teores de P, houve diminuição do pH, indicando aumento da acidez do solo e, conseqüentemente, teores mais altos de Al^{3+} . Segundo Rodrigues et al. (2016) isso ocorre porque em condições de elevada acidez, compostos de Al, Fe e Mn tornam-se bastante solúveis e, além de causarem toxidez às plantas, são responsáveis pela fixação do P e pela formação de compostos de P insolúveis no solo.

Nos ecossistemas florestais associados à Mata Atlântica, em decorrência do elevado grau de intemperismo dos solos, baixos valores de pH, associado à perda de bases trocáveis e solubilização de metais, normalmente, são encontrados baixos teores de P no solo (BARRETO et al., 2006; ESPIG et al., 2008a; CAMARGOS et al.,

2008; TEIXEIRA et al., 2010; BRAGA et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016; LIMA et al., 2018a; SILVA et al., 2018). Entretanto, Rovedder et al. (2014) sugerem que, pela dinâmica complexa desse elemento, as relações do P no solo necessitam ser melhor elucidadas, principalmente, quando se trata de solos florestais.

O COT variou entre 12,21 e 29,62 g kg⁻¹, com média de 19,97 g kg⁻¹, com CV igual a 23,40%, que indica moderada dispersão dos dados (Tabela 4). Segundo a classificação de Alvarez V. et al. (1999), os valores de COT no solo variaram entre médio (75% entre 11,7 e 23,2 g kg⁻¹) e bom (25% entre 23,3 e 40,6 g kg⁻¹). Para Silva et al. (2018) esses valores podem ser considerados altos. Os autores destacaram a capacidade do COT de exercer efeito quelante sobre o Al trocável, reforçando a hipótese para explicar os baixos teores encontrados em um solo altamente intemperizado e com elevada acidez ativa. Ademais, são resultados que se assemelham aos obtidos para o COT no solo em ecossistemas florestais associados à Mata Atlântica no nordeste do Brasil (BARRETO et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2010).

Pelo estudo dos atributos químicos do solo por meio da análise de agrupamento hierárquico (CAH), constatou-se a formação de dois grupos de parcelas, sendo o primeiro e o segundo grupo formados por 15 e 25 parcelas, respectivamente (Figura 7).

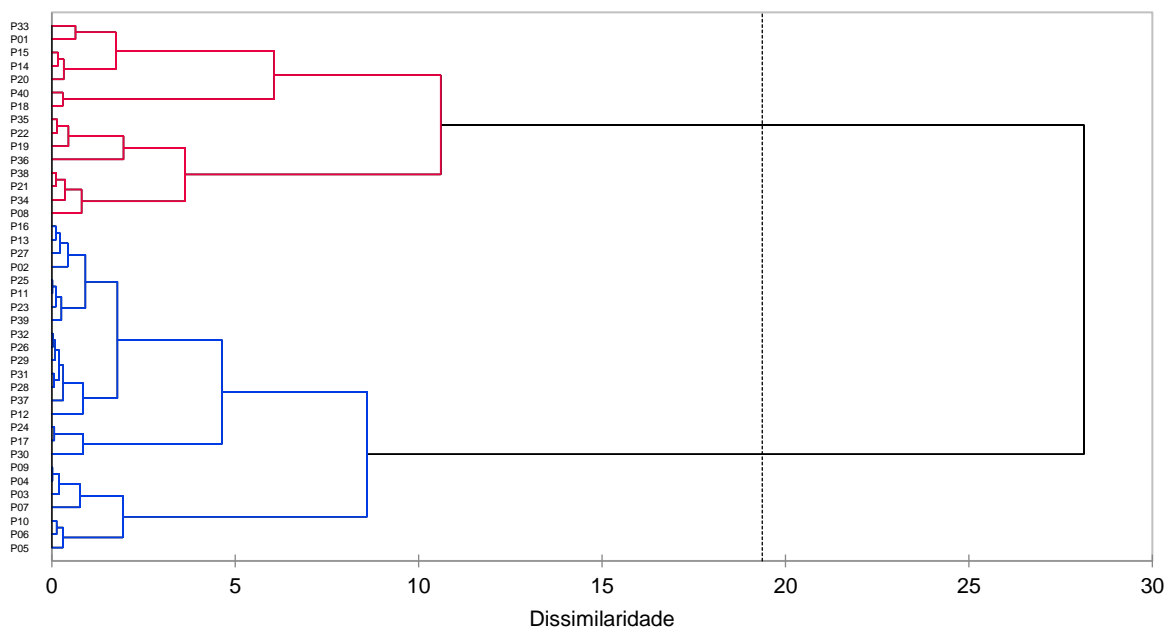


Figura 7. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (CAH) das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil, com base nos atributos químicos do solo.

Os resultados obtidos na análise de componentes principais (ACP), confirmaram a separação das parcelas utilizadas para amostragem da vegetação e do solo em dois grupos (Tabela 5), além de fornecer informações sobre as relações dos grupos formados com os atributos químicos do solo.

Tabela 5. Atributos do solo 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	0,78	0,27
P-Resina	0,05	0,84
Ca ²⁺	0,25	0,81
Mg ²⁺	0,82	0,26
K ⁺	0,62	0,20
Al ³⁺	-0,82	-0,40
(H + Al)	-0,76	0,06
T	0,50	0,68
m	-0,71	-0,24
Variância (%)	41,61	24,65
Variância acumulada (%)	46,01	66,27

T = capacidade de troca de cátions potencial; m = saturação por alumínio.

A variância acumulada dos dois primeiros componentes principais da ACP foi de 41,61 e 24,65%, que explica 66,27% da variação dos atributos químicos do solo das parcelas. O primeiro componente principal teve elevada correlação positiva com pH, Mg²⁺ e K⁺, seguido de elevada correlação negativa com Al³⁺, (H + Al) e saturação por alumínio (m). Enquanto o segundo componente principal teve alta correlação positiva com P, Ca²⁺ e CTC_{potencial} (T) (Tabela 5).

A ordenação das parcelas, com base nos vetores dos atributos químicos do solo, considerando os dois primeiros componentes principais da ACP (Figura 8), demonstrou que pH e Mg²⁺ tiveram alta correlação positiva entre si, assim como Ca²⁺ e P. Portanto, constatou-se correlação positiva entre pH, P e bases trocáveis do solo. Em contrapartida, observou-se alta correlação negativa entre (H + Al) e Al³⁺, que também estão correlacionados negativamente com pH e atributos relacionados à fertilidade do solo (P, Ca²⁺ e Mg²⁺).

Além disso, pôde-se observar que os vetores que representaram os atributos pH, Mg²⁺, Ca²⁺ e P apontaram para o lado direito do gráfico, enquanto os vetores de Al³⁺ e (H + Al) apontaram para o lado esquerdo do gráfico (Figura 8). Portanto, as parcelas foram divididas em dois grupos distintos: áreas com solos menos ácidos e

mais férteis, representados pelas parcelas que ocorrem no lado direito do diagrama de ordenação, e áreas com solos mais ácidos, em função dos teores mais elevados de (H + Al) e Al^{3+} , representados pelas parcelas que ocorrem no lado esquerdo do diagrama de ordenação.

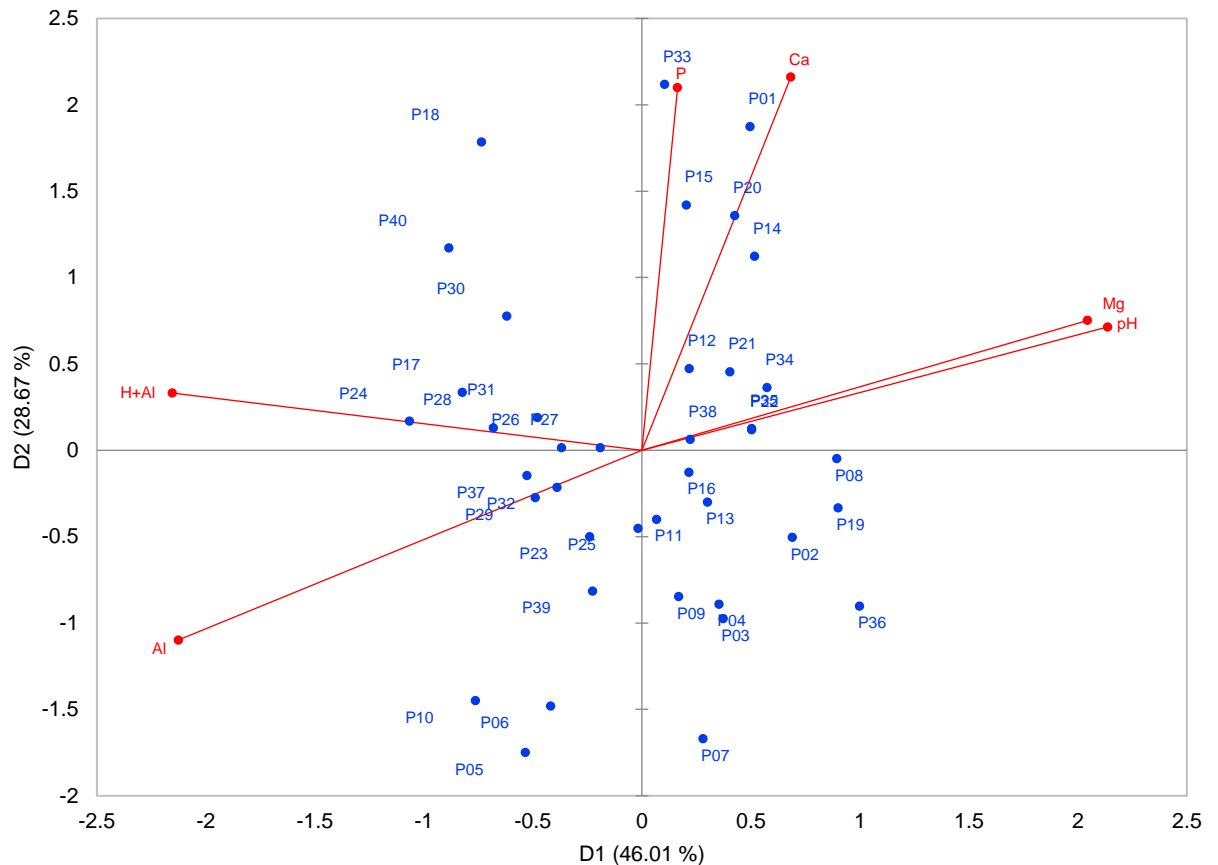


Figura 8. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais (ACP) para as 40 parcelas usadas na amostragem da vegetação e solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil, com base nos atributos químicos do solo.

Rodrigues et al. (2007) também observaram correlação positiva entre pH e bases trocáveis, bem como relação negativa entre essas bases trocáveis e Al^{3+} . O pH apresenta grande influência sobre os teores de nutrientes no solo, porque a disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e P varia em função do pH. A disponibilidade dessas bases se reduz à medida que o pH diminui e estão em maiores concentrações à medida que o pH atinge níveis próximos à neutralidade. Em contrapartida, a correlação negativa entre pH e Al^{3+} indica que em valores baixos de pH ocorre maior

solubilização de Al^{3+} no solo, que pode ser nocivo às comunidades de plantas e biota do solo (RODRIGUES et al., 2016).

Tavares et al. (2019) relataram que o pH atua como um importante fator na relação das bases do solo, enquanto o inverso ocorre com a saturação por alumínio (m). Ou seja, à medida que o complexo de troca do solo é ocupado pelas bases trocáveis, o pH aumenta e a saturação por alumínio (m) automaticamente é reduzida pela neutralização do Al^{3+} trocável, ou vice-versa.

Rovedder et al. (2014) constataram que os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , CTC's efetiva e potencial, bem como a saturação por bases (V), relacionaram-se positivamente entre si e negativamente com às características do complexo de acidez de solo [H^+ , Al^{3+} , (H + Al) e m]. Segundo os autores, esses resultados demonstraram a dinâmica natural do solo, em que os cátions que são nutrientes e a reatividade do complexo sortivo estão relacionados ao teor de matéria orgânica. Eles destacaram que essa relação é ainda mais dependente em solos com baixos teores de argila e com cobertura florestal, onde a deposição de serapilheira é fundamental para a ciclagem biogeoquímica.

5.4 Índice de qualidade do solo

O IQS baseado nos atributos físicos do solo demonstrou que a qualidade física do solo do fragmento florestal é determinada, principalmente pela macro e microporosidade (Figura 9). Esses atributos encontram-se diretamente relacionados, tendo em vista que o aumento da macroporosidade acarreta na redução da microporosidade e vice-versa.

Os macroporos permitem a movimentação de ar e a livre drenagem de água no solo, enquanto os microporos atuam na retenção de água e nutrientes (RAIJ, 2011). Portanto, ambos trazem inúmeros benefícios para o solo. A redução da macroporosidade acarreta na diminuição da aeração do solo e, conseqüentemente, da permeabilidade de água no solo, além de dificultar o crescimento das raízes das plantas. Em contrapartida, com a redução da microporosidade, ocorre a diminuição da retenção de água e nutrientes no solo, porque podem ser facilmente perdidos. Isso demonstra a importância da existência de equilíbrio entre o volume de macro e microporos.

O IQS obtido para os atributos físicos do solo variou de 0,24 a 0,33. O IQS mais elevado (0,29 a 0,33) representa as unidades amostrais com melhor qualidade

física do solo. Essas unidades amostrais foram as que tiveram acréscimos nos valores de porosidade total e macroporosidade. Segundo Rocha Junior et al. (2020), o aumento da porosidade total e macroporosidade é benéfico para a qualidade do solo.

