



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**JOÃO MÁRIO COMPER COVRE**

**FLORA E ECOLOGIA DE COMUNIDADES LENHOSAS DE  
INSELBERGS NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM, ESPÍRITO SANTO,  
BRASIL**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

**JOÃO MÁRIO COMPER COVRE**

**FLORA E ECOLOGIA DE COMUNIDADES LENHOSAS DE  
INSELBERGS NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM, ESPÍRITO SANTO,  
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Ciências Florestais.

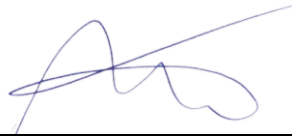
Orientador: Prof. Dr. Henrique Machado Dias  
Coorientadores: Dr. Dayvid Rodrigues Couto e  
Dra. Talitha Mayumi Francisco

**FLORA E ECOLOGIA DE COMUNIDADES LENHOSAS DE INSELBERGS NA  
BACIA DO RIO ITAPEMIRIM, ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

**João Mário Comper Covre**

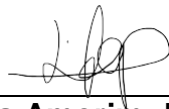
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 26 de outubro de 2021.



---

**Prof. Dr. Marcelo Trindade Nascimento** (Examinador externo) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro



---

**Profª. Drª. Luiza Fonseca Amorim de Paula** (Examinadora externa) Universidade Federal de Minas Gerais



---

**Prof. Dr. Henrique Machado Dias** (Orientador) Universidade Federal do Espírito Santo

C736f Comper Covre, João Mário, 1993-  
Flora e Ecologia de comunidades lenhosas de inselbergs na  
bacia do rio Itapemirim, Espírito Santo, Brasil / João Mário  
Comper Covre. - 2021.  
110 f. : il.

Orientador: Henrique Machado Dias.

Coorientadores: Dayvid Rodrigues Couto, Talitha Mayumi  
Francisco.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências  
Agrárias e Engenharias.

1. Mata Atlântica. 2. Inselbergs. 3. Plantas lenhosas. 4.  
Ecologia. 5. Fatores abióticos. 6. Diversidade das plantas -  
Conservação. I. Machado Dias, Henrique. II. Rodrigues Couto,  
Dayvid. III. Mayumi Francisco, Talitha. IV. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias. V. Título.

CDU: 630

---

## Dedicatória

A minha família, Jorge, Marcilene, Inez e Marcos, minha base.  
Dedico este trabalho.

## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade que me foi concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) (EDITAL FAPES/CAPEL N° 29/2018 - PROCAP 2019 - MESTRADO) pela bolsa de estudo, onde pude me dedicar integralmente na execução deste trabalho.

Aos meus pais Jorge e Marcilene, meu irmão Marcos Vinícius e avó Inez, por serem meus maiores exemplos de amor, incentivo e apoio incondicional.

À minha namorada Amanda, por todo apoio e incentivo nesses anos de companheirismo.

Ao professor Henrique Machado Dias, pela orientação e apoio na elaboração deste trabalho, além da oportunidade e paciência para minha aprendizagem nesses anos que trabalhamos em conjunto.

Ao amigo e coorientador Dayvid Rodrigues Couto, por todos os ensinamentos, conselhos, incentivo e por me inserir nos estudos de plantas em complexos rochosos, um mundo, até então, pouco conhecido por mim e que me fascina.

À coorientadora Talitha Mayumi Francisco, por toda ajuda nas análises estatísticas, ideias, incentivo, paciência para me ensinar e auxílio na elaboração deste trabalho.

Aos que me ajudaram nas identificações das espécies: Amélia Tuler, Dayvid Rodrigues Couto, Heric Barreto Viana, João Paulo Zorzanelli. Também à todos os colegas do NUPEMASE, que ajudaram de forma direta ou indireta.

À banca examinadora pela disponibilidade em avaliar esta pesquisa.

Meu agradecimento ao Alex (Alexandro José de Almeida), do laboratório de solos da UFES, pelo auxílio, explicações e pela paciência durante todo o processo das análises do solo.

Por fim, a todos que fizeram parte deste caminho, mesmo não estando presente, a minha completa gratidão.

## RESUMO GERAL

COVRE, J. M. C. **Flora e Ecologia de comunidades lenhosas de inselbergs na bacia do rio Itapemirim, Espírito Santo, Brasil.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. Dr. Henrique Machado Dias. Coorientadores: Dr. Dayvid Rodrigues Couto e Dra. Talitha Mayumi Francisco.

A Floresta Atlântica representa domínios biogeográficos mais biodiversos do planeta, onde destacam-se os inselbergs, que são afloramentos rochosos formados por rochas graníticas e/ou gnáissicas, elementos de destaque na paisagem. Por conta de condições ambientais limitantes, esses ambientes abrigam espécies vegetais altamente especializadas com adaptações e características específicas, gerando uma flora com elevados níveis de diversidade e endemismo, tornando-os excelentes locais para estudos científicos. Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a flora e avaliar os padrões estruturais da vegetação lenhosa e sua relação com fatores abióticos, em três inselbergs graníticos na bacia do Rio Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. No primeiro capítulo, analisamos a composição da flora lenhosa das ilhas de vegetação e escrube de três inselbergs que compõe o Complexo Pedra das Andorinhas (CPA) e sua similaridade com outros 12 inselbergs estudados no Brasil, por meio de análises de agrupamento e ordenação. Com base em 20 expedições de campo realizadas entre os anos 2019 e 2020 e dados de literatura, registramos um total de 27 espécies, 25 gêneros e 16 famílias. As famílias Fabaceae e Myrtaceae, e o gênero *Eugenia* foram os mais ricos em espécies. As síndromes de polinização e de dispersão predominantes foram entomofilia e zoocoria. Além disso, *Ficus cyclophylla*, *Trigoniodendron spiritusanctense* e *Wunderlichia azulensis* configuram na lista nacional de espécies ameaçadas, e *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* e *Wunderlichia azulensis* são endêmicas de inselbergs da Mata Atlântica e Caatinga. Quanto a distribuição geográfica, predominaram espécies endêmicas da Mata Atlântica (33%) e espécies com ampla distribuição geográfica entre os domínios fitogeográficos brasileiros (30%). O CPA possui mais espécies em comum com outros inselbergs de Floresta Estacional Semidecidual submontana do sul do Espírito Santo, em função da distância geográfica. Para o segundo capítulo, nos três inselbergs do CPA foram alocadas 12 parcelas de 20 x 20 m (quatro parcelas por inselberg),

distribuídas ao acaso em áreas de vegetação lenhosa. Todos os indivíduos lenhosos que possuíam DAP > 5 cm foram incluídos e os fatores abióticos coletados em cada parcela foram: propriedades físico-químicas do solo, profundidade do solo, declividade e área exposta de rocha. Não encontramos diferenças na composição/diversidade de espécies entre os três inselbergs. No geral, foram contabilizados 275 indivíduos lenhosos, distribuídos em 20 espécies, 18 gêneros, 12 famílias. As famílias mais ricas em termos de número de espécies foram Fabaceae (cinco espécies) e Myrtaceae (três espécies). A densidade média de indivíduos foi de 573 ind. ha<sup>-1</sup> e área basal total de 8,782 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, e as espécies com maiores valores de IVI para todas as áreas foram *Pilocarpus spicatus* e *Pseudobombax aff petropolitanum*. Os nossos resultados apoiam a hipótese de que as propriedades físicas do inselberg (declividade, profundidade de solo e área exposta de rocha) desempenha um papel relevante na estruturação da vegetação lenhosa, influenciando na abundância, riqueza e diversidade de espécies. Este estudo oferece a primeira contribuição para conhecimentos da flora lenhosa de inselbergs graníticos do Espírito Santo.

**Palavras-chave:** afloramentos graníticos, conservação, espécies lenhosas, estrutura horizontal, fatores abióticos, Floresta Atlântica.



## GENERAL ABSTRACT

COVRE, J. M. C. **Flora and Ecology of woody inselberg communities in the Itapemirim River Basin, Espírito Santo, Brazil.** 2021. Dissertation (Masters in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Adviser: Prof. Dr. Henrique Machado Dias. Co-advisors: Dr. Dayvid Rodrigues Couto and Dra. Talitha Mayumi Francisco.

The Atlantic Forest represents the most biodiverse biogeographic domains on the planet, where inselbergs stand out, which are rocky outcrops formed by granitic and/or gneissic rocks, prominent elements in the landscape. Due to limiting environmental conditions, these environments are home to highly specialized plant species with specific adaptations and characteristics, generating a flora with high levels of diversity and endemism, making them excellent places for scientific studies. Thus, the present study aimed to characterize the flora and evaluate the structural patterns of woody vegetation and its relationship with abiotic factors, in three granitic inselbergs in the Itapemirim River basin, Espírito Santo, Brazil. In the first chapter, we analyze the composition of the woody flora of the vegetation and scrube islands of three inselbergs that make up the Pedra das Andorinhas Complex (CPA) and its similarity with other 12 inselbergs studied in Brazil, through clustering and ordination analyses. Based on 20 field expeditions carried out between 2019 and 2020 and literature data, we recorded a total of 27 species, 25 genera and 16 families. The Fabaceae and Myrtaceae families, and the *Eugenia* genus were the richest in species. The predominant pollination and dispersal syndromes were entomophilia and zoochory. In addition, *Ficus cyclophylla*, *Trigoniodendron spiritusanctense* and *Wunderlichia azulensis* make up the national list of threatened species, and *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* and *Wunderlichia azulensis* are endemic to inselbergs from the Atlantic Forest and Caatinga. As for the geographic distribution, the predominant species were endemic to the Atlantic Forest (33%) and species with wide geographic distribution among the Brazilian phytogeographic domains (30%). The CPA has more species in common with other submontane seasonal semideciduous forest inselbergs in southern Espírito Santo, as a function of geographic distance. For the second chapter, in the three inselbergs of the CPA, 12 plots of 20 x 20 m were allocated (four plots per inselberg), randomly distributed in areas of woody vegetation. All woody

individuals that had DBH > 5 cm were included and the abiotic factors collected in each plot were: soil physicochemical properties, soil depth, slope and exposed area of rock. We found no differences in species composition/diversity between the three inselbergs. Overall, 275 woody individuals were counted, distributed in 20 species, 18 genera, 12 families. The richest families in terms of number of species were Fabaceae (five species) and Myrtaceae (three species). The average density of individuals was 573 ind. ha<sup>-1</sup> and total basal area of 8,782 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, and the species with the highest IVI values for all areas were *Pilocarpus spicatus* and *Pseudobombax aff petropolitanum*. Our results support the hypothesis that the physical properties of the inselberg (slope, soil depth and exposed rock area) play a relevant role in the structuring of woody vegetation, influencing the abundance, richness and diversity of species. This study offers the first contribution to the knowledge of the woody flora of granitic inselbergs in Espírito Santo.

**Keywords:** abiotic factors, Atlantic Forest, conservation, granitic outcrops, horizontal structure, woody species.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1:** Localização do Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, e dos inselbergs utilizados na similaridade florística (Ver tabela 1) ..... 38

**Figura 2:** Aspectos gerais dos inselbergs estudados no Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil: a. Vista panorâmica do complexo Pedra das Andorinhas e seu entorno antropizado; b. Aspecto geral da vegetação lenhosa em Pedra Três Irmãs; c. Aspecto geral da vegetação lenhosa em Pedra da Andorinha; d. Aspecto geral da vegetação lenhosa em Pedra Parada Cristal..... 44

**Figura 3:** Espécies lenhosas registradas para o Complexo Pedra das Andorinhas. **a.** *Pilocarpus spicatus*; **b.** *Calliandra harrisii*; **c.** *Ficus cyclophylla*; **d/e.** *Erythroxylum deciduum*; **f.** *Aspidosperma gomezianum*; **g/h.** *Eugenia puniceifolia*; **i/j.** *Kielmeyera membranaceae*; **k/l.** *Myrciaria floribunda*. ..... 455

**Figura 4:** Espécies lenhosas registradas para o Complexo Pedra das Andorinhas. **a/b.** *Ceiba erianthos*; **c.** *Pleroma heteromallum*; **d.** *Wunderlichia azulensis*; **e/f.** *Pseudobomax petropolitanum*; **g.** *Tabebuia reticulata*. ..... 466

**Figura 5:** Dendrograma de similaridade (índice de Jaccard) obtido pela análise de 201 espécies e 13 áreas de inselbergs brasileiros. Coeficiente de correlação cofenética = 0,9241.. ..... 50

**Figura 6:** Análises das coordenadas principais (PCoA) de 201 espécies e 13 áreas de inselbergs brasileiros (Tabela 1)..... 50

### CAPÍTULO 2

**Figura 1:** **a.** Localização dos três inselbergs estudados, pertencentes ao Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil; **b.** Imagem panorâmica do CPA (1 = Pedra da Andorinha, 2 = Pedra Três Irmãs e 3 = Pedra Parada Cristal); **c.** Aspecto geral da vegetação lenhosa estudada em Pedra Parada Cristal. .... 677

**Figura 2:** Vista panorâmica das áreas de estudo e das coletas de dados: **a.** Vista geral do complexo Pedra das Andorinhas e seu entorno antropizado; **b.** Coleta de solo para as análises químicas e físicas; **c.** Mensuração da declividade do terreno utilizando um clinômetro; **d.** Amostragem da profundidade do solo. .... 700

**Figura 3:** Curvas de rarefação e estimativas de riqueza de espécies lenhosas baseada no número de parcelas amostradas nos três inselbergs (**a**) e para os três inselbergs separadamente, Pedra da Andorinha (**b**); Pedra Parada Cristal (**c**) e Pedra Três Irmãs (**d**). Linha preta sólida exibe o número observado de espécies no conjunto de dados com seus respectivos intervalos de confiança a 95% (linhas pretas

pontilhadas) e o número de espécies estimadas, utilizando dois estimadores-não paramétricos de riqueza: Chao 2 e Jackknife 1.....788

**Figura 4:** Representação bidimensional do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS), ilustrando a ordenação da composição de espécies lenhosas nos três inselbergs estudados (PA: Pedra da Andorinha, PC: Pedra Parada Cristal, PI: Pedra das Três Irmãs). Foi utilizado matriz de distância de Bray-Curtis (stress = 0,109). Os símbolos representam as parcelas de 20 x 20 m. ....80

**Figura 5:** Relação florística e espécies arbóreas exclusivas e compartilhadas registradas nos três inselbergs estudados. **a.** Dendrograma (índice de similaridade de Jaccard) gerado pelo algoritmo UPGMA. Coeficiente de correlação cofenética = 0,995; **b.** Diagrama de Venn mostrando as espécies exclusivas e compartilhadas entre os três inselbergs estudados. PA: Pedra da Andorinha; PC: Pedra Parada Cristal e PI: Pedra Três Irmãs.....811

**Figura 6:** Ordenações de diferentes variáveis e parcelas em vegetação lenhosa de inselbergs utilizando Análise de Fatores Múltiplos (MFA); **a.** Correlação entre os grupos (características da comunidade lenhosa, propriedades físicas do inselberg e físicas e químicas do solo) e as dimensões 1 e 2; **b.** Correlações entre as variáveis de cada grupo (Tabela 3) e suas pontuações nas dimensões. As setas indicam a ponderação dos vetores que representam as variáveis nos três grupos; **c.** Projeção das 12 parcelas nos três inselbergs estudados (PA: Pedra da Andorinha, PC: Pedra Parada Cristal e PI: Pedra Três Irmãs). ....834

**Figura 7:** Matriz de correlação entre os parâmetros da comunidade e variáveis relacionados as propriedades físicas do inselberg e físicas e químicas do solo indicando as correlações significativas ( $p < 0,05$ ) correspondentes. Os espaços em branco mostram as variáveis que não estão significativamente correlacionadas. As cores representam os coeficientes de correlação Spearman, evidenciando a força e a magnitude da correlação. A intensidade da cor (claro a escuro) e o tamanho do círculo (pequeno a grande) são proporcionais aos coeficientes de correlação (0 a 1 para o coeficiente positivo e 0 a -1 para o coeficiente negativo). A legenda embaixo do correlograma apresenta os coeficientes de correlação de Spearman com suas cores correspondentes. Os valores de correlação são apresentados dentro de cada célula; correlações positivas são exibidas em azul e correlações negativas em vermelho. A matriz de correlação com todos dados está disponível na Tabela S3. Os nomes da variáveis podem ser acessadas na Tabela 1. ....877

**Figura S1:** Curvas de rank das abundâncias relativas das espécies arbóreas encontradas nos inselbergs. As espécies aparecem em ordem decrescentes de abundância. As três espécies mais abundantes na Pedra da Andorinha (círculos pretos) foram (1) *Pilocarpus spicatus*; (2) *Eugenia puniceifolia* e (3) *Pseudobombax aff petropolitanum*; na Pedra Parada Cristal (círculos cinza) foram (1) *Pilocarpus spicatus*; (2) *Pseudobombax aff petropolitanum* (3) *Ceiba erianthos* e na Pedra Três Irmãs (círculos brancos) foram (1) *Pilocarpus spicatus*; (2) *Pseudobombax aff petropolitanum* e (3) *Tabebuia reticulata*..... 1055

**Figura S2:** Gráficos das contribuições relativas (%) dos grupos e das variáveis que definem cada uma das duas primeiras dimensões da Análise de Múltiplos Fatores

(MFA). **(a)** e **(b)** Contribuições relativas dos três grupos de variáveis nas Dim 1 e Dim 2, respectivamente, a partir dos quais os componentes principais recebem pesos iguais no MFA. **(c)** e **(d)** Contribuições relativas das variáveis das características das comunidades e variáveis abióticas nas Dim 1 e Dim 2, respectivamente, as variáveis são coloridas por grupos. As coordenadas de todas as variáveis são mostradas na Figura 6b. \*  $p < 0,001$ . A linha tracejada vermelha nos gráficos acima indica o valor médio esperado, se as contribuições fossem uniformes..... 1078

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1:** Conjunto de dados avaliados por meio de análise multivariada e sua sigla (Acr.), localidade, domínios fitogeográficos (DF), riqueza de espécies (Spp.), gêneros (Gen.) e famílias (Fam.), principais famílias, coordenadas geográficas, elevação e fontes de referência..... 411

**Tabela 2:** Espécies lenhosas registradas no Complexo Pedra das Andorinhas, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. Síndrome de polinização (SP): Ent = entomofilia, Orn = ornitofilia, Qui = quiropterofilia; Síndrome de dispersão (SD): Ane = anemocórica, Zoo = zoocórica, Aut = autocórica; Domínio Fitogeográfico (DF): AD = ampla distribuição (ocorrem em mais de três domínios fitogeográficos no Brasil e/ ou fora do Brasil), Am = Amazônia, Ca = Caatinga, Ce = Cerrado, EN = endêmica da Mata Atlântica (Ma). “\*” = espécies ameaçadas de extinção; “\*\*\*” = espécies restritas à afloramentos rochosos. Voucher: Covre = João Mário Comper Covre. “-” = não aplicável. .... 478

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1:** Variáveis relacionadas as características da comunidade lenhosa, propriedades dos inselbergs (variáveis físicas), solo e principais espécies lenhosas para os três inselbergs estudados (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. .... 733

**Tabela 2:** Parâmetros estruturais obtidos para as espécies lenhosas nos três inselbergs estudados (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, classificadas de acordo com o índice de valor de importância (IVI%); Ni = número de indivíduos; AB = área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ); DA = densidade absoluta ( $ind. ha^{-1}$ ); DR = densidade relativa (%); FR = frequência relativa (%); DoR = dominância relativa (%). .... 755

**Tabela 3:** Riqueza e diversidade de espécies lenhosas para os três inselbergs estudados (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs), município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. (N) número de indivíduos; (S) número de espécies; (H') índice de diversidade de Shannon e equabilidade de Pielou (J). ..81

**Tabela 4:** Coeficientes RV (abaixo da diagonal - metade inferior esquerda da matriz) e valores P correspondentes (acima da diagonal) entre os três grupos de variáveis utilizadas na Análise de Múltiplos Fatores (MFA) nos três inselbergs. Coeficientes

significativos aparecem em negrito. ....866

**Tabela S1:** Variáveis químicas e físicas do solo, índice de rochosoide, declividade e profundidade do solo nos três inselbergs do Complexo Pedra das Andorinhas, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. Pedra da Andorinha (PA); Pedra Parada Cristal (PC); Pedra Três Irmãs (PI). .... 1066

**Tabela S2:** Autovalores, porcentagem de variância explicada e porcentagem cumulativa da variância contabilizada pelas diferentes dimensões para a variância total de 23 variáveis distribuídas em três grupos (ver métodos) nos três inselbergs. .... 1077

**Tabela S3:** Coeficientes de correlações de Spearman entre as características da comunidade lenhosa, variáveis abióticas relacionadas as propriedades físicas do inselberg e físicas e químicas do solo. Os valores de p significativos ( $p < 0,05$ ) estão apresentados em negrito. .... 1099

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>19</b>
2.1. Objetivo geral .....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
3.1. Caracterização geral dos ecossistemas rochosos de granito e gnaiss (inselbergs).....	20
3.2. Influência de fatores abióticos na distribuição de comunidades vegetais .....	23
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 1 – COMUNIDADES LENHOSAS EM INSELBERGS DA MATA ATLÂNTICA: PADRÕES DE RIQUEZA, SÍNDROMES DE POLINIZAÇÃO/DISPERSÃO E SIMILARIDADE</b> .....	<b>32</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
2.1. Área de Estudo.....	37
2.2. Inventário e características da Flora Lenhosa dos Inselbergs.....	38
2.3. Similaridade e análise estatística .....	39
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>43</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>55</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO 2 – COMUNIDADE LENHOSA EM INSELBERGS GRANÍTICOS DA MATA ATLÂNTICA: COMPOSIÇÃO, DIVERSIDADE, ESTRUTURA E EFEITO DE FATORES ABIÓTICOS</b> .....	<b>62</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>65</b>
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>66</b>
2.1. Área de Estudo.....	66
2.2. Amostragem da vegetação lenhosa .....	68

2.3. Coleta de dados de solo/fatores abióticos .....	68
2.4. Análise dos dados .....	71
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
3.1. Diversidade, Estrutura e Composição .....	75
3.2. Fatores abióticos .....	82
3.3. Relação entre fatores abióticos e características da comunidade lenhosa .....	83
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>94</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>95</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>104</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTAR.....</b>	<b>105</b>



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A geografia do Brasil é marcada pela grande diversidade geomórfologica, com variadas formações vegetacionais que sustentam uma grande riqueza florística, categorizada por domínios morfoclimáticos (AB'SÁBER, 1997; FERNANDES, 2003). Isso faz do Brasil um país com elevada biodiversidade, abrigando uma das floras mais ricas do mundo (BFG, 2018).

Entre os domínios fitogeográficos brasileiros, a Mata Atlântica ganha destaque, sendo enquadrada entre os 33 hotspots mundiais de biodiversidade, pelos elevados níveis de diversidade de espécies e endemismo e alto grau de ameaça (MITTERMEIER et al., 1999; MYERS et al., 2000). Embora muitos estudos tenham sido desenvolvidos, seu conhecimento ainda é insuficiente, visto que num período 20 anos foram descritas para o domínio Atlântico 42% de todas as novas espécies encontradas no Brasil restrito para determinadas localidades ao longo de toda sua amplitude territorial (SOBRAL; STEHMANN, 2009). O domínio Atlântico exhibe uma multiplicidade de fisionomias distribuídas ao longo de sua extensão, com estruturas e composições florísticas bem peculiares, moldadas principalmente, pelas propriedades climáticas e topográficas (AB'SÁBER, 1997; OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000).

Dentre os diversos ecossistemas associados ao domínio Atlântico, destaca-se a importância dos inselbergs, que são afloramentos rochosos formados por rochas graníticas e/ou gnaisses, elementos de destaque nas paisagens das regiões tropicais e subtropicais do globo terrestre, moldados por morros ou grupos de colinas (POREMBSKI; BARTHLOTT 2000; MIGNAUT et al., 2010). Esses ecossistemas singulares abrigam uma flora específica, distinta da vegetação ocorrente em seu entorno, por conta de influências edáficas e microclimáticas extremas (LARSON et al., 2000; GRÖGER; HUBER, 2007). A flora é altamente especializada com adaptações e características específicas, gerando elevados níveis de diversidade e endemismo, como consequência, são excelentes locais para estudos de biodiversidade (POREMBSKI; BARTHLOTT 2000; POREMBSKI, 2002, 2007; COUTO et al. 2017).