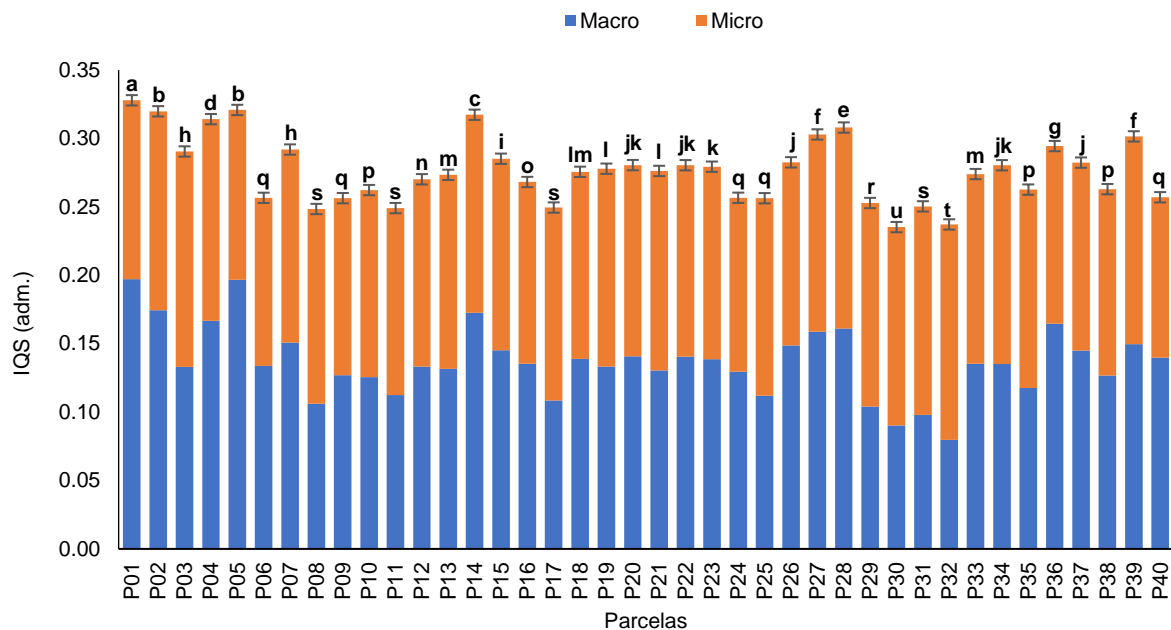


Figura 9. Índice de qualidade do solo (IQS) com base nos atributos físicos das 40 parcelas utilizadas para amostragem do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$; Tukey) entre as parcelas.

É importante destacar que a redução do volume de macroporos, bem como o aumento do volume de microporos, está relacionado ao aumento da densidade do solo. Assim, as unidades amostrais com o IQS mais elevado, tiveram os menores valores de densidade do solo. Araújo, Goedert e Lacerda (2007) relataram que a redução da qualidade física do solo está estreitamente relacionada ao aumento da densidade do solo, em função da influência que exerce sobre a porosidade e resistência do solo à penetração.

Além disso, o aumento da densidade do solo pode causar problemas relacionados a compactação. O aumento da compactação do solo, associado a perda de qualidade do solo, pode acarretar na redução da sua capacidade de fornecer serviços ambientais. Entre esses serviços destaca-se o fornecimento de habitat para os organismos do solo, condições adequadas para o crescimento das

plantas, aeração para micro-organismos e raízes e melhores condições para infiltração de água (ROCHA JUNIOR et al., 2020).

O IQS gerado com base nos atributos químicos do solo demonstrou que o pH foi o atributo que mais contribuiu com a melhoria da qualidade química do solo, seguido das bases trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e do P disponível (Figura 10).

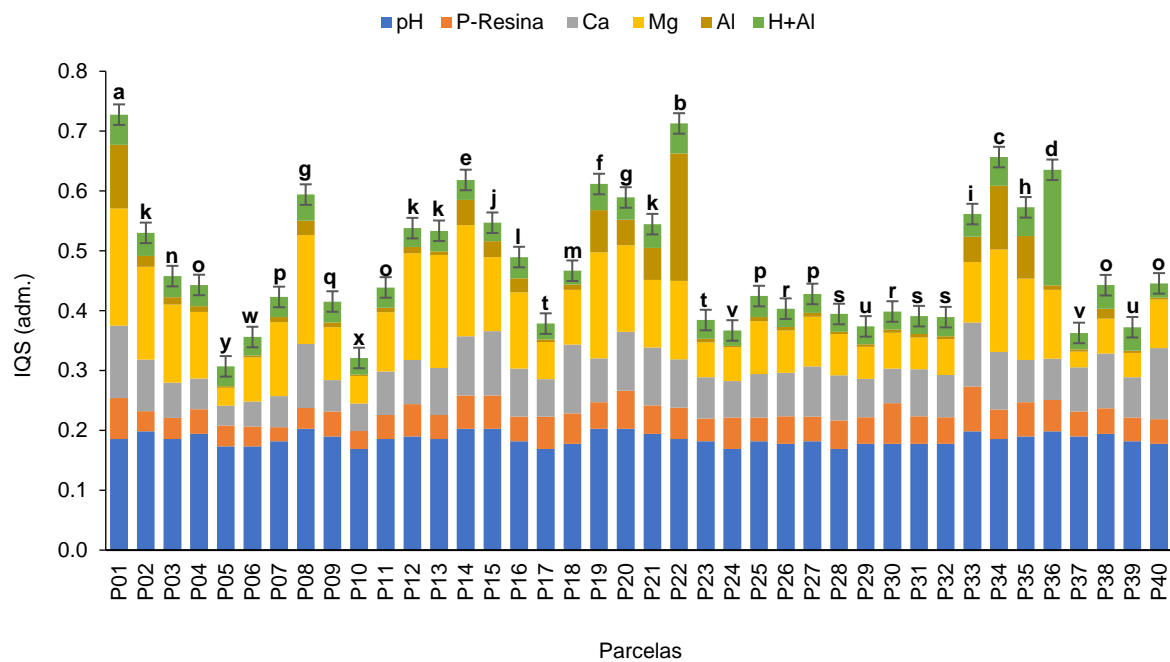


Figura 10. Índice de qualidade do solo (IQS) com base nos atributos químicos, das 40 parcelas utilizadas para amostragem do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$; Tukey) entre as parcelas.

Os valores do IQS para os atributos químicos do solo variaram entre 0,31 e 0,73. As unidades amostrais que tiveram os dez melhores IQS (0,53 a 0,73) foram as que compõem o grupo de parcelas associadas às melhores condições de fertilidade do solo. Isso indicou que valores mais altos de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P propiciaram melhorias na qualidade do solo. Em contrapartida, as unidades amostrais com os menores IQS (0,31 a 0,44) foram as que apresentaram os valores mais baixos de pH (4,10 – 4,50), teores mais altos de Al^{3+} e (H + Al). Isso demonstra que a redução do pH, associada à perda de bases trocáveis e solubilização de metais, acarretam na perda de qualidade do solo. Portanto, a manutenção da vegetação nativa é de extrema importância, pois nas áreas de floresta tropical úmida a melhoria da qualidade química do solo se encontra diretamente relacionada à ciclagem de nutrientes, porque propicia o retorno dos nutrientes ao solo.

Melo Filho, Souza e Souza (2007) em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros sob floresta natural encontraram IQS de 0,46, que indica baixa qualidade do solo para produção vegetal. Segundo os autores, o baixo IQS obtido, está relacionado ao baixo pH e elevado teor de Al^{3+} encontrado no solo.

Gonzaga et al. (2016) encontraram IQS de 0,66 em um Argissolo Amarelo distrófico sob Mata Atlântica no Estado de Sergipe, indicando qualidade moderada do solo da floresta. Os autores relataram que o valor obtido se encontra associado as limitações naturais que esse solo apresenta para o crescimento da planta, destacando-se à alta acidez e baixa fertilidade.

Rocha Junior et al. (2020) avaliando atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo em área de pastagem, cultivo de café e fragmento conservado de Mata Atlântica em diferentes posições na paisagem, concluíram que o ecossistema florestal foi o que apresentou maior qualidade do solo. Isso ocorreu devido a capacidade que o ecossistema florestal possui de manutenção dos serviços ambientais, como por exemplo, regulação do clima, ciclagem e liberação de nutrientes, prevenção de patógenos e doenças, condições adequadas para o crescimento das raízes, bem como para a absorção de nutrientes e atividade de micro-organismos.

Esse mesmo padrão foi observado por Lima et al. (2016) ao avaliarem o IQS em área de pastagem, lavouras anuais, plantio de eucalipto e mata nativa (fragmento de Mata Atlântica) na Sub-Bacia das Posses, no Estado de Minas Gerais. Os autores relataram que o melhor IQS foi obtido no fragmento de Mata Atlântica e que a substituição de áreas com mata nativa por pasto, lavouras anuais ou povoamentos de eucalipto provocou redução da qualidade do solo.

Ao considerar os atributos físicos e químicos do solo conjuntamente para a elaboração do IQS, observou-se que a PT, COT e Al^{3+} foram os fatores preponderantes para determinar a qualidade do solo do fragmento florestal (Figura 11). Resultados semelhantes foram obtidos por Bautista-Cruz et al. (2012) ao selecionarem indicadores de qualidade do solo para recuperação florestal após o desmatamento de uma Floresta Tropical Montana no México. Os atributos selecionados foram o COT, pH, P e Al^{3+} , porque exibiram diferentes taxas de mudança durante o processo de recuperação da floresta.

Os valores do IQS para os atributos físicos e químicos do solo conjuntamente variaram de 0,40 a 0,90. As unidades amostrais com os maiores valores para o IQS

(0,60 a 0,90) foram as que tiveram os menores teores de Al^{3+} e maiores valores de porosidade total e COT. Em contrapartida, as unidades amostrais com os menores valores para o IQS (0,50 a 0,40) tiveram acréscimo no teor de Al^{3+} e decréscimo no de COT. Isso indica que, quanto menor for o teor de Al^{3+} no solo e maior o de COT, implica em melhor qualidade solo. Esse padrão é observado, em função do aumento do teor de COT no solo propiciar o aumento da disponibilidade de nutrientes via ciclagem e a diminuição do teor de Al^{3+} devido ao efeito quelante do material orgânico.

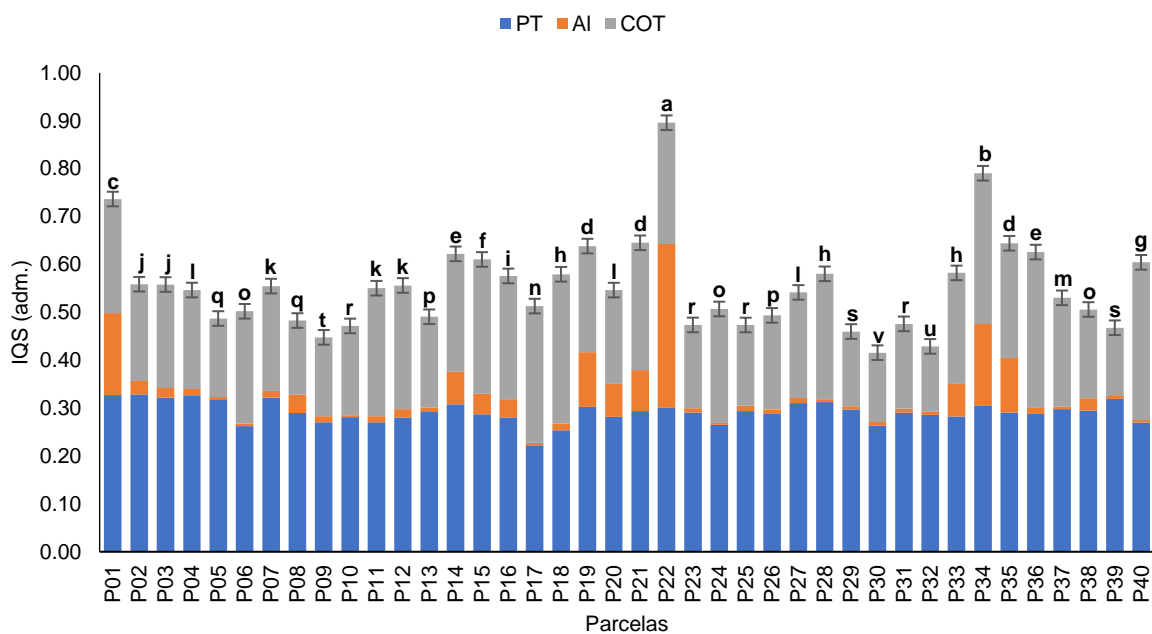


Figura 11. Índice de qualidade do solo (IQS) com base nos atributos físicos e químicos das 40 parcelas utilizadas para amostragem do solo no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. PT = porosidade total; AI = Alumínio; COT = carbono orgânico total. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$; Tukey) entre as parcelas.

O melhor IQS indica menor grau de degradação dos atributos do solo. Enquanto o IQS mais baixo pode indicar a existência de degradação. Portanto, esse índice tem o potencial de refletir o estado de conservação ou deterioração de uma área (LIMA et al., 2016). Isso permite a utilização de estratégias adequadas para manejo e conservação do solo, bem como da vegetação nativa.

No entanto, o IQS gerado é específico para cada sítio. Assim, a escolha de um conjunto padrão de atributos do solo como indicadores de qualidade do solo pode ser complexa e variar entre os ecossistemas florestais. Normalmente, estão inclusos teor de matéria orgânica, a capacidade de fornecimento de nutrientes,

acidez, densidade, porosidade e capacidade de retenção de água disponível (SCHOENHOLTZ; MIEGROET; BURGER, 2000).

5.5 Distribuição das espécies florestais e atributos do solo

Para os atributos físicos do solo, os autovalores nos dois primeiros eixos de ordenação da ACC foram 0,15 e 0,10, com o primeiro eixo explicando 33,07% e o segundo eixo 21,51% da variância. A variância total acumulada explicou 54,57% da variabilidade dos dados (Tabela 6). O teste de permutação de Monte Carlo foi significativo a 1% de probabilidade, indicando que a abundância das espécies e os atributos físicos do solo foram correlacionados com o primeiro e o segundo eixo de ordenação.

Tabela 6. Coeficientes de correlação entre os atributos físicos do solo e os dois primeiros eixos de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (ACC)

Atributo do solo	Eixo 1	Eixo 2
Areia	-0,575	-0,706
Densidade do solo	0,042	-0,786
Porosidade total	0,072	0,371
Macroporosidade	-0,508	0,695
Microporosidade	0,310	0,056
Resistência do solo à penetração	0,128	-0,344
Autovalores	0,146	0,095
Variância (%)	33,065	21,506
Variância acumulada (%)	33,065	54,571

No primeiro eixo da ACC observou-se correlação positiva apenas com a microporosidade. O segundo eixo da ACC se correlacionou positivamente com porosidade total e macroporosidade e negativamente com o teor de areia, densidade do solo e resistência do solo à penetração (Tabela 6). Esses resultados indicaram que a diferenciação das unidades amostrais e a distribuição das espécies florestais, com base nos atributos físicos do solo, estão relacionadas ao aumento ou diminuição da densidade do solo e do teor de areia, que apresentaram influência direta nos demais atributos físicos do solo (porosidade total, macro e microporosidade e resistência do solo à penetração).