Três importantes regiões no mundo foram reconhecidas como as mais diversas para vegetação de inselbergs: o sudeste do Brasil se destaca juntamente com Madagascar e sudoeste da Austrália, formando um dos três *hotspots* mundiais de diversidade de plantas para este tipo de ecossistema (POREMBSKI, 2007). Neste contexto vale ressaltar os inselbergs situados no sul do estado do Espírito Santo,

reconhecidos pela sua importância biológica expressiva e prioritários para estudos florísticos, que devem ser priorizados para criação de áreas protegidas como Unidades de Conservação (MARTINELLI, 2007; COUTO et al. 2016). Entretanto, esses ecossistemas rochosos vêm sendo drasticamente impactados, principalmente pela extração e comércio de rochas ornamentais, comum na região sul do estado do Espírito Santo, considerado um dos maiores exploradores e exportadores de rochas ornamentais do mundo (SARDOU FILHO et al., 2013). Esse contexto é preocupante pelo fato dos inselbergs se enquadrarem entre os ambientes mais negligenciados e ameaçados do mundo (POREMBSKI et al., 2016).

Esses fatos demonstram a necessidade de estudos das comunidades que habitam nesses ambientes, visto que os conhecimentos gerados são essenciais para ações de conservação, manejo e restauração desses ecossistemas únicos, bem como programas de conservação de espécies ameaçadas. Além disso, pela peculiar vegetação e forte influência de filtros ambientais, os inselbergs tropicais são ideais para estudos de como mudanças na estrutura e riqueza de comunidades vegetais são influenciadas por fatores ambientais (DOS SANTOS, 2009; PINTO-JUNIOR, 2020).

Buscando conhecimentos sobre a vegetação lenhosa sobre inselbergs, além da compreensão da composição e estrutura de organização das espécies e suas relações com fatores abióticos, este trabalho foi direcionado pelos seguintes questionamentos e hipóteses:

- Qual é a composição das espécies lenhosas em inselbergs e sua similaridade com outros inselbergs estudados no Brasil? Esperamos que a similaridade esteja relacionada de acordo com a distância entre as áreas comparadas.
- Qual a diversidade, composição e estrutura de comunidades lenhosas em inselbergs localizados no domínio fitogeográfico da Mata Atlântica, sul do estado do Espírito Santo? Esperamos que devido à proximidade dos três inselbergs, bem como a semelhanças nas condições ambientais entre eles, a composição, diversidade e a estrutura da vegetação lenhosa sejam semelhantes, pois grande parte das espécies lenhosas que vegetam sobre os inselbergs se estabelecem em habitats específicos, por exemplo em fendas, onde há maior acúmulo de substrato.
  - Quais fatores abióticos (profundidade do solo, declividade, área exposta de rocha, teor de nutrientes e textura do solo) são importantes em determinar a estrutura, riqueza e abundância das comunidades lenhosas em inselbergs? Já que as espécies lenhosas necessitam de substrato mais profundo para se

desenvolverem, hipotetizamos que propriedades do inselberg, por exemplo, profundidade do solo, inclinação do terro e área exposta de rocha influenciam na composição e diversidade de espécies lenhosas nos inselbergs.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

Caracterizar e avaliar os padrões estruturais da vegetação lenhosa sobre inselbergs na bacia do Rio Itapemirim, Espírito Santo, Brasil.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analisar a composição da flora lenhosa sobre inselbergs no “Complexo Pedra das Andorinhas”, bem como verificar a presença de espécies ameaçadas, endêmicas, raras e sua distribuição geográfica;
- Avaliar a similaridade florística da flora lenhosa do CPA com outros inselbergs estudados no Brasil e a correlação entre a distância geográfica e a similaridade calculada entre os inselbergs;
- Categorizar as espécies de acordo com suas síndromes de polinização e dispersão, distribuição geográfica;
- Caracterizar a estrutura da vegetação lenhosa (arbustos e árvores) sobre três inselbergs;
- Verificar quais fatores abióticos (profundidade do solo, declividade, área exposta de rocha, fertilidade e textura do solo) influenciam na estrutura e riqueza das comunidades lenhosas estudadas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Caracterização geral dos ecossistemas rochosos de granito e gnaisse (inselbergs)**

Inselbergs consistem em formações rochosas, que se elevam acima de uma planície de forma isolada e podem assumir variadas formas e tamanhos de acordo com sua gênese, litologia e intemperismo incidente (BREMER; SANDER, 2000). Pelo fato de ficarem expostos lentamente na paisagem, são formas de relevo antigas, alguns com vários milhões de anos, provando que são altamente estáveis diante das diferenças climáticas que foram submetidos ao longo do tempo (BUDEL, 1978; BREMER; SANDER, 2000).

Os inselbergs constituídos por granito e/ou gnaisse ocorrem em regiões tropicais e temperadas, estando distribuídos em quase todas as zonas climáticas e vegetais do globo (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000). Apesar de sua ampla ocorrência, inselbergs localizados em regiões tropicais foram desprezados como fonte de pesquisa pelos primeiros naturalistas. Os primeiros relatos de estudos nesses ambientes vem do pesquisadores HUMBOLDT e BONPLAND (1819), que forneceram as primeiras descrições sobre a crosta de criptógamas nas rochas de inselbergs no sul da Venezuela (BARTHLOTT; POREMBSKI, 2000). No Brasil, os primeiros estudos relacionados com a flora de inselbergs foram realizados na década de 1980, em estudos de CARAUTA e OLIVEIRA (1984) para os inselbergs do Pão-de-Açúcar, Urca e Cara de Cão, no município do Rio de Janeiro.

No país existem dois tipos principais de inselbergs de granito e gnaisse: de terras baixas e altas (SAFFORD; MARTINELLI, 2000). Inselbergs de terras altas estão inseridos em matriz de campos de altitude, e estão localizados principalmente nas Serras do Mar e Mantiqueira, com altitudes acima de 1700 m.s.m. (SAFFORD, 1999). Já os inselbergs de terra baixa ou de várzea, são caracterizados por estarem em regiões com altitudes abaixo de 1000 m.s.m. e possuem formato de cúpula (“pão de açúcar”), sendo encontrados principalmente nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, sul da Bahia e parte de Minas Gerais (AB’SÁBER, 1997; DE PAULA et al., 2020). Os inselbergs da região sudeste do Brasil, ganham destaque por conta da grande diversidade da flora ocorrente, influenciada pelas variadas fisionomias distribuídas ao longo do Bioma Mata Atlântica (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000; SAFFORD; MARTINELLI, 2000).

Nesses ambientes as condições ambientais são severas para as plantas, onde encontram-se afetadas pela alta incidência de ventos e radiação solar, solos rasos ou ausentes, baixa disponibilidade hídrica e de nutrientes (LARSON et al., 2000; SZARZYNSKI, 2000). Por conta disso, a flora se especializou para suportar as condições ambientais extremas (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000). Várias adaptações morfológicas, anatômicas e reprodutivas são vantajosas para a sobrevivência nos inselbergs, auxiliando a superar as limitações ambientais (BIEDINGER et al., 2000).

Os inselbergs são exemplos claros de ambientes fragmentados em microhabitats, apresentando uma estrutura de mosaico de comunidades de plantas (POREMBSKI et al., 2000; POREMBSKI, 2007). POREMBSKI (2007) classificou, com base em análises fitossociológicas e critérios fisionômicos, um conjunto de comunidades de plantas e tipos de habitats típicos dos inselbergs, apresentados a seguir:

1 – Crosta de criptógamas – responsáveis pela coloração escura dos inselbergs, essa crosta representam grandes áreas de rocha exposta cobertas por líquens e cianobactérias.

2 – Vegetação vascular epilítica – geralmente são plantas suculentas e xerófitas, que se desenvolvem de forma menos agrupadas. As espécies mais representativas são da família Bromeliaceae, Cactaceae e Orchidaceae.

3 – Tapetes de monocotiledôneas – comunidades adensadas de plantas, que estão aderidas firmemente a rocha, ocorrendo em áreas planas e inclinadas. Possuem grande importância nos afloramentos rochosos por conta dos mecanismos de facilitação fornecidos para outras espécies se estabelecerem. As espécies mais representativas desses habitats são da família Bromeliaceae, Cyperaceae e Velloziaceae.

4 – Piscinas rochosas – oriundas dos processos naturais de intemperismo, as piscinas rochosas são depressões de diferentes formas e tamanhos que acumulam água nos inselbergs. Apesar do baixo número, algumas espécies são restritas a esse habitat.

5 – Depressões rasas – são depressões mais rasas, preenchidas por substrato húmico, e diferente das piscinas rochosas, acumulam água por um período mais curto.

6 – Fendas – aberturas estreitas que permitem o acúmulo de solo e conseqüentemente, maior armazenamento de água. Formam locais favoráveis para o desenvolvimento de plantas exigentes de substrato mais profundo.

7 – Vegetação efêmera – vegetação que ocorre nas bases de encostas rochosas, dependente da infiltração de água durante a estação chuvosa. São representantes dessa vegetação, espécies das famílias Poaceae e Cyperaceae e em menor número, as famílias Lentibulariaceae, Eriocaulaceae e Xyridaceae.

Em relação a composição florística dos inselbergs de terras baixas do sudeste do Brasil, as angiospermas representam a grande maioria da espécies ocorrentes, abrangendo 505 spp., seguidas pelas samambaias e licófitas com 53 spp, totalizando 548 espécies que pertencem a 69 famílias e 212 gêneros (DE PAULA et al. 2020). A maioria das espécies encontradas nesses inselbergs são ervas (221 spp.), mas árvores e arbustos, objeto de estudo do trabalho, representam 42 e 75 espécies respectivamente (DE PAULA et al. 2020). O baixo número de espécies arbóreas e arbustivas registradas está relacionada com as severas condições ambientais encontradas nos inselbergs, como baixa profundidade e/ou ausência do solo, que dificulta o desenvolvimento da raízes e reduz o armazenamento de água (POREMBSKI, 2007), limitando o estabelecimento e desenvolvimento de espécies lenhosas.

As principais ameaças à biodiversidade dos inselbergs são ocasionadas pela extração de rochas ornamentais, fogo, invasões biológicas e a fragmentação da matriz do entorno, além disso, poucos estão inseridos em unidades de conservação (POREMBSKI et al., 2016; DE PAULA et al., 2020). Esse contexto é preocupante pelo fato dos inselbergs se enquadrarem entre os ambientes mais negligenciados e ameaçados do mundo (POREMBSKI et al. 2016), onde muitas espécies de diversas famílias foram descritas para a ciência nos últimos cinco anos (GONÇALVES; DE PAULA 2016; IGLESIAS et al., 2016; DE ALMEIDA et al., 2016; DE OLIVEIRA; SOBRADO, 2016; CAMPOS-ROCHA et al., 2018; MEYER et al., 2018; CARDOSO et al., 2019a; CARDOSO et al., 2019b; COELHO; VALADARES, 2019; FRAGA et al., 2019; COUTO et al., 2020a; COUTO et al., 2020b; MORALES; KOLLMANN, 2020; ALMEIDA et al., 2021; COUTO et al., 2021).

Por conta dessas vulnerabilidades, os motivos para conservação desses ecossistemas incluem a ocorrência de elevados números de espécies endêmicas, ameaçadas, raras e novas para a ciência, funcionando como centros de diversidade

para uma flora altamente especializada (POREMBSKI et al., 2016; DE PAULA et al., 2020; COVRE et al., 2021), que podem ser utilizadas para desenvolver estudos que explicam a ecologia, evolução e práticas de conservação e manejo para elementos antigos da paisagem, climaticamente protegidos e inférteis (teoria de Ocbil) (HOPPER et al., 2016).

### **3.2. Influência de fatores abióticos na distribuição de comunidades vegetais**

Estudos correlacionando variáveis abióticas e a ocorrência de uma determinada fitofisionomia, bem como a composição de espécies dentro desta mesma formação vegetacional, têm sido objetos de vários estudos no mundo. Entender como esses fatores influenciam nos padrões de diversidade, abundância e composição de espécies são um dos principais objetivos da ecologia de comunidades (VELLEND, 2010).

A distribuição das espécies e os padrões de organização biológica estão intimamente relacionados às características e a complexidade estrutural do ambiente, que atuam em diferentes escalas espaciais e locais (CARVALHO et al., 2005; RODRIGUES et al., 2007; PEÑA-CLAROS et al., 2012). A distribuição dos domínios fitogeográficos brasileiros é vinculada principalmente por fatores climáticos relacionados a temperatura, pluviosidade e umidade relativa (Ribeiro; WALTER, 2008). Mas, as variações da fitofisionomia podem estar associadas a eventos temporais e variações locais, como a topografia (BENITES et al., 2007), propriedades físico-químicas do solo (REATTO et al. 2008; RIBEIRO; WALTER, 2008) e profundidade do solo (GROGER; HUBER, 2007).

Vários estudos em diferentes fitofisionomias correlacionam fatores abióticos sobre o padrão estrutural e florístico da vegetação (BOTREL et al., 2002; ESPÍRITO-SANTO et al., 2002; SCIPIONI et al., 2010; BARCELOS et al., 2011; GIEHL et al., 2011; HIGUCHI et al., 2012; MARCUZZO et al., 2013; PIRES et al., 2014; SALAMI et al., 2014; DICK; SCHUMACHER, 2015; CALLEGARO et al., 2017). Entretanto, nos inselbergs, as relações entre a vegetação e ambiente são muito menos estudadas, ainda mais se tratando do estrato lenhoso. Nesses ambientes os fatores abióticos são bem restritivos para muitas espécies de plantas (LARSON et. al., 2000; SCARANO, 2002; POREMBSKI, 2007). Uma das variáveis mais limitantes é o substrato, que tem como característica ser intermitente (interposto por rocha exposta) e pouco profundo

(PARMENTIER, 2003). Relacionado ao substrato e áreas muito inclinadas, a perda de água por escoamento superficial e por evaporação ocorre de forma acelerada (SZARZYNSKI, 2000; PARMENTIER, 2003). Como consequência disso, grande parte dos nutrientes são lixiviados para a base dos inselbergs, fazendo com que os solos que ocorrem na rocha fiquem pobres e ácidos (BENITES et al., 2007). Além dessas características, por serem ambientes abertos, a elevada incidência de radiação solar faz com que a amplitude térmica diária seja muito alta (SZARZYNSKI, 2000). Essas variáveis abióticas exigem estratégias de adaptações morfológicas e fisiológicas por parte da vegetação (POREMBSKI, et al., 2000), além de influenciarem na abundância, riqueza e diversidade de espécies (COLLINS et al., 1989; PARMENTIER, 2003; DE OLIVEIRA et al., 2004; GROGER; HUBER, 2007; SCARANO et al., 2007; ABREU et al., 2012; SCHUT et al., 2014; PESSOA et al., 2021).

Assim, compreender os padrões de distribuição de espécies em relação as variáveis abióticas são de extrema importância, pois podem possibilitar melhores ações de manejo e conservação dos recursos naturais, contribuindo para a preservação da biodiversidade em escala local (COX et al., 2000).



#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. **Boletim Instituto de Geografia**, São Paulo, n. 52, p. 1-21, 1997.

ABREU, M. F., PINTO, J. R. R., MARACAHIPES, L., GOMES, L., OLIVEIRA, E. A. D., MARIMON, B. S., MARIMON-JUNIOR, B. H.; FARIAS, J.; LENZA, E. Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 35(3), 259-272, 2012.

ALMEIDA, E. M.; CHRISTENHUSZ, M. J.; WANDERLEY, A. M.; CORDEIRO, J. M. P.; DE MELO, J. I. M.; BATISTA, F. R. D. C.; FELIX, L. P. An overview of the Brazilian inselberg genus *Ameroglossum* (Linderniaceae, Lamiales), with the description of seven new species. **European Journal of Taxonomy**, 746, 1-25, 2021.

AYRES, J. M.; DA FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; QUEIROZ, H. L.; PINTO, L. P.; MASTERSON, D.; CAVALCANTI, R. B. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil** (No. 333.7516 C824). Sociedade Civil Mamirauá, Belém, PA (Brasil), 2005.

BARCELOS, M. E.; RIGUETE, J. R.; SILVA, L. T.; SILVA, A. G.; FERREIRA, P. Influência do solo e do lençol freático na distribuição das formações florísticas nas areias reliquias do Parque Estadual Paulo César Vinha, ES, Brasil. **Natureza on line**, 9, 134-143, 2011.

BARTHLOTT, W.; POREMBSKI, S. Why study inselbergs? In: *Inselbergs*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 1-6, 2000.

BENITES V.M.; SCHAEFER C.E.G.R.; SIMAS F.N.; SANTOS H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 569-577, 2007.

BFG. Brazilian Flora 2020: innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). **Rodriguésia** 69: 1513-1527, 2018. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869402>

BIEDINGER, N.; POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Vascular plants on inselbergs: Vegetative and reproductive strategies. Pp. 117-142. In: Porembski, S. & Barthlott, W. (eds.) *Inselbergs – biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Berlin, Ecological Studies, Springer-Verlag, 2000.

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. **Brazilian Journal of Botany**, 25, 195-213, 2002.

BREMER, H.; SANDER, H. *Inselbergs: geomorphology and geocology*. In: *Inselbergs*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 7-35, 2000.

BUDEL, J. Das Inselberg-Rumpfflächenrelief der heutigen Tropen und das Schicksal seiner fossilen Altformen in anderen Klimazonen. in Inselbergs= Inselberge. (Le relief d'inselberg-surface d'érosion dans la zone tropicale actuelle et l'évolution des paléoreliefs d'inselbergs dans les autres zones climatiques). **Zeitschrift für Geomorphologie**. Supplementband Stuttgart, (31), 79-110, 1978.

CALLEGARO, R. M.; ARAUJO, M. M.; LONGHI, S. J.; ANDRZEJEWSKI, C.; TURCHETTO, F.; GOMES, D. R. Fitossociologia e fatores ecológicos condicionantes da vegetação em uma floresta estacional na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, 72(1), 33-43, 2017.

CAMPOS-ROCHA, A.; SEMIR, J.; PEIXOTO, M.; DUTILH, J. H. A. *Griffinia meerowiana*, a remarkable new species of Amaryllidaceae from Espírito Santo state, Brazil. **Phytotaxa**, 344(3), 228-238, 2018.

CARAUTA, J. P. P., & OLIVEIRA, R. R. D. Plantas vasculares dos morros da Urca, Pão de Açúcar e Cara de Cão. **Rodriguésia**, 36(59), 13-24, 1984.

CARDOSO, P. H.; NETO, L. M.; SALIMENA, F. R. G. A new species of *Stachytarpheta* (Verbenaceae) from an inselberg of Espírito Santo state, Brazil. **Phytotaxa**, 400(5), 273-278, 2019a.

CARDOSO, P. H.; NETO, L. M.; SALIMENA, F. R. G. A new species of *Lippia* (Verbenaceae) from the inselbergs of Brazilian Atlantic Forest. **Phytotaxa**, 406(4), 243-249, 2019b.

CARVALHO D.A.D.; OLIVEIRA-FILHO A.T.D.; VAN DEN BERG E.; FONTES M.A.L.; VILELA E.D.A.; MARQUES J.J.G.D.S.; CARVALHO W.A.C. Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 19, 91-109, 2005.

COELHO, M. A. N.; VALADARES, R. T. Three new species of *Anthurium* (Araceae) from the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Minas Gerais, and Espírito Santo, Brazil. **Novon: A Journal for Botanical Nomenclature**, 27(1), 22-32, 2019.

COLLINS, S. L.; MITCHEL, G.S.; KLAHR S.C. Vegetation-environment relationships in a rock outcrop community in Southern Oklahoma. **American Midland Naturalist** v.122, p. 339-348, 1989.

COUTO D. R.; DIAS H.M.; PEREIRA M.C.A.; FRAGA C.N.D.; PEZZOPANE J.E.M. Vascular epiphytes on *Pseudobombax* (Malvaceae) in rocky outcrops (inselbergs) in Brazilian Atlantic Rainforest: basis for conservation of a threatened ecosystem. **Rodriguésia**, 67, 583-601, 2016.

COUTO, D. R.; FRANCISCO, T.M.; MANHÃES, V.C.; DIAS, H.M.; PEREIRA, M.C.A. Floristic composition of a Neotropical inselberg from Espírito Santo state, Brazil: an important area for conservation. **Check List**, 13(1): 2043, 2017. Doi: 10.15560/13.1.2043

COUTO, D. R.; MANHÃES, V. D. C.; DA COSTA, A. F. *Stigmatodon attenuatoides*

(Tillandsioideae, Bromeliaceae): a new mat-forming species on inselbergs of southeastern Brazil. **Phytotaxa**, 468(1), 143-149, 2020a.

COUTO, D. R.; MANHÃES, V. D. C.; DA COSTA, A. F. *Stigmatodon francae* (Bromeliaceae, Tillandsioideae), a New Species from Cliff Ecosystems on Inselbergs in Southeastern Brazil. **Novon: A Journal for Botanical Nomenclature**, 28(4), 275-280, 2020b.

COUTO, D. R.; MANHÃES, V. C.; LEME, E. M. C. *Alcantarea alegrensis*: a New Endemic Species from Espírito Santo State, Brazil, Threatened by Rock Mining. **Journal of the Bromeliad Society**, v. 71, p. 27-38, 2021.

COVRE, J. M. C.; COUTO, D. R.; DIAS, H. M.; ZORZANELLI, J. P. F. Vascular plants on inselberg landscapes in Espírito Santo state: bases for the creation of a protected area in southeastern Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 43, e54760, 2021.

COX, C. B.; MOORE, P. D.; DA SILVA, L. F. C. F. **Biogeografia: Uma Abordagem Ecológica e Evolucionária**. Grupo Gen-LTC, 2000.

DE ALMEIDA, E. M.; WANDERLEY, A. M.; NOLLET, F.; COSTA, F. R.; SOUZA, L. G. R.; FELIX, L. P. A new species of *Ameroglossum* (Scrophulariaceae) growing on inselbergs in northeastern Brazil. **Systematic Botany**, 41(2), 423-429, 2016.

DE PAULA, L. F.; AZEVEDO, L. O.; MAUAD, L. P.; CARDOSO, L. J. T.; BRAGA, J. M. A.; KOLLMANN, L. J.; FRAGA, C. N.; MENINI NETO, L.; LABIAK, P. H.; MELLO-SILVA, R.; POREMBSKI, S.; FORZZA, R. C. Sugarloaf Land in south-eastern Brazil: a tropical hotspot of lowland inselberg plant diversity. **Biodiversity data journal**, 8, e53135, 2020.

DE OLIVEIRA, T. D.; RIBEIRO, M. C.; COSTA, I. L. L.; FARIA, F. S. F. S.; CÔRTEZ, J. E. C. F. E. Estabelecimento de espécies vegetais em um inselberg granítico de Mata Atlântica. **Estudos de Biologia**, 26(57), 2004.

DE OLIVEIRA, J. A.; SOBRADO, S. V. *Bradea borrierioides* (Rubiaceae), a new species from Brazilian inselbergs. **Phytotaxa**, 243(1), 083-090, 2016.

DICK, G.; SCHUMACHER, M. V. Relações entre solo e fitofisionomias em florestas naturais. **Ecologia e Nutrição Florestal**, 3(2), 31-39, 2015.

DOS SANTOS, P. R. G. **A vegetação em afloramentos rochosos no Semi-Árido: diversidade e respostas ao ambiente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; MACHADO, E. L. M.; SOUZA, J. S.; FONTES, M. A. L.; MARQUES, J. J. G. D. 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 Brasílica**, 16, 331-351, 2002.

FERNANDES, A. **Conexões florísticas do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste,.

135 p., 2003.

FRAGA, F. R. D. M.; COUTO, R. S.; BRAGA, J. M. A. *Dioscorea medusae* (Dioscoreaceae), a new species from Espírito Santo, Brazil. **Phytotaxa**, 403(2), 131-136, 2019.

GIEHL, E. L. H.; BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Variações florísticas e relação com variáveis geográficas e climáticas em florestas ribeirinhas do sudeste da América do Sul. **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**, Viçosa: Editora UFV, Viçosa, 504-519, 2011.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P. D.; WANDERLEY, M. G. L.; VAN DEN BERG, C. **Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil**, 1(1), 2005.

GONÇALVES, E.G.; DE PAULA, L.F.A.; A new species of *Anthurium* (Araceae) from Minas Gerais State, Southeastern Brazil. **Phytotaxa**, 247(4), 281-286, 2016.

GRÖGER, A.; HUBER, O. Rock outcrop habitats in the Venezuelan Guayana lowlands: their main vegetation types and floristic components. **Revista Brasileira de Botânica**, 30(4), 599-609, 2007.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. D.; FERREIRA, T. D. S.; SOUZA, S. T. D.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M. D.; SANTOS, K. F. D.; LINKE, C.; PAULINO, P. D. 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**, 22, 79-90, 2012.

HOPPER, S. D.; SILVEIRA, F. A.; FIEDLER, P. L. Biodiversity hotspots and Ocbil theory. **Plant and Soil**, 403(1), 167-216, 2016.

HUMBOLDT, A. V. ; BONPLAND, A. **Voyage aux regions equinoxiales**, 1819.

IGLESIAS, D. T.; DUTRA, V. F.; GOLDENBERG, R. *Behuria mestrealvarensis* (Melastomataceae): a new species on an inselberg in Espírito Santo, Brazil. **Phytotaxa**, 255(3), 281-286, 2016.

LARSON D. W.; MATTHES U.; KELLY P. E. Cliff Ecology. Pattern and Process in Cliff Ecosystems. **Cambridge Studies in Ecology**. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; LONGHI, S. J. Estrutura e relações ambientais de grupos florísticos em fragmento de Floresta Estacional Subtropical. **Revista Árvore**, 37, 275-287, 2013.

MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 587-597, 2007.

MEYER, F. S.; KOLLMANN, L. J.; DE FRAGA, C. N.; GOLDENBERG, R. Four new rupicolous species of *Pleroma* (Melastomataceae) endemic to Espírito Santo, Brazil. **Phytotaxa**, 348(4), 235-253, 2018.

MIGNAUT, T.; SENTERRE, B.; MÜLLER, J. V.; LEJOLY, J.; PARMENTIER, I. Shrubby and forest fringe communities of the inselberg-rainforest ecotone in Atlantic Central Africa. **Plant Ecology and Evolution**, 143(2), 128-137, 2010.

MITTERMEIER, R. A.; MYERS, N.; MITTERMEIER, C. G.; ROBLES, G. Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. **CEMEX, SA**, Agrupación Sierra Madre, SC, 1999.

MORALES, J. F. ; KOLLMANN, L. J. Increasing the known floristic diversity of Brazilian inselbergs: two new species of *Mandevilla* (Apocynaceae) from Espírito Santo. **Acta Botanica Brasilica**, 34, 107-116, 2020.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853, 2000.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in south-eastern Brazil, and the influence of climate. **Biotropica**, 32(4), 793-810, 2000.

PARMENTIER, I. Study of the vegetation composition in three inselbergs from Continental Equatorial Guinea (Western Central Africa): effects of site, soil factors and position relative to forest fringe. **Belgian Journal of Botany**, 63-72, 2003.

PEÑA-CLAROS, M.; POORTER, L.; ALARCÓN, A.; BLATE, G.; CHOQUE, U.; FREDERICKSEN T.S.; JUSTINIANO, M. J.; LEAÑO, C.; LICONA, J. C.; PARIONA, W.; FRANCIS, E. P.; QUEVEDO, L.; TOLEDO M. Soil effects on forest structure and diversity in a moist and a dry tropical forest. **Biotropica**, 44(3), 276-283, 2012.

PESSOA, M. J. G.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; ABADIA, A. C.; OLIVEIRA, B. D.; SILVA, I. V. D.; LENZA, E. Floristic composition, diversity and edaphic effects in two rocky savanna communities in the Amazon and Cerrado, Brazil. **Ciência Florestal**, 31, 1383-1406, 2021.

PINTO-JUNIOR, H. V.; VILLA, P. M.; PEREIRA, M. C. A.; MENEZES, L. F. T. D. The pattern of high plant diversity of Neotropical inselbergs: highlighting endemic, threatened and unique species. **Acta Botanica Brasilica**, 34(4), 645-661, 2020.

PIRES, G. G.; SANTOS, R. M. D.; TRISTÃO, R. A.; PIFANO, D. S.; REIS, C. A.; DOMINGOS, D. Q. Influência de variáveis ambientais na comunidade arbórea de inselbergs. **Cerne**, 20, 97-104, 2014.

POREMBSKI, S.; MARTINELLI, G.; OHLEMÜLLER, R.; BARTHLOTT, W. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. **Diversity and Distributions** 4: 107-119, 1998.

POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. Ecological Studies 146. **Springer-Verlag**, Berlin. 522p, 2000.

POREMBSKI, S.; SEINE, R.; BARTHLOTT, W. Factors controlling species richness of inselbergs. In: **Inselbergs**. Springer, Berlin, Heidelberg, 451-481, 2000.

POREMBSKI, S. Terrestrial habitat islands as model systems for biodiversity research. In: ARAÚJO, E.L.; MOURA, A.N.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GESTINARI, L.M.S.; CARNEIRO, J.M.T. (Eds.). **Biodiversidade conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. UFRPE, 158-161, 2002.

POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. **Revista Brasileira de Botânica**, 30, 579-586, 2007.

POREMBSKI, S.; SILVEIRA, F. A.; FIEDLER, P. L.; WATVE, A.; RABARIMANARIVO, M.; KOUAME, F.; HOPPER, S. D. Worldwide destruction of inselbergs and related rock outcrops threatens a unique ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, 25(13), 2827-2830, 2016.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do Bioma do Cerrado: aspectos pedológicos. In Cerrado: ecologia e flora (SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F.; eds.). **Embrapa CPAC**, Planaltina, 107-149, 2008.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, 151-212, 2008.

RODRIGUES, L.A.; CARVALHO, D.A.D.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.D.; 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**, 31(1), 25-35, 2007.

SAFFORD, H. D. Brazilian Páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. **Journal of Biogeography**, 26(4), 693-712, 1999.

SAFFORD, H. D.; MARTINELLI, G. Variations on One Theme: Regional Floristic of Inselberg Vegetation: Southeast Brazil. In: POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. (eds.). **Inselbergs-biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions**. **Ecological Studies**. Springer-Verlag, Berlin, 339, 2000.

SALAMI, B.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. D.; FERREIRA, T. D. S.; MARCON, A. K.; BUZZI JUNIOR, F.; BENTO, M. A. Influência de variáveis ambientais na dinâmica do componente arbóreo em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages, SC. **Scientia Forestalis**, 42(102), 197-207, 2014.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G.M.M.; MENDES, V.A.; IZA, E.R.H.F. Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. Brasília: **CPRM**. 358 pp, 2013.

SCARANO, F. R. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 561-568, 2007.

SCHUT, A. G.; WARDELL-JOHNSON, G. W.; YATES, C. J.; KEPPEL, G.; BARAN, I.; FRANKLIN, S. E.; HOPPER, S. D.; NIEL, K. P. V.; MUCINA, L.; BYRNE, M. Rapid

characterisation of vegetation structure to predict refugia and climate change impacts across a global biodiversity hotspot. **PLoS One**, 9(1), e82778, 2014.

SCIPIONI, M. C.; LONGHI, S. J.; REINERT, D. J.; ARAÚJO, M. M.; PEDRON, F. D. A. Distribuição do compartimento arbóreo em gradiente de relevo e solos na encosta Meridional da Serra Geral, RS. **Ciência Rural**, 40, 1295-1301, 2010.

SOBRAL, M.; STEHMANN, J. R. An analysis of new angiosperm species discoveries in Brazil: 1990-2006. **Taxon**, Utrecht, v. 58, n. 4, p. 227-232, 2009.

SZARZYNSKI, J. Xeric islands: environmental conditions on inselbergs. In: **Inselbergs**. Springer, Berlin, Heidelberg, 37-48, 2000.

VELLEND, M. Conceptual Synthesis in Community Ecology. **The Quarterly Review of Biology**, 85: 183–206, 2010.

**CAPÍTULO 1 – COMUNIDADES LENHOSAS EM INSELBERGS DA MATA  
ATLÂNTICA: PADRÕES DE RIQUEZA, SÍNDROMES DE  
POLINIZAÇÃO/DISPERSÃO E SIMILARIDADE**



## RESUMO

Ecossistemas florestais estabelecidos sobre solos desenvolvidos ocupam maior extensão territorial no Domínio da Mata Atlântica, e são historicamente os ambientes mais estudados deste Domínio. No entanto, a vegetação lenhosa que ocorre sobre afloramentos rochosos granitóides em solos rasos ou ausentes, denominado vegetação lenhosa de inselbergs, foram historicamente negligenciados dentro da Mata Atlântica. O objetivo deste estudo foi analisar a composição da flora lenhosa de inselbergs que compõe o Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), sul do Espírito Santo, e avaliar sua similaridade com outros 12 inselbergs estudados no Brasil, por meio de análises de agrupamento e ordenação. Com base em 20 expedições de campo realizadas entre os anos 2019 e 2020 e dados de literatura, registramos um total de 27 espécies, 25 gêneros e 16 famílias. As famílias Fabaceae e Myrtaceae, e o gênero *Eugenia* foram os mais ricos em espécies. As síndromes de polinização e de dispersão predominantes foram entomofilia e zoocoria. Além disso, *Ficus cyclophylla*, *Trigoniodendron spiritusanctense* e *Wunderlichia azulensis* configuram na lista nacional de espécies ameaçadas, e *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* e *Wunderlichia azulensis* são endêmicas de inselbergs da Mata Atlântica e Caatinga. Quanto a distribuição geográfica, predominaram espécies endêmicas da Mata Atlântica (33%) e espécies com ampla distribuição geográfica entre os domínios fitogeográficos brasileiros (30%). O CPA possui mais espécies compartilhadas com outros inselbergs do sul do Espírito Santo, em função da distância geográfica. Este estudo oferece a primeira contribuição para o conhecimento da flora lenhosa de inselbergs do Espírito Santo, reforçando a singularidade das espécies que ocorrem nestes ambientes e destacando a relevância do CPA para conservação da biodiversidade.

**Palavras-chave:** Afloramento rochoso, conservação, Domínio Atlântico, flora rupícola, similaridade florística.

## ABSTRACT

Forest ecosystems surveyed on developed soils occupy a greater territorial extension in the Atlantic Forest Domain, and are historically the most studied environments in this Domain. However, woody vegetation that occurs on granitoid rock outcrops in shallow or absent soils, termed woody inselberg vegetation, has historically been neglected within the Atlantic Forest. The aim of this study was to analyze a composition of the woody flora of inselbergs that make up the Pedra das Andorinhas Complex (CPA), south of Espírito Santo, and to evaluate its similarity with other inselbergs studied in Brazil, through clustering and ordering analyses. Based on field expeditions carried out between 2019 and 2020 and literature data, we recorded a total of 27 species, 25 genera and 16 families. The Fabaceae and Myrtaceae families, and the *Eugenia* genus were the richest in species. The predominant pollination and dispersal syndromes were entomophilia and zoochory. In addition, *Ficus cyclophylla*, *Trigoniodendron spiritusanctense* and *Wunderlichia azulensis* make up the national list of threatened species, and *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* and *Wunderlichia azulensis* are endemic to inselbergs from the Atlantic Forest and Caatinga. As for the geographic distribution, the predominant species were endemic to the Atlantic Forest (33%) and species with wide geographic distribution among the Brazilian phytogeographic domains (30%). The CPA has more species shared with other inselbergs in the south of Espírito Santo, due to the geographic distance. This study offers the first contribution to the knowledge of the woody flora of inselbergs in Espírito Santo, reinforcing the uniqueness of the species that inhabit environments and highlighting the CPA's specialty for biodiversity conservation.

**Keywords:** Atlantic Domain, conservation, floristic similarity, rocky outcrop, rupicolous flora.

## 1. INTRODUÇÃO

Os inselbergs, afloramentos rochosos constituídos principalmente de rochas graníticas e gnáissicas (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000b), são hotspots de diversidade de plantas (POREMBSKI; BARTHLOTT, 1997). Esses ecossistemas singulares têm ampla distribuição pelos continentes, mas são especialmente biodiversos nas regiões tropicais e subtropicais (POREMBSKI, 2007). No Brasil, são encontrados principalmente no domínio da Caatinga (inselbergs típicos *sensu* AB'SABER, 2003) e Mata Atlântica (DE PAULA et. al., 2016). No Domínio Atlântico são frequentes na paisagem da região sudeste, onde se encontra a maior expressão da variabilidade dos inselbergs brasileiros (SAFFORD; MARTINELLI, 2000; POREMBSKI, 2007; MOURA et. al., 2011).

Inselbergs formam ecossistemas isolados reconhecidos como ilhas terrestres (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000a; POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000b), e são fortemente influenciados pela presença de filtros ambientais, com amplas variações térmicas diárias, incidência direta de ventos, baixo teor de água, solos rasos, distróficos, impermeáveis e superaquecidos, além de poucas alternativas para fixação de raízes, sementes e propágulos (LARSON et al., 2000; POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000a), formando um ecossistema ecologicamente isolado da matriz circundante. Essas características promovem a ocorrência de um grande número de espécies geograficamente restritas (endêmicas), especializadas e ameaçadas (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000b; POREMBSKI 2007; DE PAULA et al. 2016; COUTO et al. 2016; 2017; FRANCISCO et al. 2019). Porém estão ameaçados, principalmente por atividades de mineração, gramíneas invasoras, incêndios, turismo e extração de plantas ornamentais, resultando em perda de biodiversidade e degradação de seus serviços ecossistêmicos (POREMBSKI et al. 2016).

Esses ecossistemas abrigam comunidades vegetais distintas daquela de seu entorno (SAFFORD; MARTINELLI, 2000; POREMBSKI, 2007; DE PAULA et al. 2017). Neles, diferentes habitats podem ser observados, tais como: crosta de criptógamas, vegetação vascular epilítica, tapetes de monocotiledôneas, piscinas rochosas, depressões rasas, fendas, vegetação efêmera (POREMBSKI, 2007), além de ilhas de florestas (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000b). As ilhas de florestas, ou vegetação lenhosa de inselberg (*sensu* Couto et al. submetido) é caracterizada por indivíduos lenhosos de baixa estatura, estabelecidos sobre solos rasos e alta intensidade

luminosa (POREMBSKI; BARTHLOTT, 1997). Embora o número de trabalhos publicados sobre a flora de inselbergs da Mata Atlântica tenha aumentado nas últimas décadas (e.g. COUTO et al., 2017; DE PAULA et al., 2020; COSTA et al., 2020; COVRE et al., 2021; PINTO-JUNIOR et al., 2021), esforços para compreender a flora lenhosa nestes ecossistemas são escassos em todo o mundo (e.g. SARTHOU et al., 2003; OTTAVIANI et al., 2016; FRANCISCO et al., 2018; COUTO et al., submetido), prejudicando ações concretas para sua conservação. Nesse sentido, torna-se necessário o conhecimento sobre a comunidade lenhosa de inselbergs, pois geram informações básicas para o desenvolvimento de políticas de conservação, manejo de áreas remanescentes e recuperação/restauração desses ambientes singulares.

Com o objetivo de contribuir para a redução das lacunas de conhecimento a respeito da vegetação lenhosa que ocorre sobre inselbergs, os objetivos específicos deste estudo foram: (1) analisar a composição da flora lenhosa sobre três inselbergs no “Complexo Pedra das Andorinhas” (CPA), região sul do estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil; (2) avaliar a similaridade florística da flora lenhosa do CPA com outros 12 inselbergs estudados no Brasil, por meio de análises de agrupamento e ordenação; (3) avaliar a correlação entre a distância geográfica e a similaridade calculada entre 13 inselbergs; (4) categorizar as espécies de acordo com suas síndromes de polinização e dispersão, distribuição geográfica.

## 2. METODOLOGIA

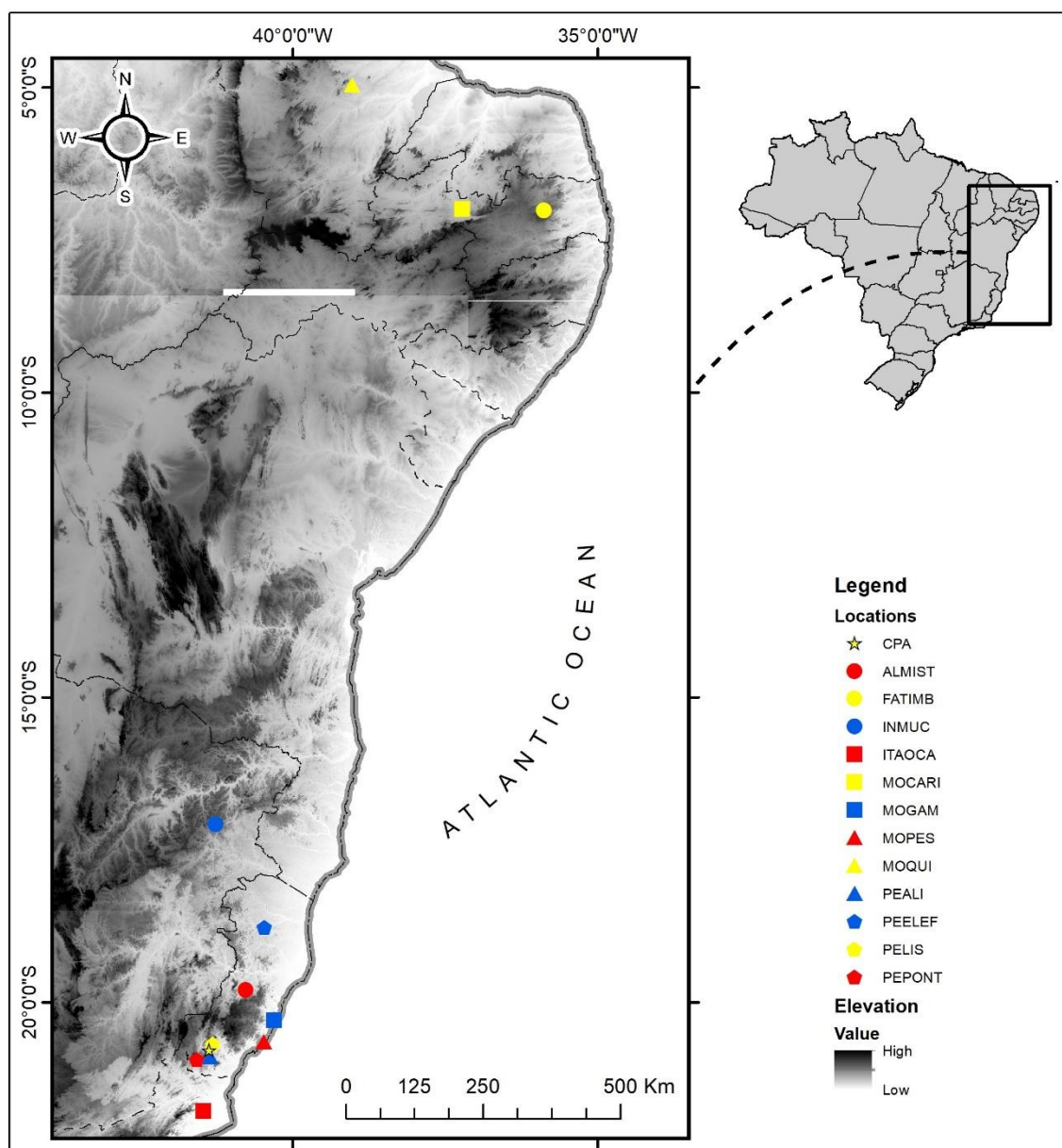
### 2.1. Área de Estudo

O estudo foi conduzido em inselbergs submontanos, circundados por Floresta Estacional Semidecidual (OLIVEIRA-FILHO et al., 2005), denominado Complexo Pedra das Andorinhas (CPA) (Figura 1). Este complexo rochoso está situado nos municípios de Jerônimo Monteiro (maior parte) e Cachoeiro de Itapemirim, na região sul do estado do Espírito Santo, localizado nos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.

Os esforços de amostragem se deram principalmente em três inselbergs conhecidos localmente como Pedra da Parada Cristal, Pedra Três Irmãs e Pedra das Andorinhas, em elevações que variam de 150 a 500 m.s.n.m. (COVRE et al., 2021). Os inselbergs encontram-se próximos um dos outros, onde distam no máximo 300 m em linha reta, em relação a base de um do outro. A região é caracterizada por uma topografia muito acidentada, intercalada por pequenas áreas planas, clima do tipo Cwa (clima subtropical úmido) (ALVARES et al., 2013), precipitação média anual de aproximadamente 1.375 mm e temperatura média de 21°C (COVRE et al., 2021). O CPA está inserido em uma matriz antropizada por atividades agropecuárias, principalmente a criação extensiva de gado-de-corte, cultivo de cafeeiros, citros, florestas comerciais e pequenos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual (COVRE et al., 2021).

Dados publicados sobre a flora rupícola deste complexo rochoso evidenciaram elevada riqueza (40 famílias, 96 gêneros e 121 espécies), sendo 18 espécies ameaçadas de extinção e quatro espécies endêmicas (COVRE et al., 2021), além de cinco espécies que foram descritas através de amostras coletadas nesta localidade (MARTINELLI; FORZZA, 2006; VERSIEUX; WANDERLEY, 2007; COELHO; VALADARES, 2019; COUTO et al., 2020). Esses fatos corroboram a flora do CPA como de significativa importância biológica, conforme já evidenciado por outros autores (MARTINELLI, 2007; MANHÃES et al., 2016; COUTO et al., 2016), inserindo este complexo rochoso como área prioritária para a conservação (ver COVRE et al., 2021).

**Figura 1:** Localização do Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, e dos inselbergs utilizados na similaridade florística (Ver tabela 1). Fonte: João Mário Comper Covre.



## 2.2. Inventário e características da Flora Lenhosa dos Inselbergs

Para ampliar a listagem florística das espécies lenhosas dos inselbergs do CPA, foram realizadas excursões por um período de um ano (2019-2020), através de caminhadas aleatórias (FILGUEIRAS et al. 1994), quando amostras férteis foram coletadas e processadas seguindo os procedimentos usuais em levantamentos florísticos (MORI et al. 1989), e posteriormente tombadas no herbário Capixaba (CAP), do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo. A identificação do material botânico foi realizada por meio de chaves

taxonômicas, monografias, floras, comparações com coleção de herbários e por meio de consultas a especialistas dos grupos taxonômicos específicos. Posteriormente, a lista foi complementada com dados disponíveis na literatura sobre a flora do CPA (COVRE et al. 2021).

A circunscrição das espécies de angiospermas em famílias seguiu o sistema Angiosperm Phylogeny Group (APG IV, 2016), bem como publicações taxonômicas. Abreviações de nomes dos autores, nomes atualmente aceitos e sinonímias seguem Flora do Brasil 2020 (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), e The Internacional Plant Names Index - IPNI (<<http://www.ipni.org>>).

As espécies ameaçadas de extinção foram citadas de acordo com a lista publicada no Ministério do Meio Ambiente, portaria n° 443, de 17 de dezembro de 2014. As espécies raras foram categorizadas conforme GIULIETTI et al. (2009) e a distribuição geográfica dos táxons foi baseada na Flora do Brasil 2020 (<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>>).

As síndromes de polinização das espécies foram caracterizadas com base nos critérios propostos por FAEGRI e VAN DER PIJL (2013), classificando as síndromes em Abiótica (Anemofilia – vento) ou Biótica (Entomofilia – insetos; Ornitofilia – pássaros e Quiropterofilia – morcegos). Quanto a síndrome de dispersão, as espécies foram classificadas em anemocóricas, zoocóricas e autocóricas (VAN DER PIJL, 1982).

### **2.3. Similaridade e análise estatística**

A matriz para análise de similaridade foi construída utilizando 201 espécies lenhosas de 13 listas florísticas de inselbergs graníticos brasileiros (Tabela 1). Entre os inselbergs, dez estavam presentes no domínio Atlântico brasileiro, distribuídos nos estados de Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais e três na Caatinga, estados de Paraíba e Ceará.