Nos diagramas da ACC, elaborados com base nos atributos físicos do solo, são observadas algumas tendências (Figura 12). As espécies *Alseis pickelli*, *Brosimum rubescens*, *Eriotheca gracilipes* e *Thyrsodium spruceanum* aparecem próximas ao grupo de parcelas com valores mais altos de microporosidade.

Enquanto *Artocarpus heterophyllus*, *Cupania impressinervia*, *Eschweilera ovata*, *Helicostylis tomentosa* e *Tapirira guianensis* estão mais próximas as parcelas com valores mais altos do teor de areia, porosidade total e macroporosidade.

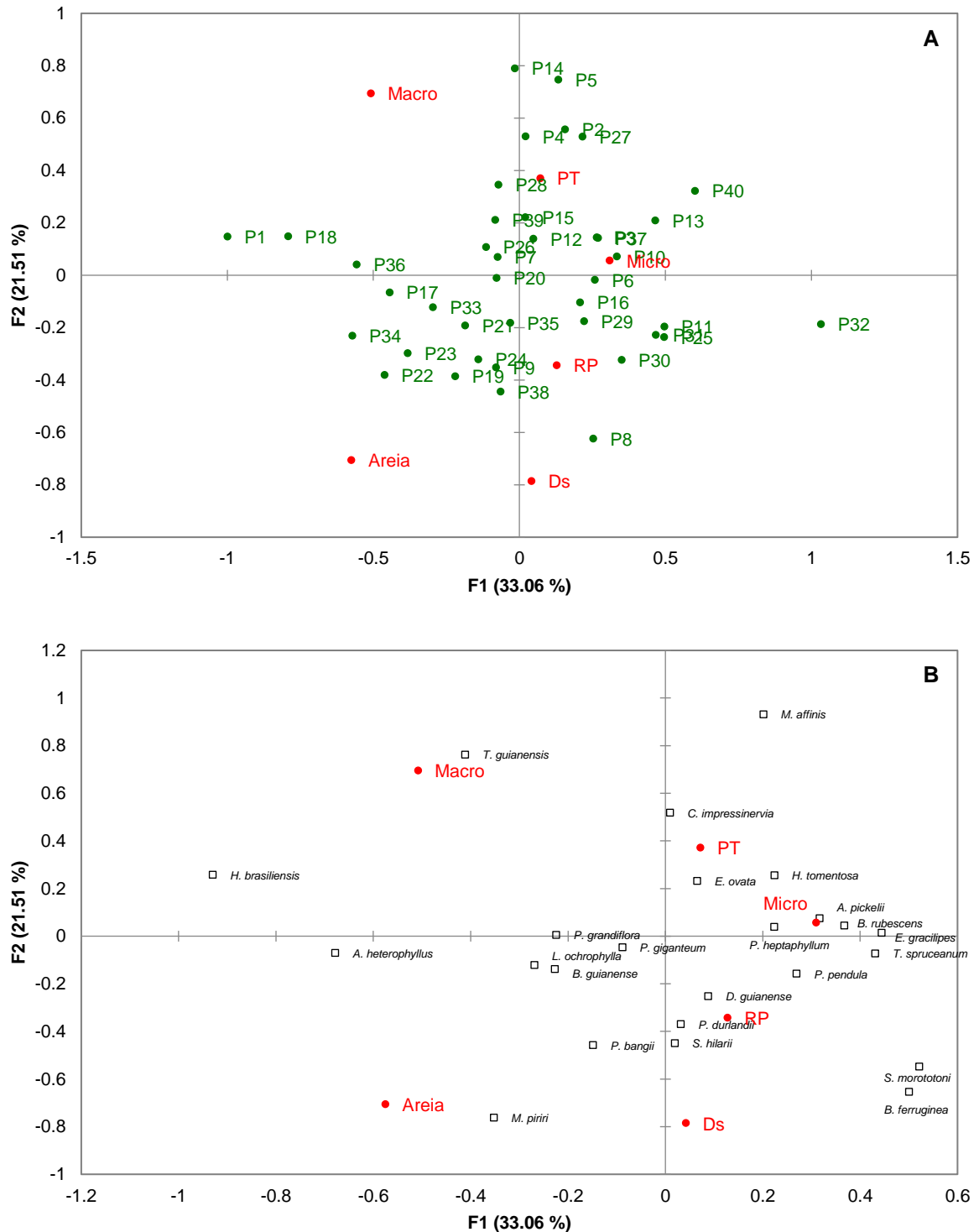


Figura 12. Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica (ACC) da distribuição das 40 parcelas (A) e das 24 espécies (B) amostradas no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, correlacionadas com atributos físicos do solo.

Bactris ferruginea, *Dialium guianense*, *Pouteria durlandii*, *Schefflera morototoni* e *Sorocea hilarii* encontram-se próximas ao grupo de parcelas com valores mais altos de densidade do solo, e, conseqüentemente, maior resistência do solo à penetração. Isso pode indicar que uma maior resistência mecânica do solo, não restringiu o crescimento das raízes dessas espécies.

Em relação aos atributos químicos do solo, os autovalores nos dois primeiros eixos de ordenação da ACC foram 0,32 e 0,14, com o primeiro eixo explicando 41,69% e o segundo eixo 18,60% da variância. A variância total acumulada explicou 60,28% da variabilidade dos dados (Tabela 7). O teste de permutação de Monte Carlo foi significativo a 1% de probabilidade, indicando que a abundância das espécies e os atributos químicos do solo foram correlacionadas com o primeiro e o segundo eixo de ordenação.

Tabela 7. Coeficientes de correlação entre os atributos químicos do solo e os dois primeiros eixos de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (ACC)

Atributo do solo	Eixo 1	Eixo 2
pH	0,520	0,227
Ca ²⁺	0,267	0,522
Mg ²⁺	0,276	0,554
K ⁺	0,466	0,347
Al ³⁺	-0,350	-0,523
(H + Al)	-0,820	-0,046
P	0,481	0,343
T	0,694	-0,044
M	-0,288	-0,602
Autovalores	0,323	0,144
Variância (%)	41,686	18,598
Variância acumulada (%)	41,686	60,284

No primeiro eixo da ACC observou-se correlação positiva com pH, teor de K⁺, P e CTC_{potencial} e correlação negativa com o teor de (H + Al). O segundo eixo da ACC se correlacionou positivamente com o teor de Ca²⁺ e Mg²⁺ e negativamente com o teor de Al³⁺ e saturação por alumínio (Tabela 7). Esses resultados indicaram que a diferenciação das unidades amostrais e a distribuição das espécies florestais estão relacionadas às condições de fertilidade e aos componentes de acidez do solo. John et al. (2007) ressaltaram que o pH do solo, indiretamente, exerce forte influência na distribuição de espécies nas florestas tropicais.

Nos diagramas da ACC, elaborados com base nos atributos químicos do solo, foi possível observar algumas tendências (Figura 13). Espécies como *Alseis pickelli*, *Artocarpus heterophyllus*, *Cupania impressinervia*, *Eriotheca gracilipes*, *Hevea*

brasiliensis, *Mabea piriri*, *Luehea ochrophylla*, *Pouteria grandiflora*, *Sorocea hilarii* e *Tapirira guianensis* foram alocadas mais próximas ao grupo de parcelas com valores mais elevados de pH, bem como de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} K^+), P e CTC_{potencial}.

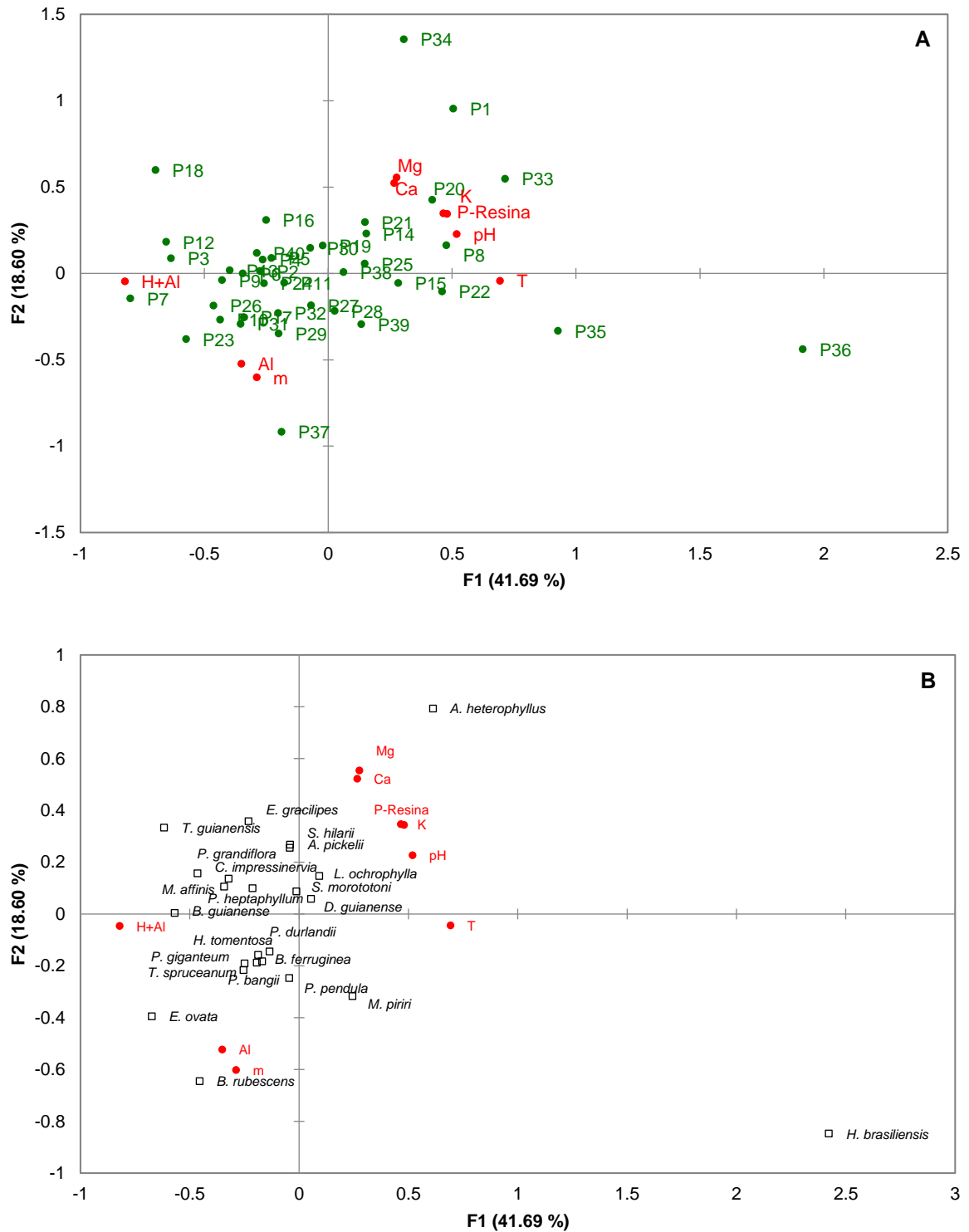


Figura 13. Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica (ACC) da distribuição das 40 parcelas (A) e das 24 espécies (B)

amostradas no Jardim Botânico do Recife, Pernambuco, Brasil, correlacionadas com atributos químicos do solo.

Em relação a *Tapirira guianensis*, Camargos et al. (2008) associaram a sua maior ocorrência a sítios com autovalores de matéria orgânica, (H + Al) e pH. Teixeira et al. (2010) encontraram maior abundância da *Tapirira guianensis* em áreas de baixada, ou seja, mais férteis. Enquanto Botrel et al. (2002), Souza et al. (2003) e Souza et al. (2012) observaram maior ocorrência da *Tapirira guianensis* em áreas com condições intermediárias de fertilidade do solo. Assim, com base nesses resultados, pode inferir que se trata de uma espécie generalista por habitats de solo.

A espécie exótica *Artocarpus heterophyllus* está entre as que mais se destacaram, com tendência de maior ocorrência nas unidades amostrais com valores mais elevados de pH e maiores teores de P, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺. Isso também pode estar relacionado à síndrome de dispersão de frutos e sementes predominantemente autocórica da espécie (Tabela 1). Nesse tipo de dispersão, as sementes tendem a se dispersar e germinar próximo à planta mãe.

Hevea brasiliensis aparece afastada das demais espécies, próxima às unidades amostrais com valores mais altos de pH, P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e CTC_{potencial}, que também pode estar associado ao fato de apresentar síndrome de dispersão de frutos e sementes autocórica (Tabela 1). Essa espécie é classificada como secundária tardia, que normalmente apresenta maior exigência nutricional. Por isso, se estabelece no ecossistema florestal após o fechamento do dossel e melhoria das condições de fertilidade do solo, o que tende a ocorrer por meio da decomposição e mineralização do material orgânico depositado na superfície do solo por espécies pioneiras e secundárias iniciais. No entanto, deve-se ressaltar que essa é uma espécie de ampla distribuição na região Amazônica, indicando que foi inserida de forma antrópica no fragmento florestal estudado, bem como *Artocarpus heterophyllus*.

Mabea piriri também aparece afastada das demais espécies, sendo que próxima às unidades amostrais com maior CTC_{potencial}, bem como valores mais elevados de pH, P e bases trocáveis. Apesar de apresentar ampla distribuição no território brasileiro, porque ocorre na Amazônia, no Cerrado e na Mata Atlântica, sendo classificada como espécie pioneira, os resultados obtidos sugerem que esta tem tendência de melhor estabelecimento e crescimento em áreas com melhores condições de fertilidade.

As espécies *Bactris ferruginea*, *Brosimum rubescens*, *Eschweilera ovata*, *Helicostylis tomentosa*, *Pouteria bangii*, *Poueteria durlandii*, *Protium giganteum* e *Thyrsodium spruceanum* tiveram tendência de maior ocorrência no grupo de parcelas com valores mais baixos de pH e, conseqüentemente, valores mais altos de Al^{3+} , (H + Al) e saturação por alumínio, que pode indicar possível tolerância dessas espécies a condições de acidez do solo.

Tavares et al. (2010) encontraram resultados semelhantes, porque constataram que *Brosimum rubescens*, *Eschweilera ovata*, *Protium giganteum* e *Thyrsodium spruceanum* ocorreram com maior abundância em áreas de topo e encosta com elevada acidez e elevados teores de Al^{3+} . Enquanto Tavares et al. (2019) relatam que *Eschweilera ovata* é mais exigente em fertilidade, com preferência por solos de textura média, ricos em Ca^{2+} e Mg^{2+} .