A similaridade florística entre os inselbergs foi avaliada por meio de análises de agrupamento (cluster) e ordenação. A análise de agrupamento utilizou o índice de similaridade de Jaccard (MAGURRAN 1988), baseado na matriz de presença e ausência de espécies lenhosas por meio do algoritmo de agrupamento UPGMA (método de grupo de pares não ponderados com média aritmética). Para testar se o cluster representa adequadamente a matriz de similaridade original, foi calculado o

coeficiente de correlação cofenética (BORCARD et al. 2011) por meio de uma correlação de Pearson entre a matriz de similaridade original e a matriz cofenética. A partir da matriz de espécies lenhosas foi utilizada a Análise de Coordenadas Principais (PCoA) também para avaliar a existência de grupos baseadas na semelhanças florística. As análises de cluster e PCoA foram realizadas usando o software Paleontological Statistics - PAST v. 1.89 (HAMMER et al., 2001). Para garantir maior robustez as análises, somente as espécies identificadas em um nível específico foram incluídas no conjunto de dados. Espécies com identificações duvidosas ("affinis" [aff.] ou "confer" [cf.]) foram excluídas e diferentes subespécies e variedades foram consideradas como a mesma espécie.



**Tabela 1:** Conjunto de dados avaliados por meio de análise multivariada e sua sigla (Acr.), localidade, domínios fitogeográficos (DF), riqueza de espécies (Spp.), gêneros (Gen.) e famílias (Fam.), principais famílias, coordenadas geográficas, elevação e fontes de referência.

Acr.	Localidade (estado)	DF	Spp.	Gen.	Fam.	Principais famílias	Latitude (S)	Longitude (W)	Elevação (m)	Referência
CPA	Complexo Pedra das Andorinhas, Jerônimo Monteiro (ES)	Ma	27	25	16	Fabaceae e Myrtaceae	20°46'19"	41°21'12"	150 - 500	Este estudo
MOQUI	Morro Quixa, Quixadá (CE)	Ca	16	15	10	Euphorbiaceae e Fabaceae	4°57'20"	39°01'28"	270	Araújo et al. 2008
FATIMB	Fazenda Timbaúba, Esperança (PB)	Ca	19	17	9	Fabaceae e Euphorbiaceae	7°1'00"	35°52'50"	-	Porto et al. 2008
ALMIST	Alto Misterioso, São Roque do Canaã e Itaguaçu (ES)	Ma	27	21	17	Melastomataceae, Clusiaceae e Asteraceae	19°48'10"	40°46'19"	850 - 1.143	Esgario et al. 2009
MOGAM	Morro da Gameleira, Vitória (ES)	Ma	12	12	10	Fabaceae e Apocynaceae	20°17'58"	40°18'5"	20 - 107	Santos et al. 2010
MOPES	Morro da Pescaria, Guarapari (ES)	Ma	12	12	10	Apocynaceae e Verbenaceae	20°39'27"	40°28'15"	-	Dalcol & Thomaz 2016
PEPONT	Pedra dos Pontões, Mimoso do Sul (ES)	Ma	17	13	10	Myrtaceae e Clusiaceae	20°56'43"	41°34'05"	700-1400	Couto et al. 2017
INMUC	Vale do Mucuri (MG)	Ma	9	9	6	Euphorbiaceae e Asteraceae	17°5'09"	41°15'44"	306 - 676	de Paula et al. 2017
PEELEF	Pedra do Elefante, Nova Venécia (ES)	Ma	61	48	29	Fabaceae e Myrtaceae	18°46'30"	40°27'42"	50 - 500	Pena et al. 2017
MOCARI	Morro do Carioca, Patos (PB)	Ca	30	28	16	Fabaceae e Euphorbiaceae	6°59'21"	37°13'27"	250 - 376	Lopes-Silva et al. 2019
PEALI	Pedra da Aliança, Muqui (ES)	Ma	10	10	5	Fabaceae e Malvaceae	20°54'05"	41°21'15"	200 - 450	Couto et al. (submetido)
PELIS	Pedra Lisa, Cachoeiro de Itapemirim (ES)	Ma	10	10	7	Fabaceae, Malvaceae e Myrtaceae	20°41'55'	41°18'28"	180 - 300	Couto et al. (submetido)
ITAOCA	Morro do Itaoca - Campos dos Goytacazes (RJ)	Ma	12	12	11	Asteraceae	21°47'48"	41°27'41"	10 - 170	Couto et al. (in press)

A influência da autocorrelação espacial na composição de espécies lenhosas foi analisada utilizando o teste de Mantel (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Para isso, foi criada uma matriz espacial com base nas coordenadas geográficas dos inselbergs. A inclusão da distância geográfica entre as áreas como um componente tem por objetivo verificar a contribuição do espaço para a similaridade florística. O teste de significância estatística para correlação de Mantel foi baseado em 10 000 permutações.

### 3. RESULTADOS

Foram registradas 27 espécies lenhosas para o Complexo Pedra das Andorinhas, distribuídas em 25 gêneros e 16 famílias (Figuras 3 e 4) (Tabela 2). As famílias mais representativas em número de espécies foram Fabaceae (cinco espécies, 19%), Myrtaceae (quatro espécies, 15%), seguidas por Anacardiaceae (8%), Malvaceae (8%) e Verbenaceae (8%), com duas espécies cada. Essas famílias representam 56% do total da riqueza de espécies registrada. O gênero *Eugenia* (Myrtaceae), foi representado por três espécies, enquanto os demais foram representados por apenas uma espécie.

Através de nossas observações, foi possível notar dois tipos de fitofisionomias nas encostas dos inselbergs. A primeira, evidenciada pelas árvores rupícolas epilíticas que vegetam diretamente sobre a rocha exposta, como *Pseudobombax aff. petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* e *Wunderlichia azulensis*. Em conjunto com essas espécies arbóreas, haviam as formações de tapetes de monocotiledoneas (POREMBSKI et al., 1998) representadas por espécies do gênero *Alcantarea aff. extensa* L.B Sm., *Pitcairnia azouryi* Martinelli & Forzza (Bromeliaceae) e *Vellozia* spp. (Velloziaceae), que resultava em uma estruturação na forma de mosaico (Figura 2d).

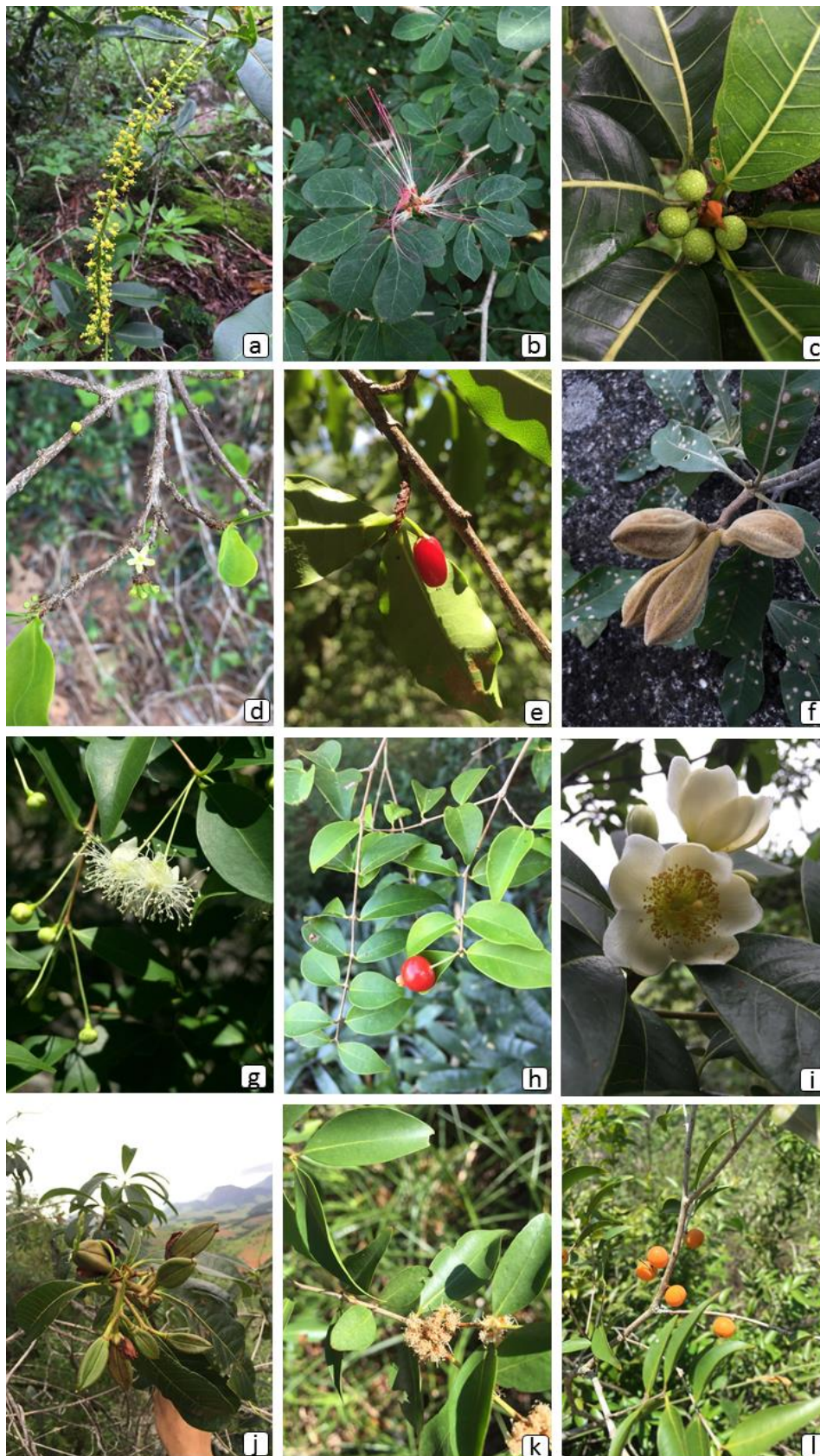
A outra fitofisionomia era composta predominantemente por espécies saxícolas que vegetam sobre um solo fino e pouco desenvolvido, como *Pilocarpus spicatus*, *Calliandra harrisii*, *Erythroxylum deciduum* e *Kielmeyera membranacea*, formando florestas de inselbergs mais adensadas sem a presença dos tapetes de monocotiledôneas (Figura 2b e 2c). Espécies como *Aspidosperma gomezianum*, *Ceiba erianthos*, *Eugenia puniceifolia*, *Lippia origanoides* e *Pleroma heteromallum* compartilhavam os dois ambientes. Outras espécies como *Albizia polycephala*, *Astronium graveolens*, *Cnidocolus oligandrus*, *Deguelia costata* e *Spondias mombin*, que também são encontradas nas formações florestais do entorno dos inselbergs, foram registradas predominantemente nas formações com as espécies rupícolas saxícolas.

**Figura 2:** Aspectos gerais dos inselbergs estudados no Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil: **a.** Vista panorâmica do complexo Pedra das Andorinhas e seu entorno antropizado; **b.** Aspecto geral da vegetação lenhosa em Pedra Três Irmãs; **c.** Aspecto geral da vegetação lenhosa em Pedra da Andorinha; **d.** Aspecto geral da vegetação lenhosa em Pedra Parada Cristal. Fonte: João Mário Comper Covre.





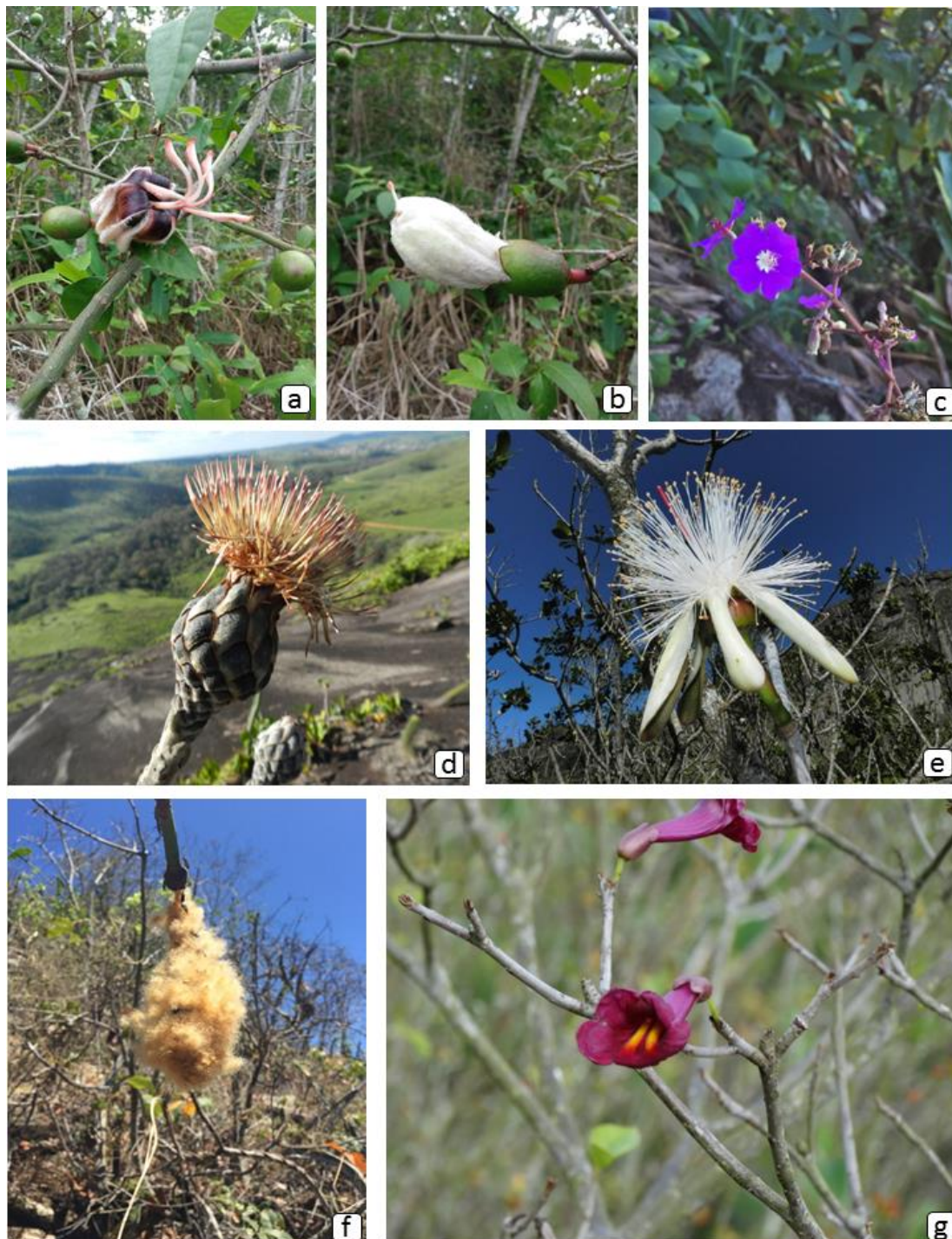
**Figura 3:** Espécies lenhosas registradas para o Complexo Pedra das Andorinhas. **a.** *Pilocarpus spicatus* (Rutaceae); **b.** *Calliandra harrisii* (Fabaceae); **c.** *Ficus cyclophylla* (Moraceae); **d/e.** *Erythroxylum deciduum* (Erythroxylaceae); **f.** *Aspidosperma gomezianum* (Apocynaceae); **g/h.** *Eugenia puniceifolia* (Myrtaceae); **i/j.** *Kielmeyera*





*membranaceae* (Calophyllaceae); **k/l.** *Myrciaria floribunda* (Myrtaceae). Fonte: João Mário Comper Covre.

**Figura 4:** Espécies lenhosas registradas para o Complexo Pedra das Andorinhas. **a/b.** *Ceiba erianthos* (Malvaceae); **c.** *Pleroma heteromallum* (Melastomataceae); **d.** *Wunderlichia azulensis* (Asteraceae); **e/f.** *Pseudobomax* aff *petropolitanum* (Malvaceae); **g.** *Tabebuia reticulata* (Bignoniaceae). Fonte a, b, d, e, g: Dayvid R. Couto; Fonte c, f: João Mário Comper Covre.



Três espécies encontradas neste estudo estão na lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção, a saber: *Ficus cyclophylla* e *Trigoniodendron spiritusanctense*, listadas como Vulnerável, e *Wunderlichia azulensis*, como Em perigo.

Quando analisamos a distribuição geográfica das espécies, predominaram espécies endêmicas da Mata Atlântica (9 spp., 33%) e espécies com ampla distribuição geográfica entre os domínios fitogeográficos brasileiros (8 spp., 30%). Cinco espécies (19%) foram partilhadas entre a Amazônia/ Cerrado e Mata Atlântica; três espécies (11%) são disjuntas entre Caatinga/ Mata Atlântica, e duas espécies (7%) são disjuntas entre Cerrado/ Mata Atlântica (Tabela 2).

As estratégias de polinização apresentam dominância da síndrome entomofilia (polinização por insetos), registrada para 84% das espécies (22 spp.), seguida pela quiropterofilia (polinização por morcegos), ornitofilia (polinização por pássaros) e anemofilia (polinização pelo vento), com duas espécies representativas para cada. As espécies *Astronium graveolens*, *Tabebuia reticulata* e *Pseudobombax aff petropolitanum* apresentam mais de uma síndrome de polinização. A síndrome de dispersão mais frequente foi zoocórica (dispersão por animais), constatada em 42% das espécies (11 spp.), seguida pela anemocórica (dispersão pelo vento) em 31% das espécies (oito spp.) e autocórica em 27% das espécies (sete spp.). A família Fabaceae foi a única que apresentou os três tipos de síndrome (Tabela 2).

**Tabela 2:** Espécies lenhosas registradas no Complexo Pedra das Andorinha, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. Síndrome de polinização (SP): Ent = entomofilia, Orn = ornitofilia, Qui = quiropterofilia; Síndrome de dispersão (SD): Ane = anemocórica, Zoo = zoocórica, Aut = autocórica; Domínio Fitogeográfico (DF): AD = ampla distribuição (ocorrem em mais de três domínios fitogeográficos no Brasil e/ ou fora do Brasil), Am = Amazônia, Ca = Caatinga, Ce = Cerrado, EN = endêmica da Mata Atlântica (Ma). “\*” = espécies ameaçadas de extinção; “\*\*” = espécies restritas à afloramentos rochosos. Voucher: Covre = João Mário Comper Covre. “-” = não aplicável.

<b>Família/ Espécies</b>	<b>SP</b>	<b>SD</b>	<b>DF</b>	<b>Voucher (herbário)</b>
<b>ANACARDIACEAE (2)</b>				
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Ent/Ane	Ane	AD	Covre 236 (CAP)
<i>Spondias mombin</i> L.	Ent	Zoo	Am/ Ce/ Ma	Covre 242 (CAP)
<b>APOCYNACEAE (1)</b>				
<i>Aspidosperma gomezianum</i> A.DC.	Ent	Ane	EN	Covre 243 (CAP)
<b>ASTERACEAE (1)</b>				
<i>Wunderlichia azulensis</i> Maguire & G.M.Barroso *,**	Ent	Ane	Ca/ Ma	Covre 246 (CAP)
<b>BIGNONIACEAE (1)</b>				
<i>Tabebuia reticulata</i> A.H.Gentry **	Ent/Orn	Ane	EN	Covre 237 (CAP)
<b>CALOPHYLLACEAE (1)</b>				
<i>Kielmeyera membranacea</i> Casar.	Ent	Ane	EN	Covre 247 (CAP)
<b>ERYTHROXYLACEAE (1)</b>				
<i>Erythroxylum aff deciduum</i> A.St.-Hil.	Ent	Zoo	Am/ Ce/ Ma	Covre 244 (CAP)
<b>EUPHORBIACEAE (1)</b>				
<i>Cnidocolus oligandrus</i> (Müll.Arg.) Pax	Ent	Aut	Ca/ Ma	Covre 238 (CAP)
<b>FABACEAE (5)</b>				
<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record	Ent	Aut	Ca/ Ce/ Ma	Covre 235 (CAP)
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Spig.	Ent	Aut	AD	Covre 245 (CAP)
<i>Andira aff legalis</i> (Vell.) Toledo	Ent	Zoo	EN	Covre 251 (CAP)
<i>Calliandra harrisii</i> (Lindl.) Benth.	Ent	Aut	Ca/ Ce/ Ma	Covre 234 (CAP)
<i>Deguelia costata</i> (Benth.) A.M.G.Azevedo & R.A.Camargo	Ent	Ane	EN	Covre 252 (CAP)
<b>MALVACEAE (2)</b>				
<i>Ceiba erianthos</i> (Cav.) K.Schum.	Qui	Ane	Ca/ Ma	Covre 239 (CAP)
<i>Pseudobombax aff petropolitanum</i> A.Robyns **	Qui/Orn	Ane	EN	Covre 250 (CAP)
<b>MELASTOMATACEAE (1)</b>				
<i>Pleroma heteromallum</i> (D.Don) D.Don	Ent	Ane	Ce/ Ma	Covre 98 (CAP)
<b>MORACEAE (1)</b>				
<i>Ficus cyclophylla</i> (Miq.) Miq. *	Ent	Zoo	EN	Covre 198 (CAP)
<b>MYRTACEAE (4)</b>				
<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	Ent	Zoo	AD	Covre 240 (CAP)
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess	Ent	Zoo	Ce/ Ma	Covre 248 (CAP)
<i>Eugenia bahiensis</i> DC.	Ent	Zoo	EN	Covre 249 (CAP)
<i>Myrciaria floribunda</i> (H.West ex Willd.) O.Berg	Ent	Zoo	AD	Covre 183 (CAP)
<b>RUTACEAE (2)</b>				
<i>Esenbeckia grandiflora</i> Mart.	Ent	Aut	AD	Covre 48 (CAP)
<i>Pilocarpus spicatus</i> A.St.-Hil.	Ent	Aut	Ca/ Ce/ Ma	Covre 241 (CAP)
<b>TRIGONIACEAE (1)</b>				
<i>Trigoniodendron spiritusanctense</i> E.F.Guim. & Miguel *	—	Zoo	EN	Covre 254 (CAP)
<b>URTICACEAE (1)</b>				
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	Ane	Zoo	AD	Covre 54 (CAP)
<b>VERBENACEAE (2)</b>				
<i>Lantana camara</i> L.	Ent	Zoo	AD	Covre 154 (CAP)
<i>Lippia organoides</i> Kunth	Ent	Aut	AD	Covre 46 (CAP)

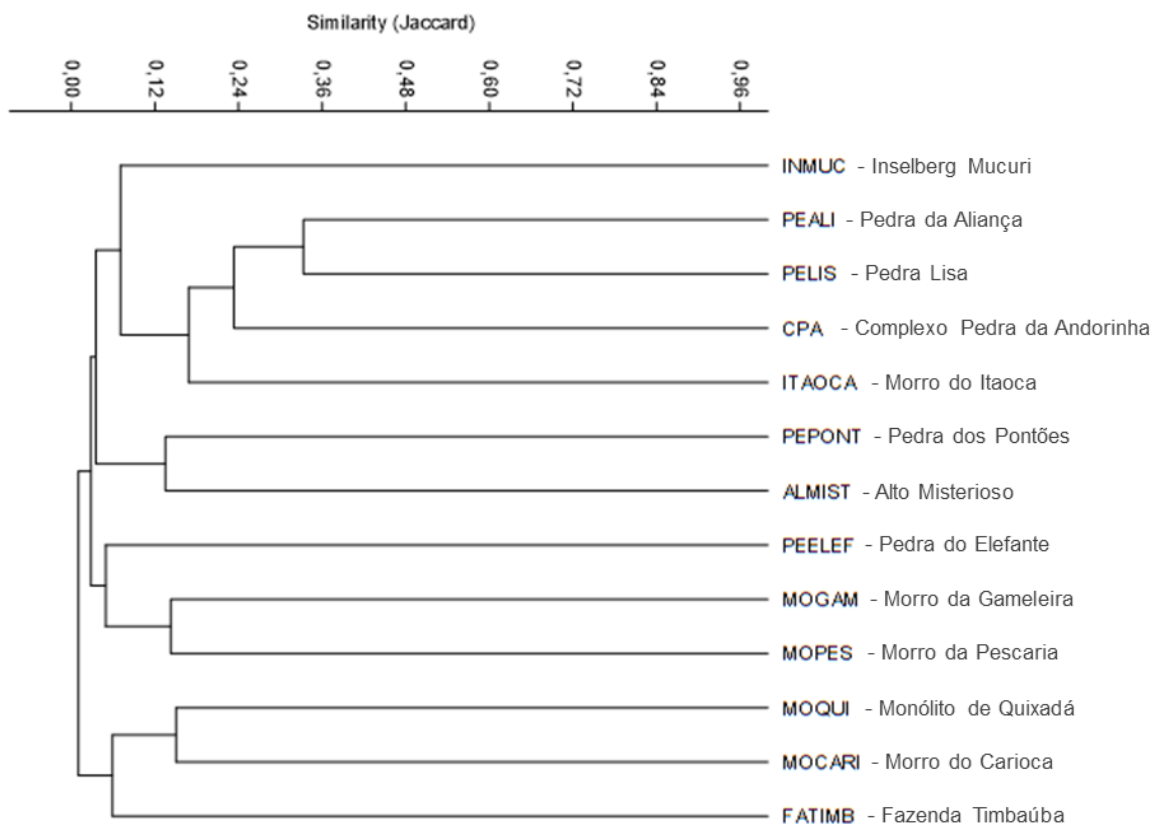


O dendograma de similaridade evidenciou a formação de dois grandes grupos, sendo o primeiro formado por inselbergs da Mata Atlântica e o outro por inselbergs da Caatinga (Figura 4). Os inselbergs situados no Sul do Espírito Santo, sob influência da Floresta Estacional Semidecidual submontana (CPA, Pedra da Aliança e Pedra Lisa), formaram um agrupamento com maior índice de similaridade (0,24). As espécies compartilhadas entre CPA e Pedra da Aliança foram: *Albizia polycephala*; *Aspidosperma gomezianum*, *Ceiba erianthos*, *Deguelia costata*, *Kielmeyera membranaceae*, *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Tabebuia reticulata*. Já as espécies compartilhadas entre CPA e Pedra Lisa foram: *Aspidosperma gomezianum*, *Ceiba erianthos*, *Eugenia puniceifolia*, *Myrciaria floribunda*, *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* e *Wunderlichia azulensis*. Apenas quatro espécies foram compartilhadas entre as três áreas, a saber: *Aspidosperma gomezianum*, *Ceiba erianthos*, *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Tabebuia reticulata*.

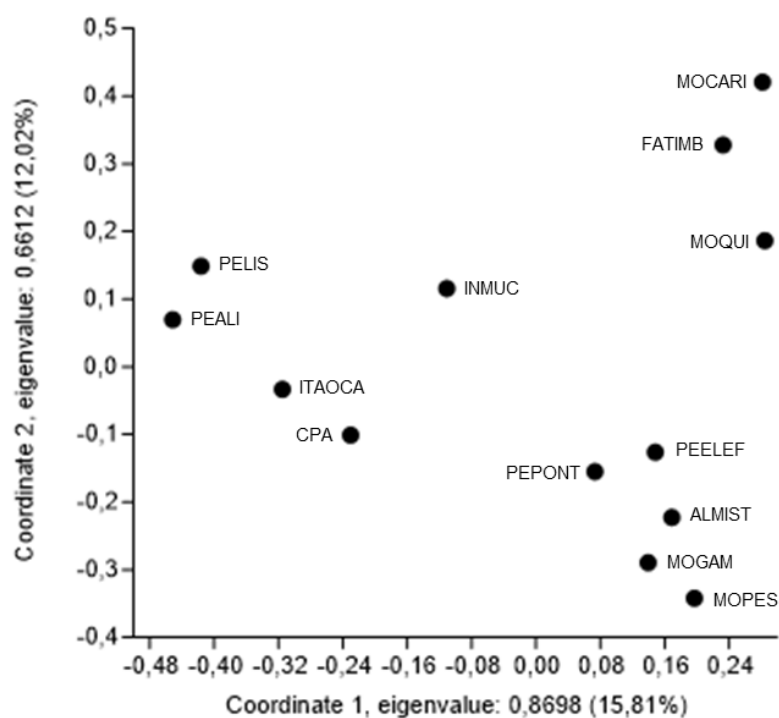
Do total de 201 espécies lenhosas analisadas, 11 eram exclusivas do CPA: *Andira legalis*, *Calliandra harrisii*, *Cnidoscolus oligandrus*, *Erythroxylum deciduum*, *Esenbeckia grandiflora*, *Eugenia bahiensis*, *Eugenia pyriformis*, *Pilocarpus spicatus*, *Spondias mombin*, *Trigoniodendron spiritusanctense* e *Urera baccifera*. Nenhuma espécie foi compartilhada entre todos os inselbergs. O coeficiente de correlação cofenética foi de 0,9241, mostrando pouca distorção entre a matriz e o dendrograma obtido na análise.

A PCoA apresentou os seguintes autovalores e percentuais de variância para os três primeiros eixos de ordenação: 0,8698 (15,81%), 0,6612 (12,02%) e 0,5731 (10,42%), respectivamente. Essa ordenação separou os inselbergs em grupos (Figura 5) semelhantes aos grupos encontrados pela análise de agrupamento. O teste de Mantel indicou uma correlação espacial positiva e significativa entre a distância geográfica dos inselbergs e a composição de espécies lenhosas (teste de Mantel,  $r = 0,406$ ;  $P = 0,001$ ).

**Figura 5:** Dendrograma de similaridade (índice de Jaccard) obtido pela análise de 201 espécies lenhosas e 13 áreas de inselbergs brasileiros. Coeficiente de correlação cofenética = 0,9241.



**Figura 6:** Análises das coordenadas principais (PCoA) de 201 espécies e 13 áreas de inselbergs brasileiros (Tabela 1).



#### 4. DISCUSSÃO

Este estudo fornece resultados inéditos sobre a vegetação lenhosa de inselbergs brasileiros, historicamente negligenciada no domínio da Mata Atlântica. Apresentamos dados sobre a composição de espécies, síndrome de polinização e dispersão, distribuição geográfica e conservação, além de conduzirmos análises de agrupamentos florísticos com outras floras lenhosas de inselbergs brasileiros. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas para conservação da biodiversidade, restauração e manejo de áreas remanescentes (CHAVES et al., 2013). Pelo fato do estado do Espírito Santo ser um dos maiores exploradores de rochas ornamentais do mundo (SARDOU FILHO et al., 2013), elevam ainda mais a importância deste estudo por trazer uma seleção de espécies basais que poderão subsidiar futuros estudos de recomposição de ambientes rochosos degradados pela mineração.

A riqueza de espécies lenhosas está de acordo com outros levantamentos realizados em inselbergs graníticos da Mata Atlântica (ESGARIO et al., 2009; COUTO et al., 2017) e da Caatinga (ARAÚJO et al., 2008; PORTO et al., 2008; LOPES-SILVA et al., 2019). No entanto, a riqueza registrada foi superior quando comparado com outros levantamentos florísticos em inselbergs graníticos da Mata Atlântica (SANTOS et al., 2010; DAL COL; THOMAZ, 2016; DE PAULA et al., 2017; COUTO et al., [in press]; COUTO et al., [submetido]). Essas comparações devem ser interpretadas com cautela, por conta de alguns fatores como o tamanho dos inselbergs, isolamento e heterogeneidade do habitat, os quais afetam a riqueza de espécies (POREMBSKI, 2007), além do esforço de amostragem sobre esse grupo de plantas.

Neste estudo, a família mais rica em número de espécies foi Fabaceae, que tem como característica apresentar maiores variações nas estratégias de sobrevivência em ambientes mais secos (PORTO et al., 2008), como a eficiência na associação com bactérias fixadoras de Nitrogênio (QUEIROZ, 2009). Trabalhos realizados em inselbergs africanos, também apontam a eficácia de adaptação desta família em ambientes rochosos (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000b). Esse resultado segue uma tendência quando analisamos as principais famílias registradas para inselbergs graníticos, onde a família Fabaceae se configura entre as mais representativas quanto ao número de espécies (ARAÚJO et al., 2008; PORTO et al., 2008; SANTOS et al., 2010; PENA et al., 2017; LOPES-SILVA et al., 2019; COUTO

et al., [submetido]).

Myrtaceae se apresenta como a segunda família mais rica neste estudo, representada pela gênero *Eugenia*. Essa família se destaca entre a mais ricas na flora lenhosa de inselbergs na Guiana Francesa (SARTHOU et al., 2003) e também para inselbergs da Mata Atlântica (COUTO et al., 2017; PENA et al., 2017; COUTO et al., [in press]). Em estudos sobre a vegetação lenhosa sobre afloramentos rochosos no cerrado (cerrado rupestre), se configura entre a mais ricas em números de espécies, evidenciando sua importância para ambientes rochosos (PINTO et al., 2009; LIMA et al., 2010). A capacidade de adaptação das espécies de Myrtaceae às restrições edafoclimáticas tem sido notado em outros trabalhos em inselbergs da Guiana Francesa (GRANVILLE, 1978; LARPIN, 2001). É também reconhecida pela importante relação com a fauna silvestre, garantindo recursos alimentares importantes (frutos carnosos) e estabelecendo interações bióticas cruciais (GOMES et al., 2017).

Afinidades florísticas podem ser apontadas em nível de gênero (*Erythroxylum*, *Eugenia*, *Kielmeyera*) e família (Erythroxylaceae, Myrtaceae, Calophyllaceae) com outros tipos de vegetação, como campos rupestres no Brasil (SILVA et al., 1996; MOURÃO; STEHMANN, 2007). Comparado com estudos no cerrado rupestre, aumentam as semelhanças a nível de gênero (*Anacardium*, *Astronium*, *Andira*, *Aspidosperma*, *Erythroxylum*, *Eugenia*, *Kielmeyera*, *Tabebuia*, *Wunderlichia*) e família (Anacardiaceae, Fabaceae, Apocynaceae, Erythroxylaceae, Myrtaceae, Calophyllaceae, Bignoniaceae, Asteraceae) (SANTOS et al. 2012; LIMA et al. 2010; PINTO et al. 2009;). Contudo, em nível específico as semelhanças entre esses ecossistemas são pequenas ou inexistentes, corroborando com o elevado endemismo encontrado em inselbergs, ilhas de biodiversidade exclusivas (POREMBSKI; BARTHLOTT, 2000b; POREMBSKI 2007).

A existência de espécies ameaçadas no CPA, *Ficus cyclophylla*, *Trigoniodendron spiritusanctense* e *Wunderlichia azulensis*, indica a necessidade de iniciativas de conservação da área pelo fato de espécies ameaçadas de extinção serem reconhecidas como principais indicadores de prevalência para a criação de áreas protegidas em todo o mundo (BROOKS et al., 2006). Além disso, a espécie *Tabebuia reticulata* (Bignoniaceae) foi citada como rara para a flora brasileira (GIULIETTI et al., 2009), demonstrando a importância da área para biodiversidade capixaba.

Quando analisamos as espécies compartilhadas entre Mata Atlântica e outros

domínios fitogeográficos brasileiros, Caatinga e Cerrado foram os mais representativos com 14 espécies cada. Assim, por possuírem características de ilha, os inselbergs têm importantes contribuições fitogeográficas para a diversidade regional, atuando como abrigo para a vegetação xérica de outros domínios (RATTER et al., 1997).

Das 26 espécies registradas no CPA, apenas *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Tabebuia reticulata* e *Wunderlichia azulensis* são restritas à afloramentos rochosos, indicando que o elevado endemismo citado para inselbergs de terras baixas se associa mais ao estrato herbáceo-subarbustivo, representado pelas famílias Bromeliaceae, Orchidaceae, Asteraceae e Melastomataceae (DE PAULA et al., 2020), estrato não amostrado nesse estudo. Os indivíduos lenhosos que vegetam sobre um solo fino e pouco desenvolvido em inselbergs (plantas rupícolas saxícolas), se concentram em microhabitats existentes nas fendas e depressões das rochas onde as condições para o estabelecimento são mais favoráveis. A variedade de microhabitats nesses ambientes possibilita o estabelecimento de espécies com diferentes exigências, o que promove uma maior riqueza de espécies para estas áreas (SAFFORD; MARTINELLI, 2000). Embora a flora dos inselbergs seja caracterizada principalmente por ervas e arbustos (POREMBSKI, 2007; COUTO et al., 2017), as árvores rupícolas também são importantes (COUTO et al., 2016; FRANCISCO et al., 2018). Por exemplo, a espécie *Pseudobombax aff petropolitanum*, assim como outras espécies do mesmo gênero, são conhecidas por desempenharem o papel de nucleadoras para flora epifítica vascular em inselbergs da Mata Atlântica, por conta de suas características morfológicas que favorecem a colonização de uma flora epifítica diversificada, fazendo com que os mesmos atuem como refúgios de biodiversidade (COUTO et al., 2016, 2019; FRANCISCO et al., 2018).

A síndrome de polinização por insetos (entomofilia), mais importante para as espécies registradas, ocupa posição de destaque entre os agentes polinizadores em Florestas Estacionais Semidecíduais (KINOSHITA et al., 2006; YAMAMOTO et al., 2007), demonstrando a importância ecológica desse grupo de polinizadores, principalmente as abelhas, que são conhecidas como os polinizadores mais versáteis e ativos, obtendo recurso em plantas com diferentes atributos florais (FAEGRI; PIJL, 1976). Destaque para a família Myrtaceae, uma das famílias apícolas mais importantes do Brasil, onde o principal recurso atrativo é o pólen, eventualmente associado a presença de néctar (GRESSLER et al., 2006).

Quanto a síndrome de dispersão, a zoocórica foi a mais evidente entre as espécies, padrão comum encontrado em ambientes tropicais (HOWE; SMALLWOOD, 1982; MARTINS et al., 2007), e em florestas tropicais estacionais (MORELLATO; LEITÃO FILHO, 1992; KINOSHITA et al., 2006). A família Myrtaceae teve grande influência para este resultado, já que todas as espécies brasileiras desta família possuem frutos carnosos (LANDRUM; KAWASAKI, 1997) cujas sementes são potencialmente dispersas por vertebrados frugívoros. A família Fabaceae foi a que apresentou os três tipos de dispersão, o que pode ser explicado pela grande diversidade morfológica, que resulta em uma grande variedades de frutos (QUEIROZ, 2009). Esse resultado atesta a importância dos inselbergs graníticos como importante fonte de recurso alimentar para a manutenção da fauna dispersora.

Podemos observar que os baixos valores de similaridade influenciados pelo baixo número de espécies compartilhadas entre as áreas, até mesmo em áreas próximas, refletem as particularidades florísticas intrínsecas de cada localidade. Isso corrobora com a grande diversidade de espécies influenciadas pela heterogeneidade ambiental, resultante da diferença de latitude, altitude ou a presença de barreiras para migração de espécies, já que em geral as condições ambientais encontradas em inselbergs são semelhantes, mesmo em domínios fitogeográficos diferentes (POREMBSKI, 2007). Os resultados obtidos pelo teste de Mantel indicaram a influência da distância geográfica e a similaridade florística entre os inselbergs, onde inselbergs geograficamente próximos tendem a ser mais semelhantes entre si. Apesar disso, alguns inselbergs do estado do Espírito Santo exibiram baixas similaridades, o que pode ser influenciado pela proximidade com o litoral (MOGAM, MOPES), altitudes mais elevadas (PEPONT, ALMIST) e diferença de tamanho dos inselbergs (PEELEF), alterando a riqueza de espécies que colonizam esses ambientes.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo oferece a primeira contribuição para o conhecimento da flora lenhosa de inselbergs do estado do Espírito Santo. De maneira geral, a vegetação lenhosa dos inselbergs estudados, são representados por poucas espécies exclusivamente rupícolas, e por várias espécies com ampla valência ecológica, ou seja, conseguem se adaptar aos diferentes habitats do Domínio Atlântico. Fabaceae e Myrtaceae representam as famílias dominantes nestes ambientes. Encontramos um padrão de distribuição geográfica, com predomínio de espécies endêmicas da Mata Atlântica e espécies com ampla distribuição geográfica entre os domínios fitogeográficos brasileiros, seguidas por disjunções entre Amazônia, Cerrado e a Mata Atlântica, evidenciando a importância dos inselbergs como área de refúgio para a flora xérica destes ambientes. A síndrome de polinização entomófila e a síndrome de dispersão zoocórica foram predominantes na vegetação lenhosa de inselbergs. Nossas análises evidenciaram, de maneira geral, baixa similaridade florística entre os inselbergs, porém, com as áreas mais ao sul do Espírito Santo, com influência da Floresta Estacional Semidecidual submontana, apresentando os maiores valores de similaridade. Esse resultado pode estar sendo influenciado pela distância geográfica entre os inselbergs.

Por fim, este estudo apresenta uma lista de espécies potencialmente úteis para o desenvolvimento da ciência da restauração para ambientes rupícolas, onde ainda residem grandes carências metodológicas, incluindo o uso de espécies adaptáveis as condições estressantes (e.g. baixa disponibilidade de água, solo e nutrientes, elevada exposição a ventos e radiação) observados nestes ambientes. Esperamos que estes dados sejam úteis para os gestores públicos. Além disso, reforçamos a necessidade urgente da proteção do Complexo Pedra das Andorinhas, seja pelos serviços ecossistêmicos prestados a sociedade (e.g. fixação de carbono, produção de água, beleza cênica), ou pela elevada biodiversidade que ocorre em seus ambientes, incluindo espécies raras, endêmicas e ameaçadas de extinção.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2 ed. Ateliê Editorial, São Paulo, 159p, 2003.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013.
- ARAÚJO, F. S.; OLIVEIRA, R. F.; LIMA-VERDE, L. W. Composição, espectro biológico e síndromes de dispersão da vegetação de um inselbergue no domínio da caatinga, Ceará. **Rodriguésia**, 59, 659-671, 2008.
- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. Numerical Ecology with R. **Springer**, New York. 306p, 2011.
- BROOKS, T. M.; MITTERMEIER, R. A.; DA FONSECA, G. A. B.; GERLACH, J.; HOFFMANN, M.; LAMOREUX, J. F.; MITTERMEIER, C. G.; PILGRIM, J. D.; RODRIGUES, A. S. L. Global biodiversity conservation priorities. **Science**, 313, 58-61, 2006.
- CHAVES, A. D. C. G.; SANTOS, R. M. S.; DOS SANTOS, J. O.; FERNANDES, A. A.; MARACAJÁ, P. B. A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 9(2), 43-48, 2013.
- COELHO, M. A. N.; VALADARES, R. T. Three new species of *Anthurium* (Araceae) from the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Minas Gerais, and Espírito Santo, Brazil. **Novon**, 27(1), 22-32, 2019.
- COSTA, F. S. N.; MOREIRA, F. D. F.; SYLVESTRE, L. D. S. Samambaias e licófitas em um afloramento rochoso costeiro no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Hoehnea**, 47, e252020, 2020.
- COUTO, D. R.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. C. A.; FRAGA, C. N. D.; PEZZOPANE, J. E. M. Vascular epiphytes on *Pseudobombax* (Malvaceae) in rocky outcrops (inselbergs) in Brazilian Atlantic Rainforest: basis for conservation of a threatened ecosystem. **Rodriguésia**, 67(3), 583-601, 2016.
- COUTO, D. R.; FRANCISCO, T. M.; MANHÃES, V. C.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. C. A. Floristic composition of a Neotropical inselberg from Espírito Santo state, Brazil: an important area for conservation. **Check List**, 2017.
- COUTO, D. R.; FRANCISCO, T. M.; GARBIN, M. L.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. C. A.; NETO, L. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Surface roots as a new ecological zone for occurrence of vascular epiphytes: a case study on *Pseudobombax* trees on inselbergs. **Plant Ecology**, 220(11), 1071-1084, 2019.
- COUTO, D. R.; MANHÃES, V. D. C.; DA COSTA, A. F. *Stigmatodon attenuatoides* (Tillandsioideae, Bromeliaceae): a new mat-forming species on inselbergs of southeastern Brazil. **Phytotaxa**, 468(1), 143-149, 2020.
- COUTO, D. R.; DAN, M. L.; AGUIAR, W. M.; BRAGA, J. M. A.; NASCIMENTO, M. T. (in press) Floristic composition, structure and species-area relationships on a neotropical inselberg in southeastern Brazil. **Rodriguésia**.



- COUTO, D. R.; FRANCISCO, T. M.; NASCIMENTO, M. T. (submetido) Commensalistic epiphyte–phorophyte networks in woody vegetation of tropical inselbergs: patterns of organization and structure. **Austral Ecology**.
- COVRE, J. M. C.; COUTO, D. R.; DIAS, H. M.; ZORZANELLI, J. P. F. Vascular plants on inselberg landscapes in Espírito Santo state: bases for the creation of a protected area in southeastern Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 43, e54760, 2021.
- DAL COL, A. C. S.; THOMAZ, L. D. Florística do Parque Natural Municipal Morro da Pescaria, Guarapari, Espírito Santo. **Bol. Mus. Biol. Mello Leitão (N. Sér.)** 38(3): 283-314, 2016.
- DE PAULA, L. F. A.; FORZZA, R. C.; NERI, A. V.; BUENO, M. L.; POREMBSKI, S. Sugar Loaf Land in South-eastern Brazil: a centre of diversity for mat-forming bromeliads on Inselbergs. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 181, 1-18, 2016.
- DE PAULA, L. F. A.; MOTA, N. F.; VIANA, P. L.; STEHMANN, J. R. Floristic and ecological characterization of habitat types on an inselberg in Minas Gerais, southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 31(2), 199-211, 2017.
- DE PAULA, L. F. A.; AZEVEDO, L. O.; MAUAD, L. P.; CARDOSO, L. J. T.; BRAGA, J. M. A.; KOLLMANN, L. J.; ... FORZZA, R. C. Sugarloaf Land in south-eastern Brazil: a tropical hotspot of lowland inselberg plant diversity. **Biodiversity Data Journal**, 8, 2020.
- ESGARIO, C. P.; FONTANA, A. P.; SILVA, A. G. A flora vascular sobre rocha no Alto Misterioso, uma área prioritária para a conservação da Mata Atlântica no Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Natureza on line**, 7(2), 80-91, 2009.
- FAEGRI, K.; VAN DER PIJL, L. **Principles of pollination ecology**, 2013.
- FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; BROCHADO, A. L.; GUALA II, G. F. Caminhamento - um método expedito para levantamentos florísticos qualitativos. **Cadernos de Geociências**, 12: 39-43, 1994.
- FLORA DO BRASIL 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 18 ago. 2021
- FRANCISCO, T. M.; COUTO, D. R.; EVANS, D. M.; GARBIN, M. L.; RUIZ-MIRANDA, C. R. Structure and robustness of an epiphyte–phorophyte commensalistic network in a neotropical inselberg. **Austral Ecology**, 43(8), 903-914, 2018.
- FRANCISCO, T. M.; COUTO, D. R.; GARBIN, M. L.; MUYLAERT, R. L.; RUIZ-MIRANDA, C. R. Low modularity and specialization in a commensalistic epiphyte–phorophyte network in a tropical cloud forest. **Biotropica**, 51(4), 509-518, 2019.
- GIULIETTI, A. M.; RAPINI, A.; ANDRADE, M. J. G.; QUEIROZ, L. P.; SILVA, J. M. C. **Plantas raras do Brasil**. Belo Horizonte, Conservação Internacional, 2009.
- GOMES, J. P.; DACOREGIO, H. M.; SILVA, K. M.; ROSA, L. H. D.; BORTOLUZZI, R. L. D. C. Myrtaceae na bacia do rio Caveiras: Características ecológicas e usos não madeireiros. **Floresta e Ambiente**, 24, 1-10, 2016.
- GRANVILLE, J. J. D. **Recherches sur la flore et la végétation guyanaises**, 1978.