É possível constatar que as espécies *Brosimum guianense*, *Dialium guianense*, *Miconia affinis*, *Protium heptaphyllum* e *Schefflera morototoni* apareceram se sobrepondo próximo aos dois eixos de ordenação da ACC, que pode sugerir a adaptação dessas espécies a ambientes com condições de fertilidade de solo intermediárias.

Camargos et al. (2008) relataram que *Protium heptaphyllum* ocorre em maior abundância em sítios com autovalores de matéria orgânica, (H + Al) e pH. Teixeira et al. (2010) encontraram maior abundância de *Brosimum guianense* e *Protium heptaphyllum* nas áreas de encosta e topo, com acidez acentuada, elevados teores de Al^{3+} e (H + Al). Em função disso, podem ser consideradas espécies generalistas por habitats de solo.

O padrão de distribuição indicado pela ACC foi coerente com o obtido pelos coeficientes de correlação da análise de correlação canônica (Tabelas 6 e 7 e Figuras 12 e 13). No entanto, entre as 24 espécies selecionadas para análise, apenas 16 tiveram correlação com algum dos atributos do solo. Para os atributos físicos do solo, os maiores números de correlações significativas foram obtidos para teor de areia, densidade do solo, macroporosidade, porosidade total e resistência do solo à penetração. Enquanto para os atributos químicos do solo os maiores números de correlações significativas foram obtidos pelo COT e Mg^{2+} , seguidos de (H + Al), P, CTC_{potencial} (T), saturação por alumínio (m), pH, Ca^{2+} e K^+ .

Tabela 8. Coeficientes de correlação entre as espécies florestais e os atributos físicos e químicos do solo gerados pela Análise de Correlação Canônica (CCorA)

Espécies	Areia	Ds	PT	Macro	RP	pH	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	(H + Al)	T	m	COT
<i>A. heterophyllus</i>	0,323	0,028	-0,070	0,116	-0,078	0,301	0,482	0,409	0,350	0,458	-0,444	-0,421	0,343	-0,366	0,541
<i>B. ferruginea</i>	0,179	0,215	-0,035	-0,356	0,027	-0,161	-0,249	-0,228	-0,073	0,098	0,041	-0,055	-0,072	0,012	-0,289
<i>B. guianense</i>	0,217	0,266	-0,411	-0,150	-0,132	-0,164	-0,198	-0,077	0,066	0,048	0,018	0,253	-0,119	0,151	0,155
<i>B. rubescens</i>	-0,108	-0,137	0,099	-0,114	0,081	-0,343	-0,110	-0,105	-0,361	-0,205	0,225	0,249	-0,085	0,391	-0,247
<i>D. guianense</i>	0,123	0,275	-0,260	-0,334	0,285	-0,065	0,185	-0,044	-0,187	0,059	0,034	-0,022	0,089	-0,178	-0,155
<i>E. gracilipes</i>	-0,004	0,076	0,045	-0,036	-0,247	0,294	-0,208	0,130	0,373	0,223	-0,206	-0,047	0,001	-0,126	0,036
<i>H. tomentosa</i>	-0,418	-0,157	0,058	-0,030	0,071	-0,176	0,106	-0,047	-0,309	-0,052	0,207	0,321	-0,098	0,471	-0,301
<i>H. brasiliensis</i>	0,089	0,007	-0,037	0,175	-0,006	0,290	0,164	0,033	0,072	0,226	-0,093	-0,514	0,395	-0,049	0,377
<i>L. ochrophylla</i>	0,078	-0,015	0,053	0,067	0,243	0,088	0,316	0,059	-0,091	-0,167	0,078	0,049	0,042	-0,041	-0,081
<i>M. piriri</i>	0,251	0,292	-0,227	-0,284	0,263	-0,040	0,271	-0,045	-0,086	0,144	-0,196	-0,121	0,328	-0,054	-0,033
<i>M. affinis</i>	-0,352	-0,234	0,079	0,257	-0,237	0,053	-0,121	-0,162	0,107	0,118	0,022	0,100	-0,076	-0,164	-0,006
<i>P. pendula</i>	-0,138	0,202	-0,119	-0,221	0,371	-0,215	-0,056	-0,115	-0,238	-0,200	0,278	0,063	0,048	0,104	-0,033
<i>P. durlandii</i>	0,181	0,349	-0,372	-0,257	0,124	-0,049	-0,099	-0,065	0,032	0,181	-0,040	0,029	0,098	0,022	-0,140
<i>S. morototoni</i>	0,251	0,483	-0,390	-0,467	-0,074	0,038	0,079	0,256	-0,142	0,007	-0,039	0,097	0,054	0,043	-0,177
<i>T. guianensis</i>	-0,082	-0,321	0,059	0,198	-0,155	-0,123	-0,128	0,035	-0,080	-0,127	0,096	0,240	-0,207	-0,021	0,015
<i>T. spruceanum</i>	-0,103	0,076	0,084	-0,141	0,045	0,036	-0,329	-0,061	-0,210	-0,137	0,146	0,168	-0,183	0,235	-0,365

Brosimum guianense e *Miconia affinis* tiveram correlação negativa com a porosidade total e o teor de areia, respectivamente. Enquanto *Bactris ferruginea* e *Dialium guianense* tiveram correlação negativa com a macroporosidade (Tabela 8). Isso pode indicar a preferência dessas espécies por áreas com teores mais elevados de silte e argila e, conseqüentemente, maior retenção de água e nutrientes no solo. Tavares et al. (2019) ao avaliarem a relação de espécies florestais nativas e atributos químicos e texturais do solo, relataram que *Dialium guianense* prefere áreas com solos de textura média, ricos em bases de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Tapirira guianensis teve correlação negativa com a densidade do solo. Esse resultado pode indicar baixa tolerância da espécie ao aumento da densidade do solo, e, conseqüentemente, ao aumento da resistência do solo à penetração (Tabela 8). Os resultados encontrados por Souza et al. (2003) e Souza et al. (2012) diferem dos obtidos nesse estudo. Os autores associaram a ocorrência de *Tapirira guianensis* a área de solos mais arenosos, que tendem a apresentar densidade mais elevada.

Por outro lado, *Parkia pendula* teve correlação positiva com a resistência do solo à penetração, enquanto *Pouteria durlandii* e *Schefflera morototoni*, se correlacionaram positivamente com a densidade do solo e negativamente com a porosidade total e macroporosidade (Tabela 8). Assim, o aumento da densidade e resistência à penetração do solo, podem causar pouca restrição ao crescimento das raízes dessas espécies.

Artocarpus heterophyllus e *Hevea brasiliensis* são espécies que foram inseridas no fragmento florestal por meio de ação antrópica. *Artocarpus heterophyllus* teve correlação positiva com teor de areia, pH, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , $\text{CTC}_{\text{potencial}}$ (T) e COT. Enquanto *Hevea brasiliensis* teve correlação positiva com $\text{CTC}_{\text{potencial}}$ (T) e COT. Além disso, foi observada correlação negativa com Al^{3+} , (H + Al) e saturação por alumínio (m), que pode indicar a preferência dessas espécies por solos com valores mais altos de pH e, conseqüentemente, teores mais altos de P e bases trocáveis, bem como maior CTC, ou seja, solos com melhores condições de fertilidade, podendo ser consideradas espécies sensíveis a solos com elevada acidez.

Fabricante et al. (2012), ao avaliarem os impactos da invasão biológica de *Artocarpus heterophyllus* sobre a vegetação nativa e o solo em um fragmento de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil, observaram que nas áreas de ocorrência

dessa espécie exótica invasora houve significativa redução da diversidade e riqueza de espécies nativas. Em contrapartida, ao considerar os impactos sobre as características do solo, nas áreas que *Artocarpus heterophyllus* estava presente, os autores relataram incrementos na fertilidade do solo, devido ao aumento do pH e dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P, associado à redução nos teores de Al^{3+} e (H + Al).

Entretanto, árvores dessa espécie foram encontradas em solos arenosos e de textura média, bem como em solos calcários rochosos, bem drenados e de alto pH no sul da Flórida (CRAN; BALERDI; CAMPBELL, 2002). Nesse estudo, *Artocarpus heterophyllus* teve tendência de se estabelecer em áreas com valores mais altos de pH, bem como teores mais elevados de areia e bases trocáveis, principalmente, de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 8).

Sendo assim, os incrementos na fertilidade do solo observados por Fabricante et al. (2012) podem não estar relacionados diretamente à presença de *Artocarpus heterophyllus*, devido a possibilidade dessa espécie apresentar determinadas preferências ecológicas, podendo ser considerada indicadora de solos com melhores condições de fertilidade. No entanto, pelo alto potencial de invasão que apresenta, impede o estabelecimento de espécies nativas com maior exigência nutricional, o que pode, a longo prazo, levar à redução da abundância de espécies nativas e aumento da dominância de *Artocarpus heterophyllus*. Com isso, torna-se necessária a adoção de ações de mitigação para o seu controle, principalmente, em áreas protegidas, que visam a conservação e manutenção da biodiversidade local.

A espécie *Eriotheca gracilipes* teve correlação positiva com o Mg^{2+} , indicando que tende a ocorrer em maior abundância em áreas com teores mais elevados desse nutriente (Tabela 8). Isso pode estar relacionado ao grupo ecológico que se encontra inserida, ou seja, o de espécies secundárias tardias (Tabela 1), que abriga, de modo geral, espécies com maior exigência nutricional.

Elias et al. (2019) encontraram resultados semelhantes ao avaliarem a variação do solo e da topografia como fatores preponderantes na distribuição da vegetação na transição entre a Amazônia e o Cerrado. Os autores observaram que a flora arbórea do cerrado denso, em que as espécies com maior valor de importância foram *Tachigali vulgaris* e *Eriotheca gracilipes*, se encontram associadas a maiores valores de argila, silte, Mg^{2+} e matéria orgânica no solo. Enquanto Finger e Oestreich Filho (2014), associaram a maior ocorrência dessa espécie em locais de solos arenosos com baixos teores de K^+ .

Brosimum rubescens teve correlação negativa com pH e Mg^{2+} e correlação positiva com saturação por alumínio (Tabela 8), que pode indicar tolerância dessa espécie a solos com maior acidez ativa e trocável, ou seja, solos mais ácidos e, conseqüentemente, com menores teores de Mg^{2+} . Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Teixeira et al. (2010), que observaram maior abundância da espécie em áreas com acentuada acidez e teores elevados de Al^{3+} .

Silva et al. (2018) ao avaliarem a fertilidade do solo como preditora da distribuição de espécies em regeneração natural, observaram que *Brosimum rubescens* apresentou tendência de maior abundância em áreas com maior valor de (H + Al), bem como maiores teores de Mg^{2+} e $CTC_{potencial}$. Os autores indicaram o seu uso em programas de recuperação de áreas degradadas, porque tolera solos com alto potencial de acidez, mas que devem apresentar teores adequados de Mg^{2+} .

Estudos que avaliaram as propriedades do solo em uma floresta tropical monodominante de *Brosimum rubescens* na zona de transição entre o Cerrado e a Amazônia caracterizaram o solo como sendo ácido, com altos teores de Al^{3+} e de baixa fertilidade. Os autores destacaram que foram encontrados maiores teores de Mg^{2+} em relação aos de Ca^{2+} , sendo comum para florestas tropicais monodominantes. Além disso, encontraram alta disponibilidade de K^+ quando comparado aos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e toxicidade causada por Fe e Mn, decorrente da elevada acidez do solo. De acordo com os autores, são fatores que podem influenciar na monodominância de *Brosimum rubescens* (MARIMON; FELFILI; HARIDASAN, 2001a; MARIMON; FELFILI; HARIDASAN, 2001b).

Elias et al. (2018) em estudo realizado na mesma área destacaram que *Brosimum rubescens* teve correlação positiva com Ca^{2+} , K^+ , Mn, Al^{3+} e Ca/Mg, mas não apresentou correlação negativa com nenhuma das propriedades edáficas envolvidas na análise. Segundo os autores, a ausência de correlações negativas entre a espécie e as variáveis edáficas, indica ausência de restrição ambiental e que a espécie possui um amplo nicho de abrangência, que pode ajudar a explicar a manutenção da sua monodominância nessa área.

Em função das variações observadas, sugere-se a realização de outros estudos que visem compreender essas relações em áreas com ocorrência natural dessa espécie, a fim de observar quais padrões se repetem com maior frequência. Segundo Camargos et al. (2008), informações sobre a distribuição de determinada

espécie, em relação aos atributos do solo, só devem ser generalizadas após a repetição do mesmo padrão em diversas áreas.

Mabea piriri apresentou correlação positiva com CTC_{potencial} (Tabela 8), que justifica a elevada abundância dessa espécie nas unidades amostrais com maiores valores de CTC_{potencial} (Figura 13). Sendo assim, pode-se inferir que essa espécie tem elevada exigência nutricional, com tendência de maior ocorrência e abundância em áreas com maior disponibilidade de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺. Estudos correlacionando a distribuição e abundância de *Mabea piriri* a atributos do solo são escassos, sendo associada apenas a solos com maiores teores de argila, como o realizado em uma topossequência do Escudo Guayanés na Venezuela (LOZADA; SORIANO; COSTA, 2014).

Em *Luehea ochrophylla* observou-se correlação positiva com P (Tabela 8), por isso a espécie teve tendência de maior ocorrência nas unidades amostrais com maiores teores de P (Figura 7). Apesar de ser uma espécie de ampla distribuição, ocorrendo na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, pode-se inferir que possui elevada exigência por esse nutriente, com tendência de maior ocorrência e abundância em áreas com maior disponibilidade de P.

Thyrsodium spruceanum teve correlação negativa com o COT (Tabela 8), justificando a tendência de maior ocorrência da espécie nas parcelas com valores mais baixos de pH, bem como valores mais altos de (H + Al), Al³⁺ e saturação por alumínio (Figura 7). Essa relação oposta ocorre porque nos locais com teores mais elevados de COT, espera-se que ocorra aumento do teor de bases trocáveis e a quelatização do Al³⁺, acarretando na melhoria das condições de fertilidade do solo e, conseqüentemente, redução dos elementos responsáveis pela acidificação do solo.

A espécie *Helicostylis tomentosa* pode ser considerada tolerante a valores de pH e teores de areia mais baixos, bem como a teores mais elevados de Al³⁺ e (H + Al), por ter correlação negativa com teor de areia, pH, Mg²⁺ e COT e positiva com (H + Al) e saturação por alumínio (Tabela 8). Teixeira et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes, tendo em vista que encontraram essa espécie com maior abundância em áreas de topo, que apresentaram elevados teores de (H + Al), bem como altos teores de COT.