- GRESSLER, E.; PIZO, M. A.; MORELLATO, L. P. C. Polinização e dispersão de sementes em Myrtaceae do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, 29, 509-530, 2006.
- HAMMER, Ö.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica** 4: 9, 2001.
- HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. **Annual review of ecology and systematics**, 13(1), 201-228, 1982.
- IPNI - **The international plant names index**, 2020. Disponível em < <http://www.ipni.org> >. Acesso em: 18 Jun. 2021
- KINOSHITA, L. S.; TORRES, R. B.; FORNI-MARTINS, E. R.; SPINELLI, T.; AHN, Y. J. CONSTÂNCIO, S. S. Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da mata do Sítio São Francisco, Campinas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 20, 313-327, 2006.
- LANDRUM, L. R.; KAWASAKI, M. L. The genera of Myrtaceae in Brazil: an illustrated synoptic treatment and identification keys. **Brittonia**, 49(4), 508-536, 1997.
- LARPIN, D. The low forest (Nouragues inselberg). In Nouragues. **Springer**, Dordrecht, 47-64, 2001.
- LARSON, D. W.; MATTHES, U.; KELLY, P. E. **Cliff Ecology: Pattern and Process in Cliff Ecosystems**. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Numerical ecology. Developments in Environmental Modelling. 3. ed. Amsterdam, Netherlands: **Elsevier Science B.V**, 990p, 2012.
- LIMA, T. A.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; PINTO, A. D. S. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. **Biota Neotropica**, 10(2), 159-166, 2010.
- LOPES-SILVA, R. F.; RODRIGUES, J. D. S.; GOMES-SILVA, F.; LUCENA, D. D. S.; LUCENA, M. D. F. D. A. Composição florística de um inselberg no semiárido paraibano, nordeste brasileiro. **Rodriguésia**, 70, 1-14, 2019.
- MAGURRAN, A. E. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Princeton: Princeton University Press. 179p, 1988.
- MANHÃES, V. C.; COUTO, D. R.; MIRANDA, F. D.; CARRIJO, T. V. New findings on the distribution of *Pitcairnia azouryi* (Bromeliaceae), a species restricted to Atlantic Forest inselbergs. **Phytotaxa**, 245, 59-65, 2016.
- MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. **Cancer Research**, 27, 209-220, 1967.
- MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, 587-597, 2007.
- MARTINELLI, G.; FORZZA, R.C. *Pitcairnia* L'Hér.(Bromeliaceae): uma nova espécie, *P. azouryi* Martinelli & Forzza, e observações sobre *P. encholirioides* LB Sm. **Brazilian Journal of Botany**, 29, 603-607, 2006.

MARTINS, M.; ZANZINI, A. C. S.; SANTIAGO, W. T. V. Síndromes de dispersão em formações florestais do bioma Cerrado no Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Biociências**, 5(S1), 807-809, 2007.

[MMA] Ministério de Meio Ambiente. **Portaria MMA nº 443**, de 17 de dezembro de 2014.

MORELLATO, Leonor PC. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**, 112-140, 1992.

MORI, S. A.; SILVA, L. A. M.; LISBOA, G.; CORADINI, L. Manual de Manejo do Herbário Fanerogâmico. Ilhéus: **Centro de Pesquisa do Cacau**, 104 p, 1989.

MOURA, I. O.; RIBEIRO, K. T.; TAKAHASI, A. Amostragem da vegetação em ambientes rochosos. **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de caso**, 255-294, 2011.

MOURÃO, A.; STEHMANN, J. R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, 58(4), 775-786, 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; TAMEIRÃO-NETO, E.; CARVALHO, W. A.; WERNECK, M.; BRINA, A. E.; VIDAL, C. V.; REZENDE, S. C.; PEREIRA, J. A. A. Análise florística do compartimento arbóreo de áreas de Floresta Atlântica sensu lato na região das Bacias do Leste (Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro). **Rodriguésia**, 56(87), 185-235, 2005.

OTTAVIANI, G.; MARCANTONIO, M.; MUCINA, L. Soil depth shapes plant functional diversity in granite outcrops vegetation of Southwestern Australia. **Plant Ecology & Diversity**, 9(3), 263-276, 2016.

PENA, N. T. L.; ALVES-ARAÚJO, A. Angiosperms from rocky outcrops of Pedra do Elefante, Nova Venécia, Espírito Santo, Brazil. **Rodriguésia**, 68(5), 1895-1905, 2017.

PINTO-JUNIOR, H. V.; VILLA, P. M.; PEREIRA, M. C. A.; MENEZES, L. F. T. D. The pattern of high plant diversity of Neotropical inselbergs: highlighting endemic, threatened and unique species. **Acta Botanica Brasilica**, 34, 645-661, 2021.

PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; PINTO, A. D. S. Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, Goiás. **Brazilian Journal of Botany**, 32(1), 1-10, 2009.

POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Inselberg vegetation and the biodiversity of granite outcrops. **Journal of the Royal Society of Western Australia** 80, 193-199, 1997.

POREMBSKI, S.; MARTINELLI, G.; OHLEMÜLLER, R.; BARTHLOTT, W. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. **Diversity and distributions**, 4(3), 107-119, 1998.

POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. **Plant Ecology**, 151, 19-28, 2000a.

POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. *Ecological Studies*. **Springer-Verlag**, Berlin. 522p, 2000b.

POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. **Revista Brasileira de Botânica**, 30, 579-586, 2007.

POREMBSKI, S.; SILVEIRA, F. A.; FIEDLER, P. L.; WATVE, A.; RABARIMANARIVO, M.; KOUAME, F.; HOPPER, S. D. Worldwide destruction of inselbergs and related rock outcrops threatens a unique ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, 25(13), 2827-2830, 2016.

PORTO, P. A. F.; ALMEIDA, A.; PESSOA, W. J.; TROVÃO, D.; FELIX, L. P. Composição florística de um inselbergue no agreste paraibano, município de Esperança, Nordeste do Brasil. **Revista Caatinga**, 21: 214-222, 2008.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. Editora Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 467, 2009.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, 80(3), 223-230, 1997.

SAFFORD, H. D.; MARTINELLI, G. Variations on One Theme: Regional Floristics of Inselberg Vegetation: Southeast Brazil. In: Porembski S & Barthlott W (eds.) *Inselbergs - biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. *Ecological Studies*. **Springer-Verlag**, Berlin, 146, 339, 2000.

SANTOS, L. G.; GRIFFO, C. L.; SILVA, A. G. Estrutura da vegetação arbustivo-herbácea de um afloramento rochoso da ilha de Vitória, Espírito Santo, sudeste do Brasil. **Natureza on line**, 8(1), 14-23, 2010.

SANTOS, T. R. R. D.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; MEWS, H. A. The tree-shrub vegetation in rocky outcrop cerrado areas in Goiás State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 35(3), 281-294, 2012.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo**. Brasília: CPRM. 358 pp, 2013.

SARTHOU, C.; VILLIERS, J. F.; PONGE, J. F. Shrub vegetation on tropical granitic inselbergs in French Guiana. **Journal of Vegetation Science**, 14(5), 645-652, 2003.

SILVA, M. F. F.; SECCO, R. S.; LOBO, M. G. A. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás, estado do Pará, Brasil. **Acta Amaz. [online]**. 26, 17-44, 1996.

THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP – APG An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 18(1): 1-20, 2016.

THIERS, B. (2016) Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. **New York Botanical Garden's Virtual Herbarium**. <http://sweetgum.nybg.org/ih>.

VAN DER PIJL, L. Principles of dispersal in higher plants (Vol. 214). Berlin: **Springer-Verlag**, 1982.

VERSIEUX, L. M.; WANDERLEY, M. D. G. L. A new species of *Alcantarea* (E. Morren ex Mez) Harms, Bromeliaceae. **Hoehnea**, 34(3), 409-413, 2007.

YAMAMOTO, L. F.; KINOSHITA, L. S.; MARTINS, F. R. Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua Montana, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 21, 553-573, 2007.

**CAPÍTULO 2 – COMUNIDADE LENHOSA EM INSELBERGS GRANÍTICOS  
DA MATA ATLÂNTICA: COMPOSIÇÃO, DIVERSIDADE, ESTRUTURA E  
EFEITO DE FATORES ABIÓTICOS**

## RESUMO

A estrutura e diversidade das comunidades de plantas são determinadas pela complexidade dos fatores abióticos e bióticos que atuam em diferentes escalas espaciais. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição, diversidade e estrutura florística, bem como analisar as relações entre as características da comunidade lenhosa e variáveis abióticas relacionadas as propriedades dos inselbergs, como rochoso, declividade e profundidade de solo e variáveis físicas e químicas do solo em três inselbergs graníticos de floresta estacional semidecidual no sul do estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil. Foram alocadas 12 parcelas de 20 x 20 m (quatro parcelas por inselberg) distribuídas ao acaso nas encostas das áreas de estudo, excluindo florestas de base e topo. Todos os indivíduos lenhosos que possuíam DAP > 5 cm foram incluídos e os fatores abióticos coletados em cada parcela foram: propriedades físico-químicas do solo, profundidade do solo, declividade e área exposta de rocha. Não encontramos diferenças na composição/diversidade de espécies entre os três inselbergs. No geral, foram contabilizados 275 indivíduos lenhosos, distribuídos em 20 espécies, 18 gêneros, 12 famílias, onde as famílias mais ricas foram Fabaceae (cinco espécies) e Myrtaceae (três espécies). A densidade média de indivíduos foi de 573 ind. ha<sup>-1</sup> e área basal total de 8,782 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, e as espécies com maiores valores de IVI para todas as áreas foram *Pilocarpus spicatus* e *Pseudobombax aff petropolitanum*. Os nossos resultados apoiam a hipótese de que as propriedades físicas do inselberg (declividade, profundidade de solo e área exposta de rocha) desempenha um papel relevante na estrutura, abundância, riqueza e diversidade de espécies lenhosas. Encontramos pouca influência das propriedades físico-químicas do solo, possivelmente, em razão dessas variáveis não ultrapassarem o limite a partir do qual se estabelece condições estressantes que limite o desenvolvimento da vegetação.

**Palavras-chave:** afloramento rochoso, heterogeneidade ambiental, levantamento fitossociológico, variáveis ambientais, vegetação lenhosa.

## ABSTRACT

The structure and diversity of plant communities are determined by the complexity of abiotic factors that act at different spatial scales. Thus, the present study aimed to evaluate the composition, diversity and floristic structure, as well as to analyze the relationships between the characteristics of the woody community and abiotic variables related to the properties of inselbergs, such as rockiness, slope and soil depth and physical and chemical variables of soil in three granitic inselbergs of seasonal semideciduous forest in southern Espírito Santo state, southeastern Brazil. Twelve plots of 20 x 20 m (four plots per inselberg) were randomly distributed on the slopes of the study areas, excluding base and top forests. All woody individuals that had DBH > 5 cm were included and the abiotic factors collected in each plot were: soil physicochemical properties, soil depth, slope and exposed area of rock. We found no differences in species composition/diversity between the three inselbergs. Overall, 275 woody individuals were counted, distributed in 20 species, 18 genera, 12 families, where the richest families were Fabaceae (five species) and Myrtaceae (three species). The average density of individuals was 573 ind. ha<sup>-1</sup> and total basal area of 8,782 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, and the species with the highest IVI values for all areas were *Pilocarpus spicatus* and *Pseudobombax aff petropolitanum*. Our results support the hypothesis that the physical properties of the inselberg (slope, soil depth and exposed rock area) play a relevant role in the structure, abundance, richness and diversity of woody species. We found little influence of the physicochemical properties of the soil, possibly because these variables do not exceed the limit from which stressful conditions are established that limit the development of vegetation.

**Keywords:** environmental heterogeneity, environmental variables, phytosociological survey, rock outcrop, woody vegetation.



## 1. INTRODUÇÃO

O conjunto de fitofisionomias brasileira abriga grande parcela da biodiversidade mundial e foram bem exploradas por diversos estudos científicos, entretanto, algumas subunidades ou ambientes marginais associados as principais unidades biogeográficas carecem de estudos (SCARANO 2007). Dentre esses ambientes marginais, se destacam os inselbergs, por conta da singularidade em suas composições florísticas e por constituírem paisagens de distinta beleza cênica (POREMBSKI et al., 1997; SAFFORD; MARTINELLI, 2000).

Os inselbergs de granito e/ou gnaisse tem como característica solos rasos, superaquecidos e pobres em nutrientes, além das altas taxas de evapotranspiração, o que dificulta o estabelecimento e/ou desenvolvimento de muitas espécies de plantas, principalmente espécies lenhosas (LARSON et. al., 2000; SCARANO, 2002; POREMBSKI, 2007). Estes padrões caracterizam estes ambientes como ilhas ecologicamente isoladas da vegetação do entorno, onde as condições ambientais adversas indicam a existência de uma longa e difícil história de estabelecimento da vegetação rupícola, além de uma fragilidade (baixa resiliência) destas comunidades vegetais (MARTINELLI, 2007).

A grande heterogeneidade desses ambientes desafia nossa compreensão de como processos estocásticos e/ou determinísticos estruturam e diversificam as comunidades vegetais que ali se desenvolvem. A estrutura, composição e diversidade de plantas podem ser determinadas pela complexidade dos fatores bióticos e/ou abióticos que atuam em diferentes escalas espaciais (CARVALHO et al., 2005; RODRIGUES et al., 2007; PEÑA-CLAROS et al., 2012). Dentre os fatores abióticos, a topografia (BENITES et al., 2007), propriedades físico-químicas do solo (REATTO et al. 2008; RIBEIRO; WALTER, 2008) e profundidade do solo (GROGER; HUBER, 2007) podem desempenhar um papel importante na formação dessa ampla heterogeneidade dos habitats, ocasionando diferenciações fitofisionomicas e atuando como fatores importantes/limitantes nos inselbergs.

Ao contrário dos ecossistemas florestais, nos inselbergs, as espécies lenhosas receberam pouca atenção, apesar de sua reconhecida importância para esse ecossistema, tanto em termos de biomassa e ciclagem de nutrientes (FREITAS et al., 2015), sendo escassos estudos associando fatores abióticos com a estruturação das comunidades de plantas lenhosas em inselbergs. É importante destacar que

compreender como esses fatores delinham a diversidade, composição e estrutura da vegetação é de grande importância na ecologia (GÖTZENBERGER et al., 2012), fornecendo bases relevantes para conservação, manejo de áreas remanescentes e desenvolvimento de técnicas de restauração (BENITES et al., 2007; CHAVES et al., 2013). Além disso, a resposta da vegetação sobre os fatores abióticos, gera características próprias e/ou comuns a outros ambientes, permitindo observar padrões que podem responder alguns questionamentos e gerar vários outros, fornecendo base para novos estudos.

Nesse contexto, procurando expandir nossos conhecimentos sobre a vegetação lenhosa em inselbergs, objetivando avaliar a composição, diversidade e estrutura florística, assim como investigar a relação entre fatores abióticos e a estrutura de comunidades lenhosas em três inselbergs de floresta estacional semidecidual no sul do estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil. Especificadamente, (1) avaliamos a diversidade, composição e estrutura da vegetação lenhosa entre os inselbergs. Esperamos que devido à proximidade dos três inselbergs, bem como a semelhanças nas condições ambientais entre eles, a composição, diversidade e a estrutura da vegetação lenhosa sejam semelhantes e (2) analisamos as relações entre as características da comunidade lenhosa, variáveis relacionadas as propriedades dos inselbergs, como declividade, profundidade do solo e área exposta de rocha, e variáveis físicas e químicas do solo. Hipotetizamos que as propriedades dos inselbergs são fatores importantes que influenciam a estrutura, abundância, riqueza e diversidade da comunidade lenhosa.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Área de Estudo**

O estudo foi conduzido em três inselbergs submontanos, originalmente dentro da Floresta Estacional Semidecidual, denominados por COVRE et al. (2021) como: Pedra Parada Cristal (20°47'39" S; 41°22'20" N; 379 m.s.n.m.), Pedra Três Irmãs (20°47'20" S; 41°21'6'47" N; 493 m.s.n.m.) e Pedra da Andorinha (20°46'19" S; 41°21'12" N; 339 m.s.n.m.), que juntos compõem o Complexo Pedra das Andorinhas (CPA) (Figura 1). Este complexo rochoso está situado nos municípios de Jerônimo Monteiro (maior parte) e Cachoeiro de Itapemirim, na região sul do estado do Espírito Santo, localizado nos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (COVRE et al.

2021) (Figura 1).

**Figura 1:** **a.** Localização dos três inselbergs estudados, pertencentes ao Complexo Pedra das Andorinhas (CPA), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil; **b.** Imagem parorâmica do CPA (1 = Pedra da Andorinha, 2 = Pedra Três Irmãs e 3 = Pedra Parada Cristal); **c.** Aspecto geral da vegetação lenhosa estudada em Pedra Parada Cristal. Fonte: João Mário Comper Covre.



Os inselbergs encontram-se próximos um dos outros, onde distam no máximo 300 m em linha reta, em relação a base de um do outro. (Figura 1b). A região é caracterizada por uma topografia muito acidentada, intercalada por pequenas áreas planas. O clima é do tipo Cwa (clima subtropical úmido) (ALVARES et al., 2013) com precipitação média anual de aproximadamente 1.375 mm e temperatura média de 21°C (COVRE et al., 2021). O CPA está inserido em uma matriz antropizada por atividades agropecuárias, principalmente a criação extensiva de gado-de-corte, cultivo de cafeeiros, citros, florestas comerciais e pequenos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual (COVRE et al., 2021).

## **2.2. Amostragem da vegetação lenhosa**

Em cada inselberg foram estabelecidas quatro parcelas de 20 x 20 m em vegetação lenhosa, dispostas de modo aleatório e mantendo-se uma distância mínima de 20 m uma da outra, totalizando 0,16 ha de área amostrada por inselberg. As parcelas foram alocadas na região mediana dos inselbergs, onde os fatores físicos (por exemplo, inclinação do terreno) permitem a ocorrência da vegetação lenhosa, excluindo florestas de base e do topo. Em cada parcela, foram registrados todos os indivíduos lenhosos (árvores e arbustos) com diâmetro a altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm. Os indivíduos foram marcados com placas metálicas sequencialmente numeradas, e registrados seus dados dendrométricos: altura total, por meio de um hipsômetro (Suunto PM-5, Finlândia) e o DAP com auxílio da fita diâométrica.

Amostras das espécies lenhosas foram coletadas e processadas seguindo os procedimentos usuais em levantamentos florísticos (MORI et al., 1989), e posteriormente tombadas no herbário Capixaba (CAP), do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, e a identificação do material botânico foi realizada por meio de chaves taxonômicas, monografias, floras, comparações com coleção de herbários e por meio de consultas a especialistas dos grupos taxonômicos específicos. A circunscrição das espécies de angiospermas em famílias seguiu o sistema Angiosperm Phylogeny Group (APG IV, 2016), bem como publicações taxonômicas. Abreviações de nomes dos autores, nomes atualmente aceitos e sinônimas seguem Flora do Brasil 2020 (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), e The Internacional Plant Names Index - IPNI (<<http://www.ipni.org>>).

## **2.3. Coleta de dados de solo/fatores abióticos**

Em cada parcela foram coletadas cinco amostras de solo (0-10 cm de profundidade), que foram homogeneizadas para nas análises das propriedades texturais (areia, silte e argila) e químicas (pH, N, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, CTC efetiva (t), SB, V; C e Matéria Orgânica), totalizando assim quatro amostras por inselberg. As

análises texturais e químicas foram feitas no Laboratório de Recursos Hídricos, do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAÉ/UFES), seguindo o manual de análises de rotina (EMBRAPA, 1997).

Nas demais variáveis coletadas, dividimos a parcela em quatro subparcelas (10x10) para aumentar a eficiência na coleta, e calculamos a média de cada variável em cada parcela, totalizando quatro amostras por inselberg.

A porcentagem de rocha exposta foi estimada de maneira visual, por meio da atribuição de uma escala de valores de Braun-Blanquet, conforme empregado por MOTA et al. (2014). A escala de notas atribuídas à rocha exposta dentro de cada subparcela varia de zero a quatro, como segue: zero = ausência total de rocha exposta na subparcela; um = 1-25% de ocorrência de rocha exposta na subparcela; dois = 26-50%; três = 51-75%, e quatro = 76-100%. Para a profundidade do solo, na região central de cada subparcela a espessura do solo foi registrada em dez pontos utilizando um metro graduado. A declividade foi medida utilizando um clinômetro e registrada em pelo menos três vértices das subparcelas, objetivando calcular o seu desnível (MOURA et al., 2011).



**Figura 2:** Vista panorâmica das áreas de estudo e das coletas de dados: **a.** Vista geral do complexo Pedra das Andorinhas e seu entorno antropizado; **b.** Coleta de solo para as análises químicas e físicas; **c.** Mensuração da declividade do terreno utilizando um clinômetro; **d.** Amostragem da profundidade do solo. Fonte: João Mário Comper Covre.



## 2.4. Análise dos dados

A análise da estrutura das comunidades lenhosas foi baseada nos parâmetros propostos por MÜLLER-DOMBOIS; ELLENBERG (1974) que incluem densidade absoluta (DA) e relativa (DR), frequência absoluta (FA) e relativa (FR), dominância absoluta (DoA) e relativa (DoR) e índice de valor de importância (IVI), obtidos por meio das seguintes fórmulas:  $DA = n / \text{área (ha)}$ ;  $DR = (n / N) * 100$ ;  $FA = (p_i / P) * 100$ ;  $FR = (FA_i / \sum FA) * 100$ ;  $DoA = g_i / \text{área (ha)}$ ;  $DoR = (g_i / G) * 100$ ;  $\%IVI = DR + FR + DoR / 3$ , em que:

n = número de indivíduos de uma determinada espécie;

N = número total de indivíduos;

$p_i$  = número de unidades amostrais com ocorrência da espécie i;

P = número total de unidades amostrais na amostra;

$g_i$  = área basal total de uma determinada espécie;

G = área basal de todas as espécies amostradas.

Curvas de rarefação de espécies (GOTELLI; COLWELL 2011) foram construídas para verificar a suficiência amostral e a riqueza estimada de espécies arbóreas para cada inselberg amostrado (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs) e para a amostra total, utilizando o software EstimateS (COLWELL, 2013). Foram realizadas 10 000 aleatorizações baseada em uma matriz de abundância de espécies nas parcelas. Dois estimadores de riquezas não-paramétricos, Chao 2 e Jackknife 1 foram utilizados.

Foi realizado o escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) e plotado a ordenação resultante da composição das espécies lenhosas nos inselbergs. Para esta análise foi utilizado Bray-Curtis como medida de distância, baseada na abundância das espécies registradas em cada parcela. O NMDS foi realizado com duas dimensões e calculou a distorção (estresse) entre a ordenação determinada na representação gráfica dos eixos e a matriz de dissimilaridade, para ponderar a confiabilidade do teste. Os valores de estresse variam de 0 a 1, resultados de ajuste mais próximo de 0 indica melhor ajuste entre a distância original dos objetos e a configuração obtida (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Para comparar a composição de espécies arbóreas entre os inselbergs, foi realizado a análise de variância multivariada permutacional, PERMANOVA (ANDERSON, 2001), calculada a partir da

matriz de Bray-Curtis e a significância probabilística obtida por meio de 10.000 permutações.

Para a análise de agrupamento (cluster), foi calculado a similaridade entre os três inselbergs utilizando o índice de similaridade de Jaccard (MAGURRAN, 1988), baseado na matriz de presença e ausência de espécies lenhosas por meio do algoritmo de agrupamento UPGMA (método de grupo de pares não ponderados com média aritmética). Para testar se o cluster representa adequadamente a matriz de similaridade original entre os três inselbergs, foi calculado o coeficiente de correlação cofenética (BORCARD et al., 2011) por meio de uma correlação de Pearson entre a matriz de similaridade original e a matriz cofenética. Também foi construído um diagrama de Venn para avaliar o número de espécies exclusivas e compartilhadas entre os inselbergs estudados.

Foi investigada a importância relativa de diferentes variáveis ambientais nas características da comunidade lenhosa em duas etapas. Na primeira, foi empregado a análise de múltiplos fatores (MFA; ESCOFIER; PAGE`S, 1994) com objetivo de avaliar a estrutura geral dos dados e determinar as relações entre conjuntos de dados. A MFA possibilita o acoplamento simultâneo de vários grupos ou subconjuntos de variáveis definidas nos mesmos objetos (ESCOFIER; PAGE`S, 1994). Neste estudo, foram selecionados três grupos de descritores: um grupo com dados da comunidade lenhosa (área basal total, altura média, DAP médio, riqueza de espécies, abundância e diversidade) e dois grupos de variáveis ambientais que descrevem a propriedade física dos inselbergs (rochosidade, declividade e profundidade de solo) e as propriedades físicas e químicas do solo (areia, silte e argila, pH H<sub>2</sub>O, P, K, Na, Ca, Mg, Al, H+Al, M.O, CTC e V) (Tabela 1).