Esses resultados, associados à classificação da espécie como secundária inicial e à elevada capacidade de dispersar as suas sementes no ambiente, em função de apresentar síndrome de dispersão zoocórica (Tabela 1), explicam a razão

de ter sido encontrada em abundância no fragmento florestal. Apesar do solo nessa área apresentar alta acidez ativa (pH baixo), teores intermediários de Mg^{2+} , acidez potencial (H + Al) mais elevada e acréscimo da saturação por alumínio em alguns locais, a espécie foi encontrada ao longo de toda a área, ocorrendo em 35 das 40 parcelas utilizadas para amostragem.

Entre as espécies que não tiveram correlação com nenhum atributo químico do solo, observou-se que, *Bactris ferruginea*, *Eschweilera ovata*, *Pouteria bangii*, *Pouteria durlandii* e *Protium giganteum* apareceram próximas às parcelas com maiores valores de acidez potencial (H + Al), Al^{3+} e saturação por alumínio (Figura 7), bem como as espécies *Brosimum rubescens* e *Helicostylis tomentosa*. Vale ressaltar que espécies pertencentes ao gênero *Pouteria* são citadas em estudos ocorrendo predominantemente em áreas com solos ácidos e de baixa fertilidade (ESPÍRITO-SANTO et al., 2002; PINTO et al., 2009; SOUZA et al., 2012), que pode indicar a adaptabilidade de algumas espécies desse gênero a esse tipo de ambiente.

Assim sendo, em função desse grupo de espécies, com destaque para *Brosimum rubescens* e *Helicostylis tomentosa*, apresentar tendência de adaptação a condições edáficas mais seletivas, como elevada acidez e baixa fertilidade, são indicadas para utilização em programas de recuperação e restauração florestal. Espécies que apresentam esse tipo de adaptação podem ser utilizadas, principalmente, para a recomposição da vegetação em áreas muito antropizadas, que exigem a inserção de espécies adaptadas a condições de baixa fertilidade (MARTINS et al., 2003; BRAGA et al., 2015). Além disso, são espécies que podem ser utilizadas como objetos de estudos que visem identificar os mecanismos utilizados para tolerarem esse tipo de ambiente (TAVARES et al., 2019).

Logo, os resultados apresentados, além de demonstrarem a predileção e a tolerância de certas espécies a determinados atributos físicos e químicos do solo, demonstram que para cada condição ambiental específica existe um conjunto de espécies com maior potencial para utilização na recuperação e na restauração florestal (BRAGA et al., 2015; HIGUCHI et al., 2016).

No entanto, a interpretação da distribuição de espécies em consonância com os atributos do solo exige cautela, tendo em vista que variáveis fundamentais, como por exemplo, condições de luz e água, bem como os fatores de dispersão das espécies, não são facilmente perceptíveis ou mensuráveis. Além disso, as espécies são sensíveis aos fatores edafoclimáticos de forma interativa e não isoladamente,

além de apresentar resposta a esses fatores em um ambiente de competição entre espécies (BOTREL et al., 2002).

Espírito-Santo et al. (2002) ressaltaram que em áreas naturais contínuas as variações observadas, geralmente são graduais. No entanto, os fragmentos florestais podem apresentar várias peças de mosaico de vegetação relacionadas a diferenças nos atributos do solo, fase sucessional ou aos efeitos antrópicos (ESPÍRITO-SANTO et al., 2002).

Dessa maneira, conclusões sobre os padrões de distribuição de espécies face as variáveis ambientais só devem se aproximar de uma generalização após muitas repetições do mesmo padrão em diferentes áreas (BOTREL et al., 2002; CAMARGOS et al., 2008; AMARAL et al., 2020). Esse tipo de estudo é capaz de detectar esses padrões, que ao serem encontrados repetidamente em diferentes áreas, serão responsáveis por gerar informações sólidas sobre a ecologia de determinadas espécies florestais (OLIVEIRA-FILHO et al., 2001).

5.6 Variabilidade geoespacial dos atributos do solo e da distribuição de espécies florestais

Os atributos físicos e químicos do solo do fragmento florestal apresentaram dependência espacial. A maioria dos atributos físicos se ajustou ao modelo Exponencial, seguido do Gaussiano. Enquanto para os atributos químicos o modelo predominante foi o Gaussiano, seguido do Exponencial (Tabela 9). Esses resultados diferem em parte dos obtidos por Lima, Souza e Silva (2010); Santos et al. (2013); Lima et al. (2014) e Silva et al. (2018), ao ajustarem modelos de semivariograma para os atributos físicos e químicos do solo em fragmentos de Mata Atlântica. De acordo com os autores os modelos que mais se ajustaram foram o Esférico e Exponencial.

O coeficiente de determinação (R^2) do teor de areia, macroporosidade, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e COT variou de 0,95 a 0,99. Enquanto o da porosidade total, P, Al^{3+} , (H + Al) e $CTC_{potencial}$ variou de 0,81 a 0,88 e o da densidade do solo, resistência do solo à penetração e K^+ de 0,71 a 0,79. Apenas a saturação por alumínio (m) teve coeficiente de determinação (R^2) de 0,65 (Tabela 9). Isso indicou que para esses dados pelo menos 90, 80, 70 e 60% da variabilidade nos valores de semivariância estimados foram explicados pelos modelos ajustados.

O alcance (a) variou de 23,90 a 1532,70 m, com os menores valores sendo encontrados para saturação por alumínio, Ca^{2+} , pH, densidade do solo, Al^{3+} , (H + Al) e macroporosidade (Tabela 9). Lima, Souza e Silva (2010) e Silva et al. (2018) avaliando a variabilidade geoespacial de atributos químicos do solo em fragmento de Mata Atlântica, também encontraram menor alcance (a) para a saturação por alumínio (m) e Al^{3+} , respectivamente. Os maiores valores foram encontrados para resistência do solo à penetração e P (Tabela 9). Esses valores correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável (LIMA et al., 2013). Assim, resistência do solo à penetração e teor de P foram os atributos que tiveram maior homogeneidade.

Tabela 9. Modelos e parâmetros de semivariogramas de atributos físicos e químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil

Atributo do solo	Modelo	C_0	C_0+C	A	R^2	$C_0/(C_0+C)$	GDE	Jack-Knifing	
								Média	DP
Atributos Físicos									
Areia	Gau	3,700	8,351	134,580	0,953	44,306	Md	0,023	1,038
Ds	Exp	0,001	0,006	50,700	0,785	8,907	Ft	0,024	1,010
PT	Gau	0,001	0,008	237,291	0,836	7,683	Ft	0,034	1,120
Macro	Exp	0,000	0,000	73,500	0,971	15,226	Ft	-0,026	0,952
RP	Exp	0,015	0,058	1532,700	0,795	25,385	Md	0,033	1,151
Atributos Químicos									
pH	Gau	0,019	0,064	45,899	0,998	29,193	Md	0,021	0,955
P	Exp	0,307	1,235	1232,700	0,818	24,858	Ft	0,049	1,012
Ca^{2+}	Gau	0,001	0,945	42,955	0,991	0,106	Ft	-0,015	1,233
Mg^{2+}	Gau	0,038	0,154	174,937	0,978	24,675	Ft	0,022	1,003
K^+	Gau	0,000	0,002	449,121	0,717	24,016	Ft	0,093	1,120
Al^{3+}	Exp	0,000	0,053	52,200	0,889	0,187	Ft	-0,064	1,094
(H + Al)	Gau	0,001	0,750	63,047	0,840	0,133	Ft	0,019	1,304
T	Gau	0,415	2,840	126,959	0,884	14,613	Ft	-0,012	1,142
m	Gau	0,010	15,180	23,902	0,653	0,065	Ft	-0,072	1,130
COT	Exp	0,064	0,323	213,300	0,973	19,796	Ft	0,005	0,982

C_0 = efeito pepita; $C_0 + C$ = patamar; A = alcance; R^2 = coeficiente de determinação; $C_0/(C_0+C)$ = dependência espacial; GDE = grau de dependência espacial; F = forte; Md = moderada; DP: desvio padrão.

As relações entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C$) demonstraram predominância do grau de dependência espacial forte, seguido do moderado. O teor de areia, a resistência do solo à penetração e o pH tiveram grau de dependência espacial moderada, variando entre 25,39 e 44,31% (Tabela 9). Roveda et al. (2018) também encontraram grau de dependência espacial moderado para o pH ao

avaliarem os atributos do solo em fragmento de Mata Atlântica na Floresta Nacional de Irati, no estado do Paraná.

Os demais atributos tiveram grau de dependência espacial forte, que variou de 0,07 a 24,86%. Os atributos do solo com o maior grau de dependência espacial foram saturação por alumínio (m), teores de Ca^{2+} , (H + Al) e Al^{3+} , seguido por densidade do solo, porosidade total, $\text{CTC}_{\text{potencial}}$, macroporosidade, COT, K^+ , Mg^{2+} e P (Tabela 9). De acordo com Lima et al. (2010), quanto maior o grau de dependência espacial do atributo, melhor a estimativa pela técnica da krigagem para locais não amostrados.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2018) ao estudarem a variabilidade geoespacial de atributos químicos do solo em fragmento de Mata Atlântica no Estado de Pernambuco. Os autores encontraram forte grau de dependência espacial para saturação por bases, (H + Al), Mg^{2+} , $\text{CTC}_{\text{potencial}}$, soma de bases, K^+ e saturação por alumínio.

Santos et al. (2013) ao avaliarem a continuidade espacial de atributos físicos e químicos do solo em fragmento de Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, no estado de Minas Gerais, relataram que os atributos do solo com maior grau de dependência espacial foram pH, $\text{CTC}_{\text{potencial}}$, matéria orgânica e argila. No entanto, encontraram baixo grau de dependência espacial para densidade do solo. Os autores explicaram que esse baixo grau de correlação pode estar associado aos diferentes tipos de impactos observados na área (trilhas, presença de gado e clareiras em diferentes setores florestais), indicando uma situação razoavelmente antropizada.

Enquanto Roveda et al. (2018) em fragmento de Mata Atlântica no Estado do Paraná, encontraram forte grau de dependência espacial apenas para N, (H + Al), argila, areia e silte. Os demais atributos do solo avaliados pelos autores (pH, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) tiveram grau de dependência espacial moderado.

Cambardella et al. (1994) associaram o forte grau de dependência espacial dos atributos físicos e químicos dos solos aos fatores intrínsecos, como por exemplo, clima, relevo e material de origem. Por outro lado, o baixo grau de dependência espacial é atribuído aos fatores extrínsecos, principalmente, os que estão relacionados as atividades antrópicas. Em função do fragmento florestal estudado permanecer isolado, por se tratar de uma unidade protegida, as intervenções antrópicas são mínimas. Assim, o forte grau de dependência espacial

encontrado para os atributos do solo, pode estar relacionado ao elevado estado de conservação da área.

A maioria das espécies florestais avaliadas apresentaram dependência especial, exceto *Parkia pendula* que apresentou efeito pepita. Isso indicou que a menor distância entre os pontos amostrais (10 m) não foi suficiente para detectar a variabilidade espacial dessa espécie entre as amostras. Os modelos Gaussiano, Esférico e Exponencial foram os que melhor se ajustaram aos semivariogramas das espécies florestais (Tabela 10).

Tabela 10. Modelos e parâmetros de semivariogramas das espécies florestais com maior densidade absoluta em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil

Espécies	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a	R ²	C ₀ /(C ₀ +C)	GDE	Jack-Knifing	
								Média	DP
<i>A. heterophyllum</i>	Exp	6,930	31,030	485,700	0,861	22,333	Ft	0,019	0,962
<i>D. guianense</i>	Esf	0,001	1,312	29,000	0,678	0,076	Ft	0,018	1,034
<i>H. tomentosa</i>	Gau	4,240	12,420	91,106	0,732	34,138	Md	0,000	1,021
<i>H. brasiliensis</i>	Gau	2,260	15,890	73,265	0,722	14,222	Ft	0,010	1,225
<i>P. pendula</i>	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. durlandii</i>	Esf	0,304	2,011	37,700	0,838	15,117	Ft	0,060	1,016
<i>T. spruceanum</i>	Gau	0,001	0,772	33,255	0,592	0,130	Ft	-0,026	1,116

Exp = Exponencial; Gau = Gaussiano; C₀ = efeito pepita; C₀ + C = patamar; a = alcance; R² = coeficiente de determinação; C₀/(C₀+C) = dependência espacial; GDE = grau de dependência espacial; F = forte; Md = moderada; DP: desvio padrão.

O coeficiente de determinação (R²) variou de 0,59 a 0,86, sendo o menor obtido para *Thyrsodium spruceanum* e o maior para *Artocarpus heterophyllum* (Tabela 10). Isso indicou que para esses dados pelo menos 60% da variabilidade nos valores de semivariância estimados foram explicados pelos modelos ajustados.

O alcance (a) variou de 29 a 485,7 m, sendo os menores valores encontrados para *Dialium guianense*, *Thyrsodium spruceanum* e *Pouteria durlandii* e o maiores valores para *Artocarpus heterophyllum*, *Helicostylis tomentosa* e *Hevea brasiliensis* (Tabela 10). Esses valores diferem dos encontrados por Silva et al. (2018) ao avaliarem a variabilidade geoespacial de distribuição de espécies florestais em fragmento de Mata Atlântica no Estado de Pernambuco, com alcance variando de 81,4 a 130,8 m. Essa diferença pode estar relacionada a diversos fatores, destacando-se às características específicas que cada fragmento florestal possui, bem como as diferentes espécies analisadas.

As relações entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C$) demonstraram predominância do grau de dependência espacial forte, seguido do moderado. As espécies *Artocarpus heterophyllus*, *Dialium guianense*, *Hevea brasiliensis*, *Pouteria durlandii* e *Thyrsodium spruceanum* tiveram grau de dependência espacial forte. Apenas *Helicostylis tomentosa* apresentou grau de dependência espacial moderado (Tabela 10).

Os modelos de semivariogramas ajustados para os atributos do solo e espécies florestais permitiram estimar os valores dessas variáveis em locais não amostrados, utilizando o método de interpolação dos dados por krigagem ordinária. Assim, com os valores estimados, foi possível elaborar mapas de isolinhas. Esses mapas permitiram a visualização dos arranjos de distribuição espacial e a identificação dos locais de concentração dos atributos físicos e químicos do solo, bem como das espécies florestais (Figuras 14, 15 e 16).

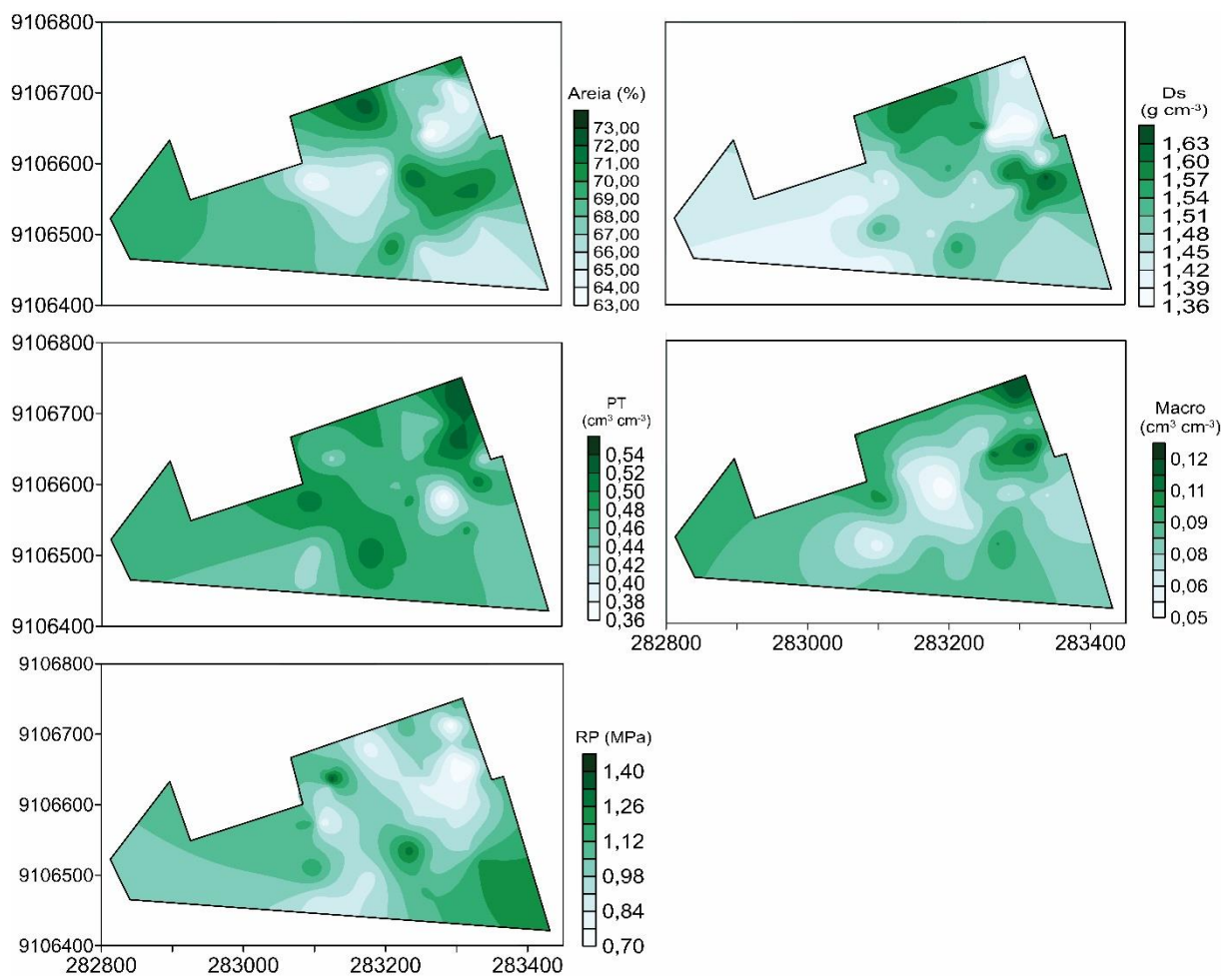


Figura 14. Mapas de krigagem da distribuição espacial de atributos físicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do

Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Macro = macroporosidade; RP = resistência do solo à penetração.

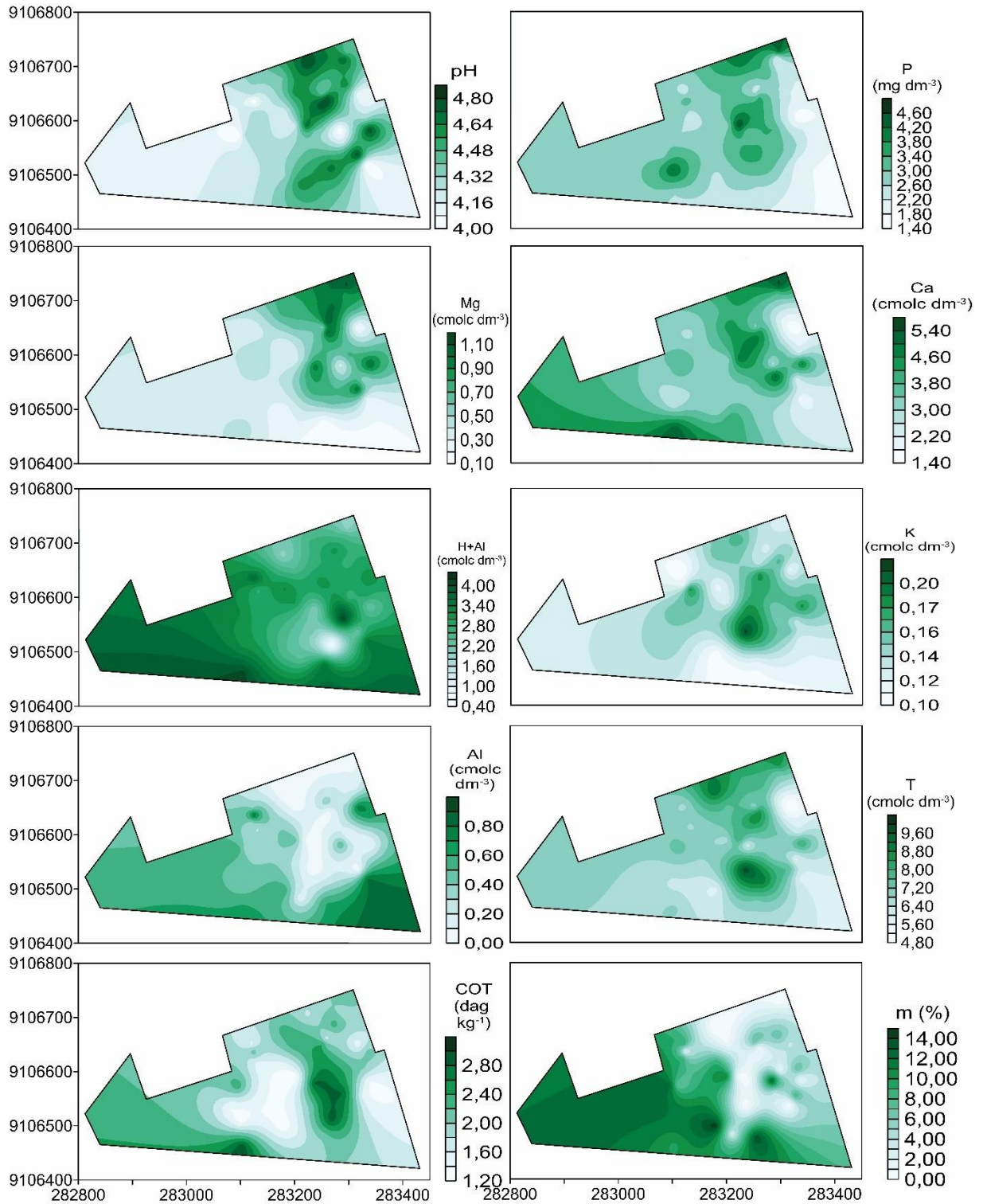


Figura 15. Mapas de krigagem da distribuição espacial de atributos químicos do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.

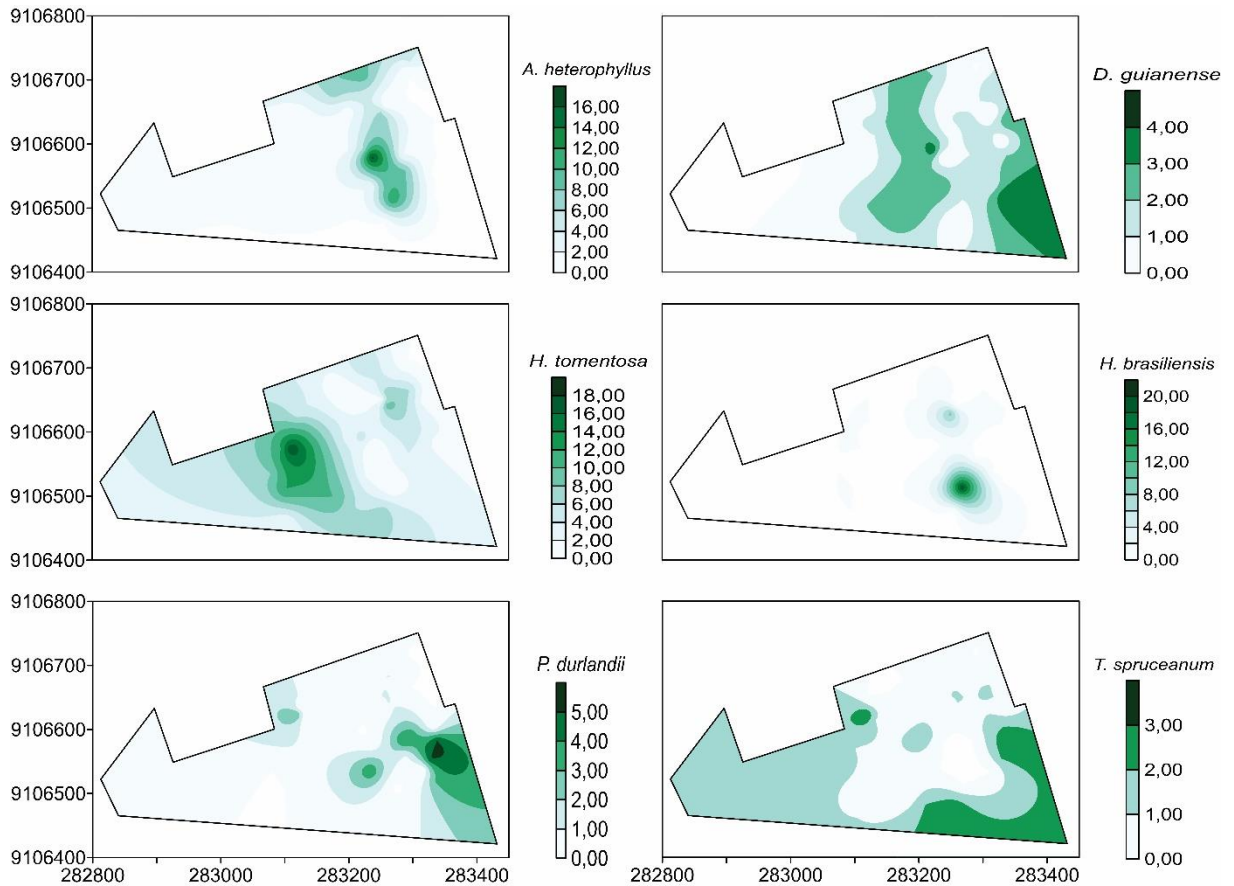


Figura 16. Mapas de krigagem da distribuição espacial de espécies florestais (ind.ha⁻¹) com maior densidade absoluta em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Jardim Botânico do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.

Os mapas gerados para os atributos físicos do solo identificaram os locais no fragmento com os maiores teores de areia, que corresponderam aos locais com maior densidade do solo e, conseqüentemente, menor porosidade total. Além disso, constou-se que nos locais com maior porosidade total, também foram encontrados maior volume de macroporos, bem como teores mais baixos de areia, menor densidade do solo e menor resistência do solo à penetração (Figura 14).

Padrão semelhante foi observado por Amaralho Filho et al. (2007) ao avaliarem a variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, estado do Rio Grande do Norte. Os autores destacaram que o volume total de poros e a densidade do solo tiveram relação inversamente proporcional. Em função disso, a distribuição espacial da porosidade total ocorreu de modo inverso à observada para a densidade do solo.

Os mapas gerados para os atributos químicos do solo identificaram os locais com valores mais altos de pH. Esses locais coincidiram com os que tiveram teores mais elevados de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , $\text{CTC}_{\text{potencial}}$ (T) e COT. Além disso, observou-se que esses locais também coincidiram com os que tiveram os menores valores para Al^{3+} , (H + Al) e saturação por alumínio (m) (Figura 15). Essa heterogeneidade espacial da disponibilidade de nutrientes no solo tem sido considerada responsável pela variação da composição florística em comunidades tropicais em escalas locais e regionais (JOHN et al., 2007; HEINEMAN; TURNER; DALLING, 2016).

Esses resultados permitiram a visualização da importância do aumento do teor de COT no solo. Nos locais de maior concentração de COT, observou-se aumento do teor de nutrientes e redução dos elementos do complexo de acidez do solo. A redução do teor de Al^{3+} se encontra associada a elevação dos teores das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e a formação de complexos estáveis Al-matéria orgânica. Enquanto a redução do teor de (H + Al) nos locais com maior teor de COT, indica o equilíbrio das taxas de produção, decomposição e mineralização do material orgânico depositado na superfície do solo. Isso permite o retorno dos nutrientes ao solo e, conseqüentemente, redução da concentração de ions H^+ liberados durante o processo de mineralização.

Lima et al. (2010) avaliando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração, observaram padrão semelhante. Os autores destacam que os maiores valores para o Al^{3+} foram encontrados nos locais com baixos valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases e pH. Esse mesmo padrão foi observado por Silva et al. (2018) em fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Estado de Pernambuco. Nos locais com maiores teores de Mg^{2+} , soma de bases e $\text{CTC}_{\text{potencial}}$, os autores encontraram menor saturação por alumínio. Em contrapartida, nesses locais também foram encontrados os maiores teores de (H + Al).

Artocarpus heterophyllus ocorreu em toda a área do fragmento, mas houve concentração de indivíduos na área central, onde foram encontrados os maiores valores de pH, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , $\text{CTC}_{\text{potencial}}$ (T) e COT, bem como os menores valores de Al^{3+} e saturação por alumínio (m) (Figura 16). Esses resultados corroboraram com a tendência observada na ACC e CCorA (Figura 7 e Tabela 8).