**Tabela 1:** Variáveis relacionadas as características da comunidade lenhosa, propriedades dos inselbergs (variáveis físicas), solo e principais espécies lenhosas para os três inselbergs estudados (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil.

Grupos	Variáveis	Abreviação	Média±DP	Mínimo	Máximo
<b>Características da comunidade</b>	Área basal (m <sup>2</sup> há)	AB	0,73±0,52	0,08	1,76
	DAP (cm)	DBH	14,78±4,55	8,48	26,8
	Altura (m)	Height	3,74±0,53	2,96	4,6
	Abundância	Abund	23±12,13	6	38
	Diversidade Shannon	Divers	1,49±0,62	0,45	2,08
	Número de espécies	SP_num	6±2,88	2	10
<b>Propriedades dos inselbergs</b>	Rocha exposta	Rock	2±0,20	1	3
	Declividade (°)	Slope	30±3,22	25	34
	Profundidade do solo (cm)	Depth_soil	16±12,02	4	42
<b>Solo</b>	Argila (%)	Clay	21±4,74	15	32
	Silte (%)	Silt	18±2,81	13	21
	Areia (%)	Sand	61±4,00	49	66
	Acidez do solo	pH_H <sub>2</sub> O	5±0,34	4,6	5,7
	Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	P	8,91±6,22	2,03	26,36
	Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	K	65,75±22,15	25	104
	Sódio (mg dm <sup>-3</sup> )	Na	10,25±3,61	7	18
	Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Ca	4,04±3,23	0,57	10,48
	Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg	0,51±0,27	0,09	0,99
	Alúminio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Al	1,55±1,05	0	3,1
	Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	H <sub>Al</sub>	20,14±6,04	12,66	32,82
	Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	M.O	241±43,21	139,51	294,94
	Capacidade de troca de cátions (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC	24,91±5,60	14,67	33,58
	Saturação por bases (%)	V	19,26±12,58	2,26	42,79
<b>Espécies lenhosas</b>	<i>Pseudobombax aff petropolitanum</i>	PSPET	3,5±2,10	1	8
	<i>Pilocarpus spicatus</i>	PISPI	8,5±6,85	3	25
	<i>Tabebuia reticulata</i>	TARET	1,58±1,80	1	5
	<i>Ceiba erianthos</i>	CEERI	1,33±2,36	4	6
	<i>Aspidosperma gomezianum</i>	ASGOM	0,5±0,87	1	3
	<i>Eugenia puniceifolia</i>	EUPUN	2,42±3,33	1	9
	<i>Erythroxylum deciduum</i>	ERDEC	0,92±1,55	1	5
	<i>Cnidocolus oligandrus</i>	CNOLI	0,5±1,12	2	3
	<i>Kielmeyera membranaceae</i>	KIMEM	0,42±2,19	2	3
	<i>Calliandra harrisii</i>	CAHAR	0,83±2,19	1	8
	<i>Deguelia costata</i>	DECOS	1±1,58	2	4

A MFA é um método de ordenação multivariada, semelhante à análise de componente principal (PCA), que constrói eixos de maior variância para diferentes grupos de variáveis. A vantagem deste método é que as variáveis são separadas em grupos, cada um dos quais recebe peso igual na análise (BARALOTO et al., 2011). A contribuição relativa de grupos com grande número de variáveis não é exagerada, como seria o caso aqui para variáveis químicas do solo. Além disso, o MFA nos permite inserir grupos de variáveis suplementar, ilustrativos para explorar suas relações na ordenação sem influenciar a ordenação; aqui, foi inserido o grupo “Espécies lenhosas” como ilustrativo. Foi utilizado somente as espécies lenhosas com cinco ou mais indivíduos presente na comunidade. Antes da MFA ser realizada, as abundâncias das espécies lenhosas foram transformadas pela padronização de Hellinger (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001). Foram calculadas a importância relativa de cada grupo de variáveis em vez de variáveis únicas utilizando o coeficiente de correlação entre os grupos, RV, que é uma medida de similaridade entre matrizes simétricas quadradas. O coeficiente RV é uma generalização multivariada do coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado, que mede a proximidade de dois conjuntos de pontos que podem ser representados em uma matriz e assume valores entre 0 e 1 (ROBERT; ESCOUFIER, 1976).

Segundo, para complementar a MFA, foi calculado a correlação de Spearman para investigar a relação entre as características da comunidade lenhosa e as variáveis físicas dos inselbergs e físicas e químicas do solo. Diferenças significativas foram assumidas para  $p < 0,05$ . Foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman já que o teste não faz suposições sobre linearidade na relação entre duas variáveis (ZAR, 1996).

As análises foram realizadas com auxílio do software R (R Development Core Team, 2019), empregando o pacote ‘vegan’ (OKSANEN et al., 2017) para o NMDS, PERMANOVA, Cluster e padronização dos dados. O pacote “FactoMineR” (LE et al., 2008; HUSSON et al., 2015) e “Factoextra” (KASSAMBARA et al., 2020) foi utilizado para construção e análise da MFA e as correlações das variáveis foram calculadas e visualizadas utilizando a o pacote “corrplot” (WEI et al., 2016).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Diversidade, Estrutura e Composição

Nos três inselbergs, foram contabilizados 275 indivíduos lenhosos, distribuídos em 20 espécies, 18 gêneros, 12 famílias (Tabela 2). As famílias mais representativas em número de espécies foram Fabaceae (cinco espécies, 25%), Myrtaceae (três espécies, 15%), seguidas por Anacardiaceae (10%) e Malvaceae (10%) com duas espécies cada. Essas famílias representam 60% do total da riqueza de espécies registrada. A família Myrtaceae foi a única família que apresentou um gênero com mais de uma espécie.

Em relação aos parâmetros estruturais gerais, a densidade média de indivíduos foi de 573 ind. ha<sup>-1</sup> e área basal total de 8,782 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. *Pilocarpus spicatus* foi a espécie mais abundante nos três inselbergs estudados, totalizando 102 indivíduos (37%). A maior área basal foi registrada para a espécie *Pseudobombax aff petropolitanum*, representando 4,725 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (54%). A dominância absoluta e relativa foram maiores para a *Pilocarpus spicatus*. Em relação a frequência relativa, as espécies *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Pilocarpus spicatus* foram as mais distribuídas espacialmente. A espécie com maior dominância relativa foi *Pseudobombax aff petropolitanum*. Por fim, as espécies com maior valor de importância foram *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Pilocarpus spicatus*, onde juntas, representam 40% do IVI em PA, 55% do IVI em PC, 56% em PI (Tabela 2).

**Tabela 2:** Parâmetros estruturais obtidos para as espécies lenhosas nos três inselbergs estudados (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, classificadas de acordo com o índice de valor de importância (IVI%); Ni = número de indivíduos (por parcela de 400 m<sup>2</sup>); AB = área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>); DA = densidade absoluta (ind. ha<sup>-1</sup>); DR = densidade relativa (%); FR = frequência relativa (%); DoR = dominância relativa (%).

Família	Espécie	Ni	AB	DA	DR	FR	DoR	IVI
<b>Pedra da Andorinha</b>								
Malvaceae	<i>Pseudobombax aff petropolitanum</i>	9	0,719	56,25	9,78	18,37	32,79	20,31
Rutaceae	<i>Pilocarpus spicatus</i>	31	0,258	193,75	33,70	14,29	11,75	19,91
Myrtaceae	<i>Eugenia puniceifolia</i>	18	0,208	112,50	19,57	14,29	9,47	14,44
Fabaceae	<i>Deguelia costata</i>	8	0,327	50,00	8,70	10,20	14,90	11,27
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i>	7	0,086	43,75	7,61	10,20	3,91	7,24
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera membranacea</i>	5	0,128	31,25	5,43	6,12	5,81	5,79

Bignoniaceae	<i>Tabebuia reticulata</i>	3	0,130	18,75	3,26	6,12	5,91	5,10
Myrtaceae	<i>Eugenia bahiensis</i>	2	0,174	12,50	2,17	2,04	7,94	4,05
Fabaceae	<i>Albizia polichepala</i>	3	0,035	18,75	3,26	6,12	1,60	3,66
Fabaceae	<i>Andira aff legalis</i>	2	0,020	12,50	2,17	4,08	0,93	2,39
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	1	0,075	6,25	1,09	2,04	3,42	2,18
Trigoniaceae	<i>Trigoniodendron spiritusanctense</i>	1	0,016	6,25	1,09	2,04	0,75	1,29
Asteraceae	<i>Wunderlichia azulensis</i>	1	0,015	6,25	1,09	2,04	0,69	1,27
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	1	0,003	6,25	1,09	2,04	0,13	1,09
<b>Valores Totais</b>		<b>92</b>	<b>2,194</b>	<b>575</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

#### Pedra Parada Cristal

Malvaceae	<i>Pseudobombax aff petropolitanum</i>	19	1,825	118,75	19,59	20,00	62,74	34,11
Rutaceae	<i>Pilocarpus spicatus</i>	37	0,166	231,25	38,14	18,00	5,71	20,62
Malvaceae	<i>Ceiba erianthos</i>	10	0,208	62,50	10,31	14,00	7,14	10,48
Bignoniaceae	<i>Tabebuia reticulata</i>	6	0,262	37,50	6,19	10,00	9,01	8,40
Euphorbiaceae	<i>Cnidioscolus oligandrus</i>	6	0,042	37,50	6,19	12,00	1,45	6,55
Myrtaceae	<i>Eugenia puniceifolia</i>	7	0,121	43,75	7,22	6,00	4,17	5,80
Fabaceae	<i>Calliandra harrisii</i>	2	0,124	12,50	2,06	4,00	4,26	3,44
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i>	2	0,097	12,50	2,06	4,00	3,35	3,14
Apocynaceae	<i>Aspidosperma gomezianum</i>	2	0,013	12,50	2,06	4,00	0,45	2,17
Fabaceae	<i>Deguelia costata</i>	3	0,014	18,75	3,09	2,00	0,48	1,86
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	1	0,028	6,25	1,03	2,00	0,97	1,33
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i>	1	0,004	6,25	1,03	2,00	0,15	1,06
Trigoniaceae	<i>Trigoniodendron spiritusanctense</i>	1	0,003	6,25	1,03	2,00	0,12	1,05
<b>Valores Totais</b>		<b>97</b>	<b>2,908</b>	<b>606,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

#### Pedras Três Irmãs

Malvaceae	<i>Pseudobombax aff petropolitanum</i>	14	2,181	87,50	16,28	19,15	59,26	31,56
Rutaceae	<i>Pilocarpus spicatus</i>	34	0,316	212,50	39,53	25,53	8,59	24,55
Bignoniaceae	<i>Tabebuia reticulata</i>	10	0,390	62,50	11,63	14,89	10,60	12,37
Fabaceae	<i>Calliandra harrisii</i>	8	0,482	50,00	9,30	6,38	13,09	9,59
Malvaceae	<i>Ceiba erianthos</i>	6	0,194	37,50	6,98	8,51	5,26	6,92
Apocynaceae	<i>Aspidosperma gomezianum</i>	4	0,015	25,00	4,65	8,51	0,40	4,52
Myrtaceae	<i>Eugenia puniceifolia</i>	4	0,018	25,00	4,65	6,38	0,49	3,84
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i>	3	0,022	18,75	3,49	6,38	0,60	3,49
Fabaceae	<i>Anadenanthera peregrina</i>	2	0,053	12,50	2,33	2,13	1,45	1,97
Fabaceae	<i>Deguelia costata</i>	1	0,010	6,25	1,16	2,13	0,26	1,18
<b>Valores Totais</b>		<b>86</b>	<b>3,680</b>	<b>537,50</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Em Pedra da Andorinha foram contabilizados 92 indivíduos, distribuídos em 14 espécies, 10 famílias e área basal total de 2,194 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). A espécie *Pilocarpus spicatus* apresentou maior valor de densidade absoluta e relativa, seguida por *Eugenia punicifolia* e *Pseudobombax aff petropolitanum*. A espécie com maior distribuição espacial foi *Pseudobombax aff petropolitanum*, exibindo maior valor de frequência relativa, seguida por *Pilocarpus spicatus* e *Eugenia punicifolia*. Os maiores valores de dominância relativa foram expressados pelas espécies *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Deguelia costata* e *Pilocarpus spicatus*. Os maiores valores de importância foram registrados para as seguintes espécies: *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Pilocarpus spicatus* e *Eugenia punicifolia*.

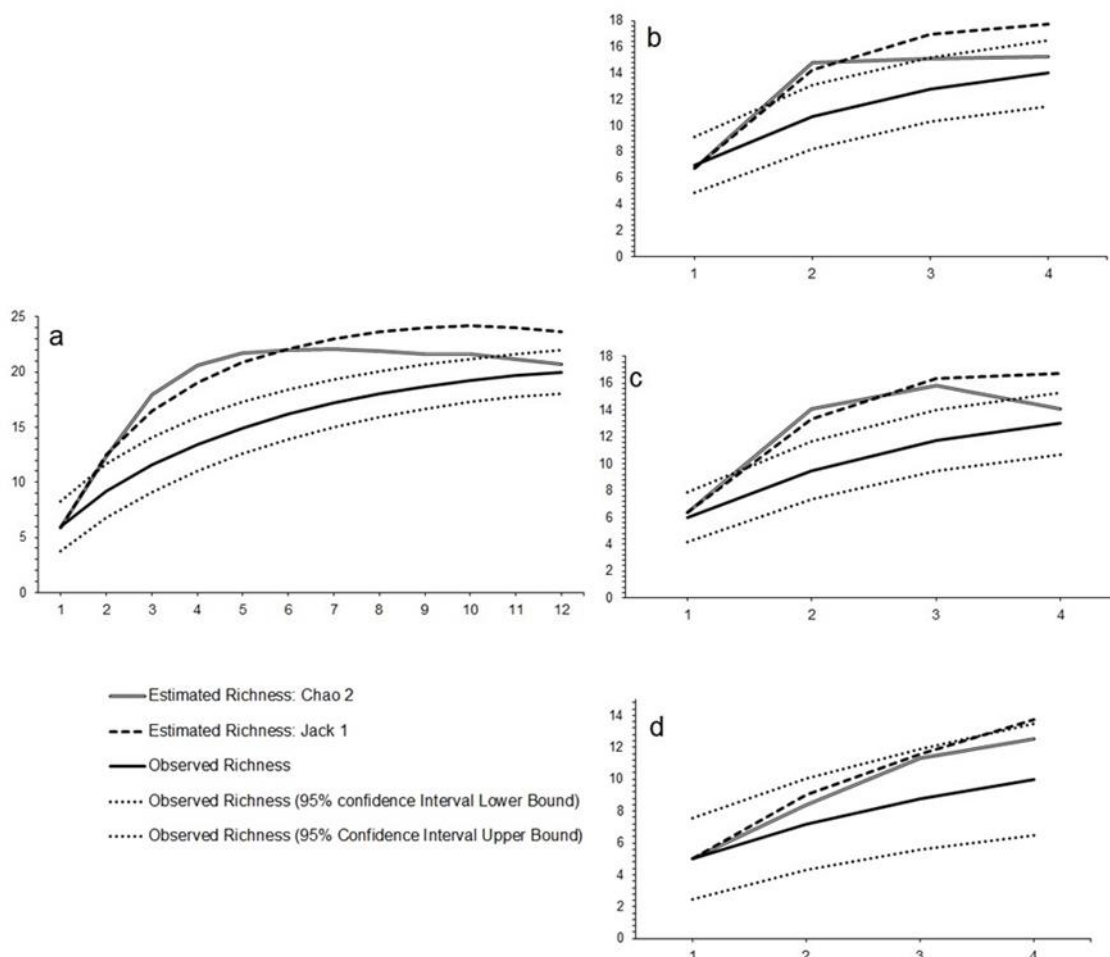
Pedra Parada Cristal apresentou 97 indivíduos, distribuídos em 13 espécies, 10 famílias e área basal total de 2,908 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). A espécie *Pilocarpus spicatus* apresentou maior valor de densidade absoluta e relativa, seguida por *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Tabebuia reticulata*. A espécie com maior distribuição espacial foi *Pilocarpus spicatus*, exibindo maior valor de frequência relativa, seguida por *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Tabebuia reticulata*. Os maiores valores de dominância relativa foram expressadas pelas espécies *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Deguelia costata* e *Pilocarpus spicatus*, resultado do maior valor de área basal dessas espécies. Os maiores valores de importância foram registrados para as seguintes espécies: *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Pilocarpus spicatus* e *Eugenia punicifolia*.

Na Pedra Três Irmãs foram registrados 86 indivíduos, distribuídos em 10 espécies, 7 famílias e área basal total de 3,680 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). A espécie *Pilocarpus spicatus* apresentou maior valor de densidade absoluta e relativa, seguida por *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Ceiba erianthos*. A espécie com maior distribuição espacial foi *Pseudobombax aff petropolitanum*, exibindo maior valor de frequência relativa, seguida por *Pilocarpus spicatus* e *Ceiba erianthos*. Os maiores valores de dominância relativa foram expressadas pelas espécies *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Calliandra harrisii* e *Tabebuia reticulata*. Por fim, os maiores valores de importância foram registrados para as seguintes espécies: *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Pilocarpus spicatus* e *Tabebuia reticulata*.

Embora as curvas de rarefação não tenham aparentemente atingido assíntotas (Figura 3), o estimador de riqueza Chao 2 indicou uma riqueza estimada

de 20,69 espécies (96,66%) e Jackknife 1 de 23,67 espécies (84,49%) para a amostra total. Para Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs, o Chao 2 estimou uma riqueza de 15,25 (91,80%), 14 (92,85%) e 12,50 (80%) espécies e o Jackknife 1 de 17,75 (78,87%), 16,75 (77,61%) e 13,75 (72,72%) espécies, respectivamente.

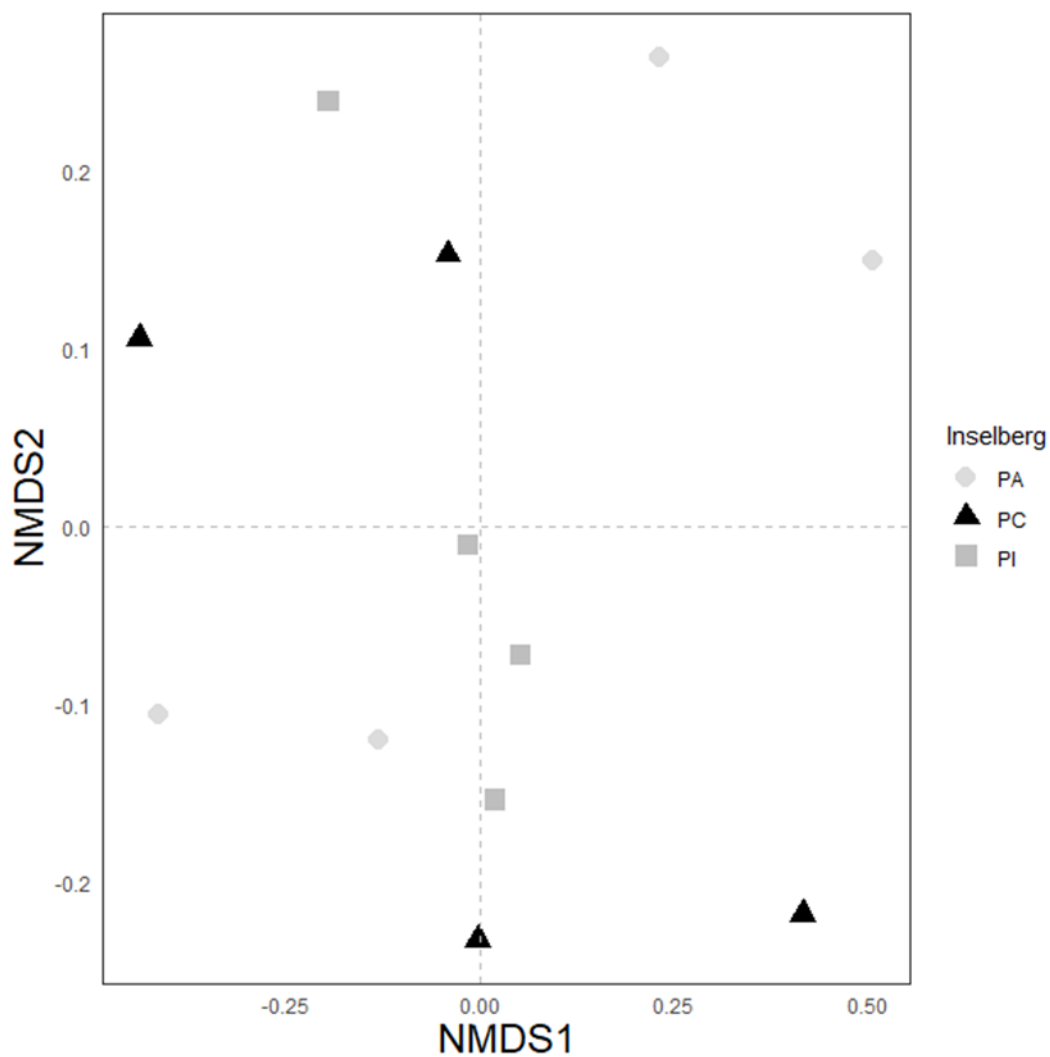
**Figura 3:** Curvas de rarefação e estimativas de riqueza de espécies lenhosas baseada no número de parcelas amostradas nos três inselbergs (a) e para os três inselbergs separadamente, Pedra da Andorinha (b); Pedra Parada Cristal (c) e Pedra Três Irmãs (d). Linha preta sólida exibe o número observado de espécies no conjunto de dados com seus respectivos intervalos de confiança a 95% (linhas pretas pontilhadas) e o número de espécies estimadas, utilizando dois estimadores-não paramétricos de riqueza: Chao 2 e Jackknife 1.



Os três inselbergs estudados apresentaram comunidades semelhantes em termos de abundância relativa das espécies lenhosas, com poucas espécies abundantes e dominância de espécies com baixo número de indivíduos, consideradas espécies raras (Figura S1). Em PA, *Pilocarpus spicatus* e *Eugenia puniceifolia* foram as espécies mais abundantes, representando juntas 53% dos indivíduos. Representada por apenas um indivíduo, *Wunderlichia azulensis*, *Astronium graveolens* e *Eugenia pyriformis* apresentaram a menor abundância. *Pilocarpus spicatus* e *Pseudobombax aff petropolitanum* foram as espécies mais abundantes em PC e PI e representam juntas 57,7% e 55,7% dos indivíduos, respectivamente. *Erythroxylum deciduum* e *Astronium graveolens* foram as espécies menos abundantes em PC e *Deguelia costata* em PI.