Apesar de *Dialium guianense* ocorrer por toda a área do fragmento, foram encontrados poucos indivíduos da espécie. No entanto, é possível notar a máxima

concentração desses indivíduos no local com redução da macroporosidade e aumento do pH, bem como do teor de P e bases trocáveis (Figura 16).

A distribuição espacial de *Helicostylis tomentosa* ocorreu em toda a área do fragmento. No entanto, é possível notar que a espécie concentra o maior número de indivíduos na região onde foram encontrados os menores valores para areia e densidade do solo, além de maiores valores para a porosidade total. Nessa região, também foram encontrados os menores valores de pH e COT, bem como os maiores teores de Al^{3+} , (H + Al) e saturação por alumínio (m). Esses resultados corroboraram com a tendência observada na ACC e na CCorA (Figura 7 e Tabela 8), demonstrando a tolerância da espécie por solos ácidos e com elevação dos teores de Al^{3+} e (H + Al). Portanto, essa espécie pode ser indicada para a recomposição florestal de áreas com solos que apresentem essas características.

Hevea brasiliensis ocorreu apenas na região central do fragmento, nos locais com maiores valores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , $\text{CTC}_{\text{potencial}}$ e COT, além de coincidir com o local com menor teor de (H + Al) (Figura 16). Esses resultados, assim como discutido anteriormente, podem indicar a exigência da espécie por áreas com melhores condições de fertilidade.

A maior concentração de indivíduos de *Pouteria durlandii* ocorreu nos locais do fragmento com valores mais altos de areia, bem como de densidade do solo e valores mais baixos de porosidade total. Além disso, nesses locais também são encontrados valores de pH mais elevados e maiores teores de Mg^{2+} e (H + Al) (Figura 16). Logo, solos mais compactados, podem não impedir o desenvolvimento das raízes dessa espécie, mas talvez seja necessário apresentarem teores elevados de Mg^{2+} .

O padrão de distribuição espacial observado para *Thyrsodium spruceanum* foi semelhante ao encontrado para *Dialium guianense*, em função de terem sido encontrados poucos indivíduos dessa espécie. Assim, a espécie ocorre por todo o fragmento, mas com concentração nos locais com valores mais baixos de pH, bem como de P e bases trocáveis e teores mais altos de Al^{3+} e (H + Al) (Figura 16). Esses resultados corroboram com os obtidos na CCA e CCorA (Figura 7 e Tabela 8), visto que a espécie teve correlação negativa com o COT. Isso pode indicar tolerância dessa espécie a solos mais ácidos e de baixa fertilidade.

Os resultados obtidos demonstraram que a distribuição espacial das espécies avaliadas está relacionada a heterogeneidade espacial da distribuição dos atributos físicos e químicos do solo.

6 CONCLUSÕES

O solo do fragmento florestal foi caracterizado como Franco Argilo Arenoso, ácido, não álico e eutrófico.

A melhoria da qualidade do solo encontra-se relacionada ao aumento da macroporosidade, pH, teores de bases trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e P. A diferenciação das unidades amostrais, bem como a distribuição das espécies florestais, está relacionada a variação dos atributos físicos e químicos do solo.

Brosimum guianense, *Miconia affinis*, *Bactris ferruginea* e *Dialium guianense* apresentam tendência de preferência por áreas com teores mais elevados e argila. O aumento da densidade e resistência à penetração do solo, bem como da compactação, podem causar pouca restrição ao crescimento das raízes de *Parkia pendula*, *Pouteria durlandii* e *Schefflera morototoni*. Portanto, essas espécies podem ser indicadas para plantio em áreas com essas características.

Artocarpus heterophyllus, *Eriotheca gracilipes*, *Hevea brasiliensis*, *Luehea ochrophylla* e *Mabea piriri* apresentaram tendência de maior ocorrência em locais com melhores condições de fertilidade. Enquanto *Brosimum rubescens*, *Helicostylis tomentosa* e *Thyrsodium spruceanum* predominaram em locais com solos mais ácidos e maiores teores de Al^{3+} e $(\text{H} + \text{Al})$, podendo ser indicadas para recomposição florestal em áreas com solos de baixa fertilidade.

Os atributos físicos e químicos do solo, bem como as espécies florestais avaliadas tiveram dependência espacial, seguindo padrões espaciais bem definidos. No entanto, padrões generalistas da influência dos atributos do solo na distribuição e abundância de espécies florestais, só devem ser conclusivos após muitas repetições em áreas distintas, devido a complexa relação existente entre o solo e comunidades florestais.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. C. R.; RODRIGUES, P. J. F. P. Exotic tree *Artocarpus heterophyllus* (Moraceae) invades the Brazilian Atlantic Rainforest. **Rodriguésia**, v. 61, n. 4, p. 677-688, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201061409>
- ADDINSOFT. XLSTAT statistical and data analysis solution. New York, USA. 2020. [https:// www.slstat.com](https://www.slstat.com)
- AGUIAR, A. P.; CHIARELLO, A. G.; MENDES, S. L.; MATOS, E. D. The central and Serra do Mar corridors in the Brazilian Atlantic Forest. In: GALINDO-LEAL, C.; CAMARA, I. G. **The Atlantic Forest of South America: status, threats and outlook center for applied biodiversity science at conservation international**. Washington: Island Press, 2003. p.118-132.
- ALMEIDA, E. C.; ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Solos tropicais**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_1_2212200611535.html> Acesso em: 20 de nov. 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25 -32.
- ALVES JUNIOR, F. T.; BRANDÃO, C. F. L. S.; ROCHA, K. D.; SILVA, J. T.; Marangon, L. C.; Ferreira, R. L. C. Estrutura diamétrica e hipsométrica do componente arbóreo de um fragmento de Mata Atlântica, Recife-PE. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 83-95, 2007.
- AMADI, J. A. C.; IHEMEJE, A.; AFAM-ANENE, O. C. Nutrient and phytochemical composition of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) pulp, seeds and leaves. **International Journal of Innovative Food, Nutrition & Sustainable Agriculture**, v. 6, n. 3, p. 27-32, 2018.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000300001>
- AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; WATZLAWICK, L. F.; LONGHI, S. J.; SEBEM, E. Influência da floresta alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela geoestatística. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 491-501, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622013000300012>

AMARAL, W. G.; PEREIRA, I. M.; MACHADO, E. L. M.; AMARAL, C. S.; FARNEZI, M. M. M. Correlação das espécies colonizadoras com o substrato em áreas abandonadas por mineração. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 718-729, 2020. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832243>

ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 857-865, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000400017>

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBADELLA, C. A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, p. 1945-1962, 2004.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016. <http://dx.doi.org/10.1111/boj.12385>

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Climatologia**. 2021. Disponível em: <https://www.apac-homo.pe.gov.br/193-climatologia/519-climatologia>. Acesso em: 08 jan. 2021.

APARÍCIO, W. C. S.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FELICIANO, A. L. P.; APARÍCIO, P. S.; COSTA JUNIOR, R. F. Estrutura da regeneração natural de espécies arbóreas em um fragmento de Mata Atlântica, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 483-488, 2011. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i3a791>

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832004000200012>

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000500025>

ARCHANJO, K. M. P.; SILVA, J. S.; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B. Estrutura do componente arbóreo da reserva particular do patrimônio natural cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 145-160, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v42i1.26311>

BALDECK, C. A.; HARMS, K. E.; YAVITT, J. B.; JOHN, R.; TURNER, B. L.; VALENCIA, R.; NAVARRETE, H.; DAVIES, S. J.; CHUYONG, G. B.; KENFACK, D. Soil resources and topography shape local tree community structure in tropical

forests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1753, 2013. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2532>

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BAUTISTA-CRUZ, A.; CASTILLO, R. F.; ETCHEVERS-BARRA, J. D.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M. C.; BAEZ, A. Selection and interpretation of soil quality indicators for forest recovery after clearing of a tropical montane cloud forest in Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 277, p. 74-80, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.013>

BERGALLO, H. G.; BERGALLO, A. C.; ROCHA, H. B.; ROCHA, C. F. D. Invasion by *Artocarpus heterophyllus* (Moraceae) in an island in the Atlantic Forest Biome, Brazil: distribution at the landscape level, density and need for control. **Journal of Coastal Conservation**, v. 20, n. 3, p. 191-198, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11852-016-0429-9>

BHARDWAJ, A. K.; JASROTIA, P.; HAMILTON, S. K.; ROBERTSON, G. P. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 140, n. 3-4, p. 419-429, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.005>.

BOTREL, R. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; RODRIGUES, L. A.; CURI, N. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, p. 195-213, 2002.

BRAGA, A. J. T.; BORGES, E. E. L.; MARTINS, S. V. Influência dos fatores edáficos na variação florística de floresta Estacional Semidecidual, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 623-633, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400004>

BREJDA, J. J.; MOORMAN, T. B.; KARLEN, D. L.; DAO, T. H. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 2115-2124, 2000.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CAMARGOS, V. L.; SILVA, A. F.; MEIRA NETO, J. A. A.; MARTINS, S. V. Influência de fatores edáficos sobre variações florísticas na Floresta Estacional Semidecidual no entorno da Lagoa Carioca, Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 75-84, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062008000100010>

CAMPANILI, M.; SCHAFFER, W. B. **Mata Atlântica: manual de adequação ambiental**. Brasília: MMA/SBF, 2010. 96p.

CAPOBIANCO, J. P. **Dossiê Mata Atlântica 2001**. São Paulo: ISA, 2001. 409p.

CARVALHO, F. A. Síndromes de dispersão de espécies arbóreas de Florestas Ombrófilas Submontanas do estado do Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, p. 1017-1023, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622010000600007>

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; COELHO, M. A. N.; MARTINS, E. S.; GOMES, A. T. G.; COUTO JUNIOR, A. F.; , S. N.; SANTANA, O. A. Mapeamento da vegetação na Floresta Atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 3, p. 331-345, 2008.

CAVALCANTE, D. M.; SILVA, A. P. F.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, T. H. S.; CAVALCANTE, F. M. S. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104951, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2021.104951>

CAVALCANTI, R. Q.; ROLIM, M. M.; LIMA, R. P.; TAVARES, U. E.; PEDROSA, E. M. R.; CHERUBIN, M. R. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome, northeastern Brazil. **Geoderma**, v. 370, p. 114353, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114353>

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2006001100013>

COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e três estágios sucessionais de floresta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 00091914, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.091914>

CRANE, J. H.; BALERDI, C. F.; CAMPBELL, R. J. The Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) in Florida. University of Florida IFAS Extension. Fact Sheet HS-882. 2002.

CRESPO-MENDES, N.; LAURENT, A.; BRUUN, H. H.; HAUSCHILD, M. Z. Relationships between plant species richness and soil pH at the level of biome and ecoregion in Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 266-275, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoliind.2018.11.004>

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006. 579p.

CUNHA, A. M.; FONTES, M. P. F.; LANI, J. L. Mineralogical and chemical attributes of soils from the Brazilian Atlantic Forest domain. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 1, p. 82-92, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0109>

DIAS, H. C. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA, A. P.; MICHEL, R. F. M.; LEMOS JUNIOR, J. B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 469-481, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832003000300009>

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. <http://dx.doi.org/10.1111/jvs.12002>

ELIAS, F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; OLIVEIRA, F. J. M.; OLIVEIRA, J. C. A.; MARIMON, B. Schwantes. Soil and topographic variation as a key factor driving the distribution of tree flora in the Amazonia/Cerrado transition. **Acta Oecologica**, v. 100, p. 103467, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2019.103467>

ELIAS, F.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; BUDKE, J. C.; ESQUIVEL-MUELBERT, A.; MORANDI, P. S.; REIS, S. M.; PHILLIPS, O. L. Idiosyncratic soil-tree species associations and their relationships with drought in a monodominant Amazon forest. **Acta Oecologica**, v. 91, p. 127-136, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2018.07.004>

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ESPIG, D. B. Composição e eficiência da utilização biológica de nutrientes em fragmento de Mata Atlântica em Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 307-314, 2008b. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098441>

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ESPIG, D. B. Distribuição de nutrientes entre a vegetação florestal e o solo em fragmento de mata atlântica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 132-137, 2008a. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v3i2a342>

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ESPIG, D. B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 949-956, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622009000500017>

ESPÍRITO-SANTO, F. del B.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; MACHADO, E. L. M.; SOUZA, J. S.; FONTES, M. A. L.; MARQUES, J. J. G. S. M. Variáveis ambientais e a distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de floresta estacional semidecídua montana no campus da Universidade Federal de Lavras, MG. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 3, p. 331-351, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062002000300006>

FABRICANTE, J. R.; ARAÚJO, K. C. T.; ANDRADE, L. A.; FERREIRA, J. V. A. Invasão biológica de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) em um fragmento

de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil: impactos sobre a fitodiversidade e os solos dos sítios invadidos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 399-407, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062012000200015>

FINGER, Z.; OESTREICH FILHO, E. Efeitos do solo e da altitude sobre a distribuição de espécies arbóreas em remanescentes de cerrado *sensu stricto*. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 1, p. 27-33, 2014.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata atlântica: Relatório Técnico: período 2017-2018**. São Paulo: INPE, 2019. 35p.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H. D. F.; BEZERRA, C. L. F. Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

GONÇALVES, P. S.; CARDOSO, M.; ORTOLAN, A. A. Origem, variabilidade e domesticação da *Hevea*: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 135-156, 1990.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows version 8.0. Colorado: Golden Software, 2002.

GONZAGA, M. I. S.; BISPO, M. V. C.; SILVA, T. L.; SANTOS, W. M.; SANTANA, I. L. Atlantic Forest soil as reference in the soil quality evaluation of coconut orchards (*Cocos nucifera* L) under different management. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3847-3858, 2016. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p3847>

GOTARDO, R.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E. Características químicas e físicas de um Cambissolo Háplico do Bioma Mata Atlântica sob diferentes usos de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 3, p. 1039-1066, 2020. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n3p1039-1066>

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I.F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n2p219>

HEINEMAN, K. D.; TURNER, B. L.; DALLING, J. W. Variation in wood nutrients along a tropical soil fertility gradient. **New Phytologist**, v. 211, n. 2, p. 440-454, 2016. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.13904>

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F.; BERNDT, E. J.; SOUZA JUNIOR, J. O.; GOIS, D. T. Florística

e estrutura do componente arbóreo e relação com variáveis ambientais em um remanescente florestal em Campos Novos - SC. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 35-46, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821089>

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F.; LINKE, C.; PAULINO, P. S. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages, SC. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 79-90, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/198050985081>

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Mata Atlântica**. 2015. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica>>. Acesso em: 02 de setembro de 2019.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE - Diretoria de Geociências, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p.459-473, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12989>

JOHN, R.; DALLING, J. W.; HARMS, K. E. Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species. **PNAS**, v. 104, n. 3, p. 864-869, 2007. <http://dx.doi.org/10.1073pnas.0604666104>

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BZEDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (Special Publication, 35)

LAURANCE, W. F.; FEARNside, P. M.; LAURANCE, S. G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T.; MERONA, J. M. R.; CHAMBERS, J. Q.; GASCON, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v. 118, n. 1-3, p. 127-138, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127\(98\)00494-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127(98)00494-0)

LIEBIG, M. A.; VARVEL, G. E.; DORAN, J. W. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 313-318. 2001.

LIMA, A. S.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; OLIVEIRA, L. S. B.; PESSOA, M. M. L. Regeneração natural de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 273-278, 2013. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2369>

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CÂNDIDO, B. M.; CURI, N.; OLIVEIRA, M. S. Spatialization of soil quality index in the Sub-Basin of Posses, Extrema, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

v. 20, n. 1, p. 78-84, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p78-84>

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURTI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 517-526, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000500008>

LIMA, J. A. S.; MENEGUELLI, N. A.; GAZEL FILHO, A. B.; PÉREZ, D. V. Agrupamento de espécies arbóreas de uma floresta tropical por características de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 109-116, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2003000100015>

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 127-136, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622010000100014>

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**, v. 28, n. 2, p. 542-553, 2018a. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832037>

LIMA, R. B. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; SILVA, R. K. S.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, C. S. Nutritional efficiency of plants as an indicator of forest species for the restoration of forests, Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 119, p. 415-426, 2018b. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n119.09>

LIMA, R. B. A.; MARANGON, L. C.; FREIRE, F. J.; FELICIANO, A. L. P.; FREIRE, M. B. G. S.; SILVA, R. K. S.; FREIRE, C. S. Nutritional contribution of litter in rainforest of Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 3, p. 254-266, 2019a. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n3p254>

LIMA, R. B. A.; MARANGON, L. C.; FREIRE, F. J.; FELICIANO, A. L.; SILVA, R. K. S. Structure and diversity in Ombrophilous Forest in the Zona da Mata of Pernambuco. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, p. e.20170602, 2019b. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.060217>

LOPES, L. C. M.; MARIANO-NETO, E.; AMORIM, A. M. Can soil types explain species distributions? Evaluating the woody understory component of a tropical forest in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 251-259, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-015-0235-x>

LOZADA, J. R.; SORIANO, P.; COSTA, M. Relaciones suelo-vegetación en una toposecuencia del Escudo Guayanés, Venezuela. **Revista de Biología Tropical**, v. 62, n. 1, p. 385-401, 2014.

MALHI, Y.; GARDNER, T. A.; GOLDSMITH, G. R.; SILMAN, M. R.; ZELAZOWSKI, P. Tropical Forests in the Anthropocene. **Annual Review of Environment and**

Resources, v. 39, n. 1, p. 125-159, 2014. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-030713-155141>

MARIMON, B. S.; FELFILI, J. M.; HARIDASAN, M. Studies in monodominant forests in eastern Mato Grosso, Brazil: I. A forest of *Brosimum rubescens* taub. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 58, n. 1, p. 123-137, 2001a. <http://dx.doi.org/10.1017/s096042860100049x>

MARIMON, B. S.; FELFILI, J. M.; HARIDASAN, M. Studies in monodominant forests in eastern Mato Grosso, Brazil: II. A forest in the Areões Xavante Indian Reserve. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 58, n. 3, p. 483-497, 2001. <http://dx.doi.org/10.1017/s0960428601000798>

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B. **Solos do Nordeste**. Embrapa Solos: Recife, 2014. 14p.

MARTINS, S. C.; SOUSA NETO, E.; PICCOLO, M. C.; ALMEIDA, D. Q. A.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; PORDER, S.; LINS, S. R. M.; MARTINELLI, L. A. Soil texture and chemical characteristics along an elevation range in the coastal Atlantic Forest of Southeast Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 106-116, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.04.005>

MARTINS, S. V.; SILVA, N. R. S.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A. Distribuição de espécies arbóreas em um gradiente topográfico de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 172-181, 2003.

MCGILL, B. J. Matters of Scale. **Science**, v. 328, n. 5978, p. 575-576, 2010. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1188528>

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1599-1608, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000600036>

MENDES, A. D. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; NASCIMENTO, M. N.; REIS, K. L.; BONOME, L. T. S. Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 525-532, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672012000400010>

MENDES, M. S.; LATAWIEC, A. E.; SANSEVERO, J. B. B.; CROUZEILLES, R.; MORAES, L. F. D.; CASTRO, A.; ALVES-PINTO, H. N.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; CHAZDON, R. L.; BARROS, F. S. M.; SANTOS, J.; IRIBARREM, A.; MATA, S.; LEMGRUBER, L.; RODRIGUES, A.; KORYS K.; STRASSBURG, B. B. N. Look down-there is a gap-the need to include soil data in Atlantic Forest restoration. **Restoration Ecology**, v. 27, n. 2, p. 361-370, 2018. <http://dx.doi.org/10.1111/rec.12875>

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: Ed. da UFV, 2005. 107p.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 297p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. **Monitoramento do bioma Mata Atlântica 2008 a 2009**. 2012. 101p.

MITTERMEIER, R. A.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. Global Biodiversity Conservation: the critical role of hotspots. In: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds). **Biodiversity Hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 3-22.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

MUKHOPADHYAY, S.; MASTO, R.; YADAV, A.; GEORGE, J.; RAM, L.C.; SHUKLA, S.P. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 540-550, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.035>

NETTESHEIM, F. C.; MENEZES, L. F. T.; CARVALHO, D. C.; CONDE, M. M. S.; ARAUJO, D S. D. Influence of environmental variation on Atlantic Forest tree-shrub-layer phytogeography in southeast Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 2, p. 369-377, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062010000200007>

OLIVEIRA, D. P.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; FARIAS, P. R. S.; COSTA, M. C. G. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CURI, N.; VILELA, E. A.; CARVARLHO, D. A. Variation in tree community composition and structure with changes in soil properties within a fragment of semideciduous forest in south-eastern Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 58, n. 1, p. 139-158, 2001. <http://dx.doi.org/10.1017/s0960428601000506>

OLIVEIRA, L. S. B.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; CARDOSO, M. O.; LIMA, A. S.; ALBUQUERQUE, M. J. B. Fitossociologia da regeneração natural de uma Floresta Ombrófila densa em Moreno, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 119-124, 2013. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i1a2097>

OLIVEIRA, L. S. B.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; LIMA, A. S.; CARDOSO, M. O.; SILVA, V. S. Florística, classificação sucessional e síndromes de dispersão em um remanescente de Floresta Atlântica, Moreno-PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 502-507, 2011. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i3a1384>

OLIVEIRA, L. S. B.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; CARDOSO, M. O.; LIMA, A. S.; SANTOS, W. B.; SILVA, V. F. Structure of the woody component of an Atlantic forest Fragment, Moreno - PE. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 203-212, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p203>

PEIXE, A. S. M.; TORRES, M. F. A. Degradação ambiental em fragmento de Mata Atlântica: reserva ecológica do Jardim Botânico do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 762-778, 2011.

PIJL, V. D. L. **Principles of dispersal in higher plants**. New York: Springer-Verlag, 1982. 162p.

PINTO, M. N.; LIMA, A. R.; MEIRA NETO, J. A. Ecologia funcional: relação do gradiente pedológico e abundância de espécies lenhosas do Cerrado Brasileiro. **Biota Amazônia**, v. 10, n. 1, p. 6-10, 2020.

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na reserva florestal mata do paraíso em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 653-663, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622009000400008>

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T.; KUNZ, S. H. Influência de variáveis ambientais na distribuição de espécies arbustivas e arbóreas em dois sítios de Floresta Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. **Rev. Biol. Trop.**, vol. 56, n. 3, p. 1557-1569, 2008.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000200032>

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420p.

RANTA, P.; BROM, T.; JOENSUU, E.; MIKKO, S. The fragmented atlantic forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity Conservation**, v. 7, p. 385-403, 1998. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1008885813543>

RAULINO, W. N. C.; FREIRE, F. J.; ASSUNÇÃO, E. A. A.; ATAIDE, K. M. P.; SILVA, H. V.; SILVA, A. C. F. Nutrition of tree species in tropical dry forest and rainforest environments. **Revista Ceres**, v. 67, n. 1, p. 70-80, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x202067010010>

RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 261-269, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000300001>

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

ROCHA JUNIOR, P. R.; STURIAÑO, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indic.2020.100047>

RODRIGUES, L. A.; CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; CURI, N. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 25-35, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622007000100004>

RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F.; GENÚ, A. M.; HESS, A. F.; EBLING, A. A. Atributos de um solo florestal em uma topossequência e relações com a comunidade arbórea. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 145-154, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/uf.v46i2.36219>

ROUSSEAU, G. X.; DEHEUVEL, O.; ARIAS, I. R.; SOMARRIBA, E. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 535 - 543, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.008>

ROVEDA, M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PELISSARI, A. L.; GENÚ, A. M.; ROIK, M. modelagem geoestatística da estrutura espacial arbórea e dos atributos do solo em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 67-76, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/uf.v48i1.50271>

ROVEDDER, A. P. M.; ALMEIDA, C. M.; ARAUJO, M. M.; TONETTO, T. S.; SCOTTI, M. S. V. Relação solo-vegetação em remanescente da floresta estacional decidual na Região Central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2178-2185, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000500018>

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. (E-book).

SANTOS, J. H. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SOUZA, A. L. S.; SANTOS, E. S.; MEUNIER, I. M. J. Distinção de grupos ecológicos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 387-396, 2004.

SANTOS, M. C. N.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; ÁVILA, L. F. Spatial continuity of soil attributes in an Atlantic Forest remnant in the Mantiqueira Range, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 1, p. 68-77, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542013000100008>

SANTOS, R. O.; LIMA, R. B.; SOARES, R. N.; DANTAS, B. S.; BRITO, A. C.; CORDEIRO, M. V.; ABREU, J. C.; SILVA, B. M. S. Influence of the soil on the spatial structure of forest species – preliminary results in a terra firme secondary forest plot,

Amapá, Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 82, n. 2, p. 179-195, 2020. <https://doi.org/10.2989/20702620.2020.1759294>

SARCINELLI, T. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARCO JÚNIOR, P.; LEITE, F. P. Representatividade fisiográfica e pedológica de fragmentos de floresta nativa em áreas de plantios homogêneos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 499-509, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622012000300012>

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H. V.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127\(00\)00423-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127(00)00423-0)

SCHOSSLER, T. R.; MANTOVANELL, B. C.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, M. M.; ALMEIDA, C. D. G. C.; FREIRE, M. B. G. S. Geospatial variation of physical attributes and sugarcane productivity in cohesive soils. **Precision Agriculture**, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-019-09652-y>

SHARMA, K. L.; MANDAL, U. K.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K. P. R.; MANDAL, B.; GRACE, J. K.; RAMESH, V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. **Soil and Tillage Research**, v. 83, n. 2, p. 246-259, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.08.002>

SILVA, N. D.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; SILVA, J. A. A. Structure and successional classification of the shrub-arboreal component in a remnant of Atlantic Forest, Northeastern Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-16, 2019. <http://dx.doi.org/10.9734/jeai/2019/v40i530375>

SILVA, R. K. S.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; LIMA, R. B. A.; SCHOSSLER, T. R.; SILVA, A. C. F. Soil fertility as a predictor of the geospatial distribution of forest species in natural regeneration in Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 19, n. 4, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/38652>

SOUZA, J. S.; ESPÍRITO-SANTO, F. del B.; FONTES, M. A. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; BOTEZELLI, L. Análise das variações florísticas e estruturais da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua às margens do rio Capivari, Lavras-MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 185-206, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622003000200009>

SOUZA, P. B.; LELIS, J. J.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A. Distribution of tree species in a geomorphological and pedological gradient of submontane semideciduous seasonal forest in the vicinity of Rio Doce state park, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 707-718, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622012000400012>

STEHMANN, J. R.; FORZZA, R. C.; SALINO, A.; SOBRAL, M.; COSTA, D. P.; KAMINO, L. H. Y. **Plantas da Floresta Atlântica**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2009. 516p.

TAVARES, L. S.; VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; ESPINOSA, M. M. Análise multivariada de espécies florestais nativas em relação aos atributos químicos e texturais do solo na região de Cotriguaçu- MT. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 281-291, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509823577>

TEIXEIRA, H. M.; CARDOSO, I. M.; BIANCHI, F. J. J. A.; SILVA, A. C.; JAMME, D.; PEÑA-CLAROS, M. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 457, p. 117696, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117696>

TEIXEIRA, L. J.; FELICIANO, A. L. P.; GALINDO, I. C. L.; MARTINS, C. M.; ALENCAR, A. L. Relações entre a florística arbórea e características do solo em um fragmento de Floresta Atlântica, Tamandaré – PE. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 625-634, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv40i3.18924>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. Z. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 574p.

TER BRAAK, C. J. F.; PRENTICE, I. C. A theory of gradient analysis. **Advances in Ecological Research**, v. 18, n. 1, p. 271-317, 1988. [http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2504\(08\)60183-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2504(08)60183-x)

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1986. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60673-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60673-2)

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Soil survey manual (USDA Handbook 18)**. Washington, D. C.: Soil Survey Division Staff, 2017. 639p.

URIARTE, M.; TURNER, B. L.; THOMPSON, J.; ZIMMERMAN, J. K. Linking spatial patterns of leaf litterfall and soil nutrients in a tropical forest: a neighborhood approach. **Ecological Applications**, v. 25, n. 7, p. 2022-2034, 2015. <http://dx.doi.org/10.1890/15-0112.1>

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 381-386, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000400004>

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 2, p. 175-184, 1983. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x>

VIEIRA, S. R.; HATFELD, J. L.; NIELSEN, D. R. E.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983. <http://dx.doi.org/10.3733/hilg.v51n03p075>

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Formação do solo tropical**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn362j9v02wx5ok0liq1mqy0jc9b7.html> Acesso em: 20 de nov. 2020.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, n. 3, p. 431-446, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84042011000300016>