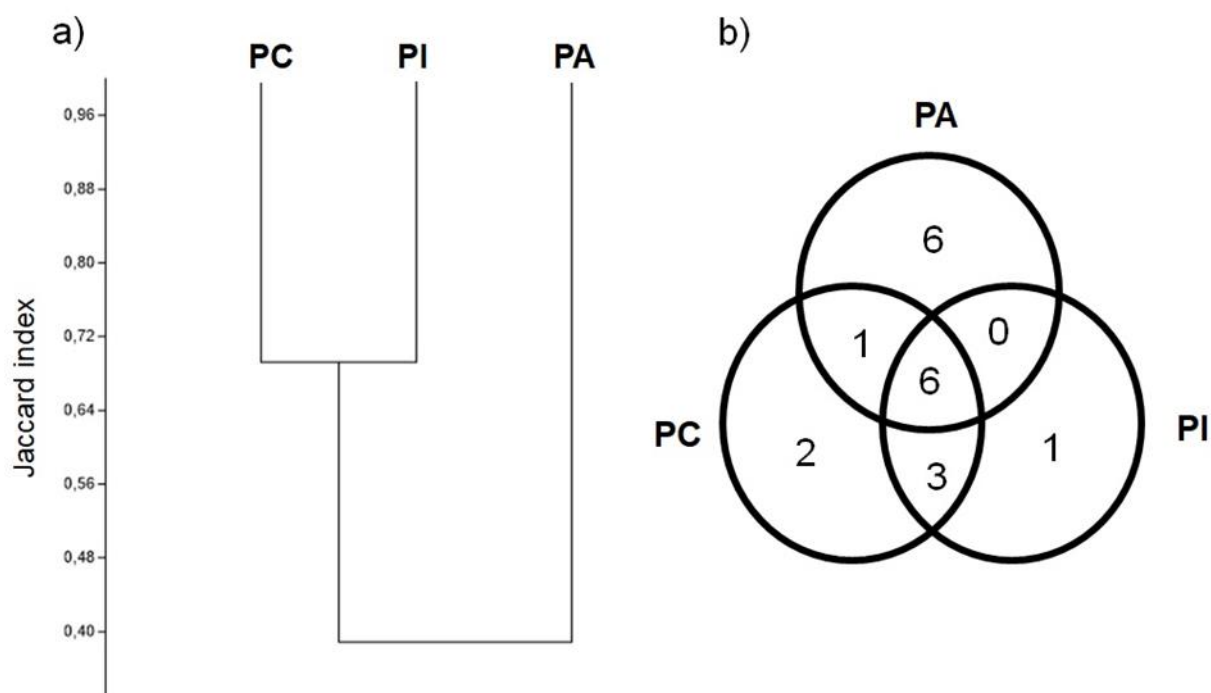
A composição das espécies lenhosas não diferiu entre os três inselbergs (PERMANOVA:  $F = 1.1079$ ;  $p = 0,3609$ ) (Figura 4). A análise de similaridade florística entre os três inselbergs estudados, calculada pelo coeficiente de Jaccard (PA / PC = 0,388, PA / PI = 0,352 e PC / PI = 0,692), também representada pelo diagrama de Venn, mostra maior semelhança florística entre Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs (Figura 5 a e b). A Pedra da Andorinha detém o maior número de espécies exclusivas: *Wunderlichia azulensis*, *Kielmeyera membranacea*, *Andira aff legalis*, *Albizia polichepala*, *Eugenia pyriformis*, *Eugenia bahiensis* e *Trigoniodendron spiritusanctense*. Existe uma sobreposição entre as floras arbóreas dos três inselbergs, com seis espécies comuns entre eles: *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Pilocarpus spicatus*, *Tabebuia reticulata*, *Eugenia puniceifolia*, *Erythroxylum aff deciduum*, *Deguelia costata*. Além disso, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs exibiram uma similaridade maior e juntas compartilham três espécies, *Ceiba erianthos*, *Aspidosperma gomezianum*, *Calliandra harrisii*, enquanto que Pedra Parada Cristal e Pedra da Andorinha e Pedra da Andorinha e Pedra Três Irmãs exibiram baixas similaridades e compartilharam apenas uma espécie (*Astronium graveolens*) e nenhuma espécie, respectivamente.

**Figura 4:** Representação bidimensional do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS), ilustrando a ordenação da composição de espécies lenhosas nos três inselbergs estudados (PA: Pedra da Andorinha, PC: Pedra Parada Cristal, PI: Pedra das Três Irmãs). Foi utilizado matriz de distância de Bray-Curtis (stress = 0,109). Os símbolos representam as parcelas de 20 x 20 m.





**Figura 5:** Relação florística e espécies lenhosas exclusivas e compartilhadas registradas nos três inselbergs estudados. **a.** Dendrograma (índice de similaridade de Jaccard) gerado pelo algoritmo UPGMA. Coeficiente de correlação cofenética = 0,995; **b.** Diagrama de Venn mostrando as espécies exclusivas e compartilhadas entre os três inselbergs estudados. PA: Pedra da Andorinha; PC: Pedra Parada Cristal e PI: Pedra Três Irmãs.



A diversidade de Shannon ( $H'$ ) para as espécies lenhosas no três inselbergs variou de 1,87 a 2,06 e a equabilidade de Pielou variou de 0,76 a 0,81 (Tabela 3). Os três inselbergs não diferem na diversidade de espécies lenhosas (ANOVA:  $F_{2,9} = 0,596$ ;  $p=0,572$ ).

**Tabela 3:** Riqueza e diversidade de espécies lenhosas para os três inselbergs estudados (Pedra da Andorinha, Pedra Parada Cristal e Pedra Três Irmãs), município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. (N) número de indivíduos; (S) número de espécies; ( $H'$ ) índice de diversidade de Shannon e equabilidade de Pielou (J).

Inselberg	N	S	$H'$	J
PA	92	14	2,06	0,78
PC	97	13	1,94	0,76
PI	86	10	1,87	0,81

### 3.2. Fatores abióticos

Entre todas as parcelas existem semelhanças nas variáveis abióticas (Tabela S1). As variáveis químicas caracterizaram os solos dos inselbergs estudados como ácidos (pH 4,67 a 5,78). No geral, os teores de fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio foram baixos em todas as áreas. Além disso, apresentam elevados níveis de alumínio trocável e altos teores de carbono e matéria orgânica. Podem ser considerados distróficos (saturação por bases < 50%) e com baixa CTC efetiva. Em relação ao solo, no geral são arenosos, tendo apenas três parcelas (p1 e p3 em PC; p3 em PI) apresentando textura Franco Argilo Arenosa, o restante apresentou textura Franco Arenosa.

O índice de rochividade variou de 1 a 3, onde a maioria das parcelas apresentaram mais que 25% de sua área com rocha aflorada e a declividade de 25° para 34°. Por fim, a profundidade do solo foi baixa, onde os solos mais profundos possuíam 42 cm de espessura e o mais rasos possuíam 4 cm.

### 3.3. Relação entre fatores abióticos e características da comunidade lenhosa

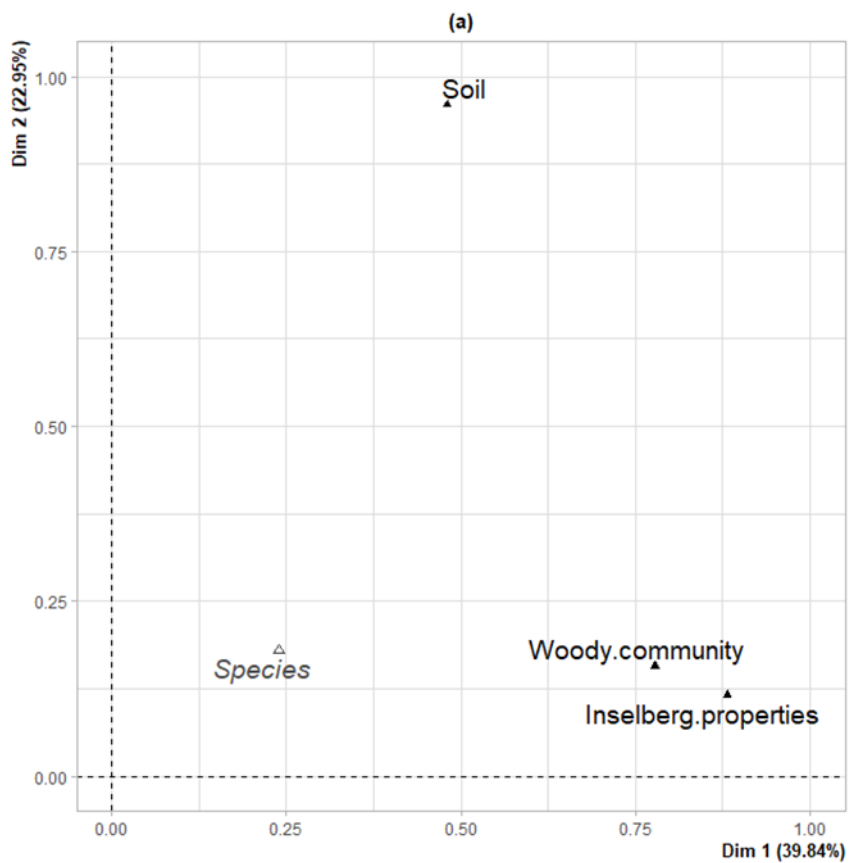
Utilizando a Análise de Múltiplos Fatores (MFA) para examinar as relações entre as características da comunidade lenhosa, propriedades físicas dos inselbergs e propriedades físicas e químicas do solo, além de suas relações com as espécies lenhosas, dois grandes gradientes de variações foram readquiridos e as duas primeiras dimensões da MFA explicaram 63% da variação no conjunto dados originais (Figura 6; Figura S2 a e b). A primeira dimensão da MFA (Dim 1) teve fortes contribuições associados com os grupos das características da comunidade lenhosa e de propriedades físicas dos inselbergs (Figura 6a; Figura S2a), em especial com a abundância, riqueza e diversidade de espécies, altura média e profundidade do solo, densidade, rochosidade, sendo todas significativamente correlacionados com essa dimensão (Figura S2), indo de um espectro mais rochoso e arenoso para solos mais profundos e argilosos. A abundância, riqueza e diversidade de espécies foram fortemente correlacionados positivamente com a profundidade do solo e o conteúdo de argila e diminuiu com a exposição de rocha nos inselbergs (Figura 7, Tabela S3). A abundância foi correlacionada negativamente com a declividade (Figura 7, Tabela S3). Entre todas as espécies, somente *Pseudobombax aff petropolitanum*, endêmica de inselbergs, foi positivamente correlacionada sobre a rocha exposta (Figura 6b).

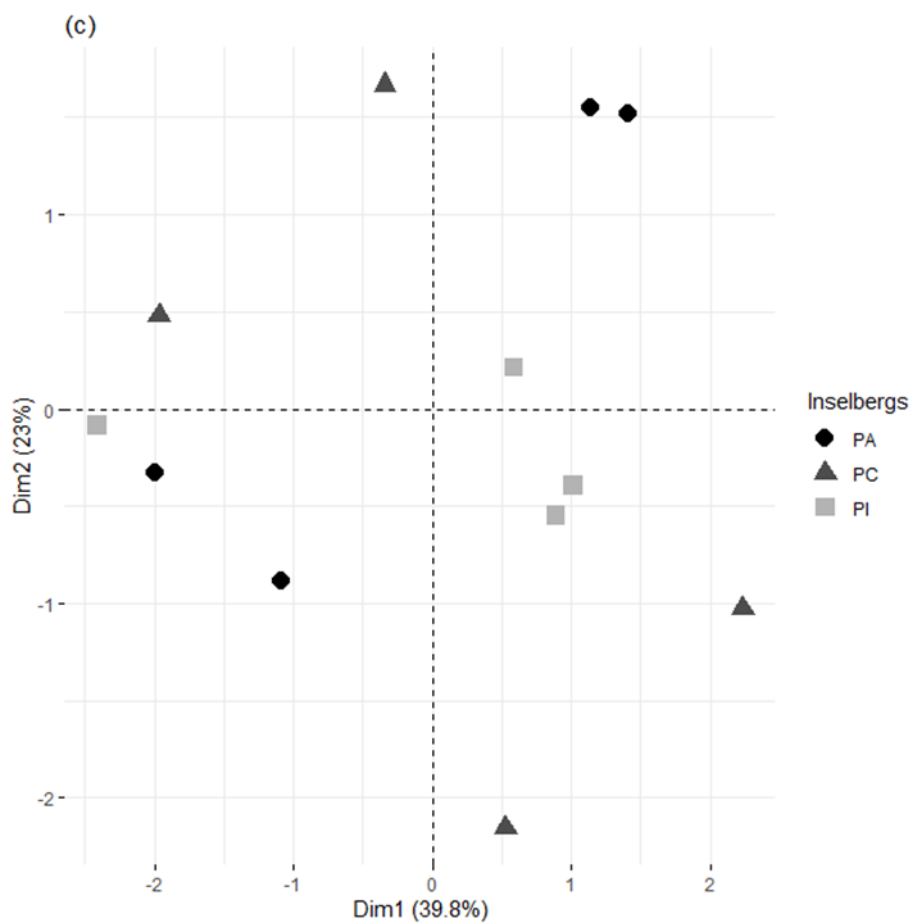
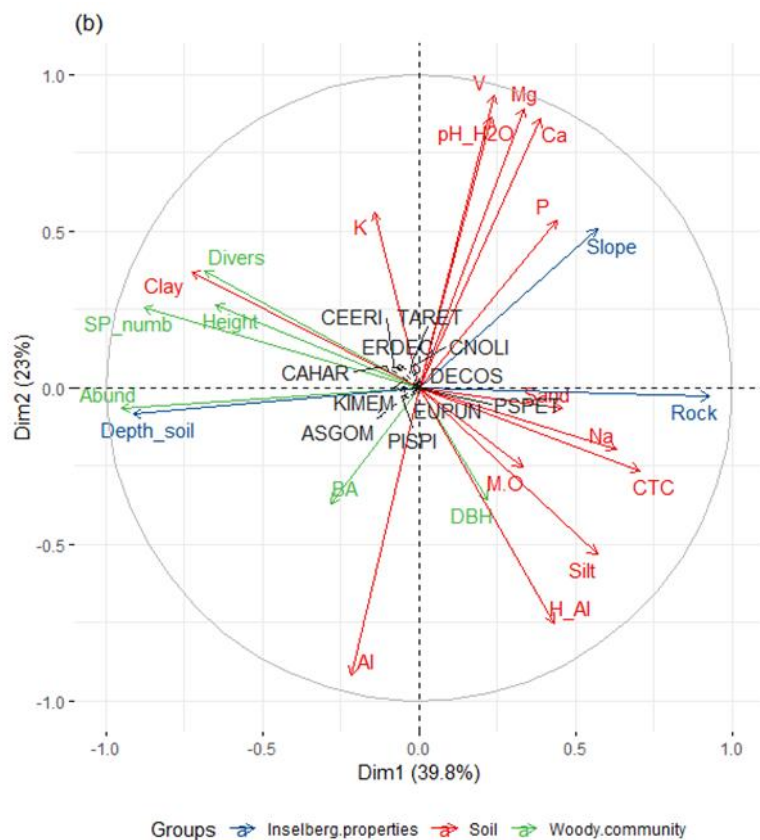
A segunda dimensão conteve contribuições significativas somente para variáveis químicas do solo, onde o pH foi relacionado positivamente e significativamente com a saturação por bases, magnésio e cálcio e diminuiu em função do alumínio e acidez potencial. Também podemos observar a relação negativa entre CTC e profundidade do solo (Figura 6b; Figura S2b). Não encontramos um padrão de distribuição das espécies em função das propriedades químicas do solo.

A ordenação das parcelas não revela uma tendência clara de separação geográfica entre os inselbergs, entretanto uma tendência em termos de propriedades físicas dos inselbergs, pode ser evidenciada em Pedra Três Irmãs, onde as ilhas de vegetação lenhosas parecem apresentar mais rocha exposta do que as outras parcelas dos dois inselbergs, Pedra da Andorinha e Pedra Parada Cristal (Figura 6c).

**Figura 6:** Ordenações de diferentes variáveis e parcelas em vegetação lenhosa de inselbergs utilizando Análise de Fatores Múltiplos (MFA); **a.** Correlação entre os grupos (características da comunidade lenhosa, propriedades físicas do inselberg e físicas e químicas do solo) e as dimensões 1 e 2; **b.** Correlações entre as variáveis de cada grupo (Tabela 3) e suas pontuações nas dimensões. As setas indicam a

ponderação dos vetores que representam as variáveis nos três grupos; **c.** Projeção das 12 parcelas nos três inselbergs estudados (PA: Pedra da Andorinha, PC: Pedra Parada Cristal e PI: Pedra Três Irmãs).





Usamos o coeficiente RV (medida de similaridade entre matrizes simétricas quadradas) para demonstrar a proximidade de diferentes grupos de variáveis em uma matriz multivariada. Entre os três grupos de variáveis, conforme esperado (hipótese 2) as características da comunidade lenhosa foi significativamente correlacionada as propriedades físicas dos inselbergs, mas não com as propriedades físicas e químicas do solo. Entre as variáveis abióticas, as relacionadas as propriedades dos inselbergs foram correlacionadas com as propriedades físicas e químicas do solo (Tabela 4).

**Tabela 4:** Coeficientes RV (abaixo da diagonal - metade inferior esquerda da matriz) e valores P correspondentes (acima da diagonal) entre os três grupos de variáveis utilizadas na Análise de Múltiplos Fatores (MFA) nos três inselbergs. Coeficientes significativos aparecem em negrito.

	Woody community	Inselberg properties	Soil
Woody community	1.000	0.019	0.249
Inselberg properties	<b>0.461</b>	1.000	0.038
Soil	0.312	<b>0.417</b>	1.000



#### 4. DISCUSSÃO

Este estudo oferece informações importantes e inéditas sobre a composição florística e estrutural e o efeito de fatores ambientais sobre a comunidade lenhosa em inselbergs graníticos, um tema ainda pouco documentado para esses ambientes marginais e singulares (SCARANO, 2002, 2007, 2009). Em uma escala local, os resultados destacam uma tendência da maior abundância, riqueza e diversidade de espécies em habitats com solos mais profundos (> 42 cm), em contraste com outros que possuíam solos mais rasos ou ausentes (rocha exposta). Dentre as propriedades dos inselbergs, a profundidade do solo foi positivamente correlacionada com maior número de indivíduos, espécies e diversidade, enquanto que a rochosidade e declividade foram negativamente correlacionadas. Em relação aos fatores físico-químicos do solo, houve uma correlação positiva entre teor de argila e abundância, riqueza e diversidade, enquanto as outras variáveis não apresentaram correlações significativas.

Neste estudo, a família mais rica em número de espécies foi Fabaceae, seguindo uma tendência quando analisamos as principais famílias registradas para inselbergs graníticos (ARAÚJO et al., 2008; PORTO et al., 2008; SANTOS et al., 2010; PENA et al., 2017; LOPES-SILVA et al., 2019). Variações nas estratégias de sobrevivência elevam o sucesso desta família em ambientes restritivos (PORTO et al., 2008), como a associação com bactérias fixadoras de Nitrogênio (QUEIROZ, 2009). A família Myrtaceae, representada pelo gênero *Eugenia*, foi a segunda mais rica neste estudo. Essa família constantemente se destaca como uma das mais ricas, em número de espécies, em levantamentos florísticos e fitossociológicos realizados no Brasil (OLIVEIRA FILHO; FONTES, 2000; REGINATO; GOLDENBERG, 2007; SILVA; MAZINE, 2016). Estudos em ambientes rochosos também evidenciam esta família como uma das mais ricas em números de espécies (SARTHOU et al., 2003; PINTO et al., 2009; LIMA et al., 2010; COUTO et al., 2017; PENA et al., 2017), onde tem se notado a capacidade de adaptação das espécies de Myrtaceae às restrições edafoclimáticas em inselbergs (GRANVILLE, 1978; LARPIN, 2001). Importante destacar a grande relevância desta família para a fauna silvestre, onde garante recursos alimentares (frutos carnosos, néctar) e estabelece interações bióticas cruciais (GOMES et al., 2017).

Muitos inselbergs possuem estruturas oligárquicas, onde um baixo número de



espécies dominantes e elevado número de espécies localmente raras é registrado (SCARANO, 2002; SCARANO, 2009). Neste estudo foi observado uma estrutura oligárquica nos três inselbergs, onde se observa uma clara dominância das espécies de maior IVI representadas por *Pseudobombax aff petropolitanum* e *Pilocarpus spicatus*. Esta estrutura oligárquica também foi registrada em outros afloramentos rochosos de granito no sudeste do Brasil (MEIRELLES, 1999; CAIAFA; SILVA, 2007; DE PAULA et al., 2021; COUTO et al., [in press]) e afloramentos de quartzito-arenito (CONCEIÇÃO; PIRANI, 2003), sendo comum em ambientes restritivos para a vegetação.

Algumas espécies ocuparam posição de destaque na estrutura da comunidade principalmente em função do seu elevado número de indivíduos, como é o caso de *Pilocarpus spicatus*. Outra espécie, como *Pseudobombax aff petropolitanum*, se destaca na ordem hierárquica do IVI em função da elevada área basal, que influencia na dominância relativa. Para essas duas espécies em destaque, a elevada frequência dos indivíduos nas parcelas também contribuiu de forma expressiva para a posição na estrutura da comunidade. Também foi observado que algumas espécies possuíam um grande número de brotações, mecanismo que funciona como uma estratégia adaptativa das espécies lenhosas pra lidar e persistir sob o forte filtro ambiental imposto (DUNPHY et al., 2000; CLARKE et al., 2013; ARAUJO et al., 2017). Essa estratégia foi observado principalmente para *Pseudobombax aff petropolitanum*, *Pilocarpus spicatus* e *Eugenia puniceifolia*, o que influenciou nos maiores valores de IVI dos cálculos fitossociológicos.

Espécies como *Eugenia puniceifolia*, *Ceiba erianthos* e *Tabebuia reticulata* ganham destaque, respectivamente, em PA, PC e PI, em função da abundância de indivíduos. A espécie *Eugenia puniceifolia* é frequente em diversas fitofisionomias, ocupando ambientes com diferentes características, apresentando elevada plasticidade morfo-fisiológica (MAZINE et al., 2020). Nesse sentido, os filtros ambientais seletivos tem menor influência na sobrevivência e estabelecimento dessa espécie em ambientes restritivos. *Tabebuia reticulata* é uma espécie rupícola (GENTRY, 1992), registrada comumente em vegetação sobre afloramentos rochosos (LOHMANN, 2020; COUTO et al. [in press b]). OLIVEIRA et al. (1975) chamam atenção para a utilização da espécie *Ceiba erianthos* em reflorestamentos de encostas rochosas no município Rio de Janeiro, por ser uma espécie adaptada para ambientes rochosos. A espécie *Aspidosperma gomezianum*, apesar do baixo IVI

registrado, também é utilizada para recuperação de encostas rochosas (OLIVEIRA et al., 1975).

Algumas espécies como *Astronium graveolens*, *Albizia polichepala*, *Andira aff legalis* e *Spondias mombin* apresentaram baixo IVI pelo reduzido número de indivíduos amostrados. Essas espécies por vezes eram observadas nas fendas, depressões e locais onde havia maior acúmulo de substrato, e também foram observadas nas florestas de base dos inselbergs, onde os solos são mais profundos. Isso demonstra a severidade dos filtros ambientais presentes nos ambientes puramente rochosos, restringindo essas espécies apenas para habitats com solos mais desenvolvidos. Outro ponto, é que esses inselbergs podem funcionar como refúgio para espécies que também colonizavam as florestas da matriz do entorno, a qual foram intensamente antropizadas, já que afloramentos rochosos despertam pouco interesse para a agricultura (POREMBSKI, 2007). A espécie *Wunderlichia azulensis*, apesar de ser restrita para afloramentos rochosos (MAUAD et al., 2014), apresentou apenas um indivíduo, fato que nos chama a atenção para a conservação desta espécie, ainda mais por ela ser registrada como “Em perigo”, na lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção (MMA, 2014). Segundo HENLE et al. (2004), as espécies raras podem ser biologicamente mais frágeis do que as mais abundantes.

A curva de acumulação de espécies observada neste estudo apresenta um padrão descrito em outras comunidades ecológicas (MAGURRAN, 2011; GOTELLI; COLWELL, 2011), quando a diversidade aumenta em relação ao aumento de unidades amostrais. Deste modo, mesmo que as curvas de rarefação não tenham aparentemente atingindo assíntotas, os estimadores de diversidade utilizados demonstram que o tamanho amostral foi suficiente para alcançar a riqueza de espécies nos inselbergs. Devido a alta riqueza e raridade de espécies em regiões tropicais, a definição dos limites da comunidade torna-se difícil, assim, a curva não costuma apresentar estabilização (SANTOS, 2003; SCHILING; BATISTA, 2008; GOTELLI; COLWELL, 2011). Segundo NEVES et al. (2017) a curva de acumulação de espécies estabilizam menos em tipos de vegetação associadas a afloramentos rochosos. Neste estudo foram registradas poucas espécies abundantes, com baixo número de indivíduos, consideradas raras, padrão que pode estar relacionado com a grande heterogeneidade ambiental que esses ambientes possuem, em uma pequena escala espacial (MCCAIN; GRYTNES, 2010; MAGURRAN, 2011).

Fundamentado nas características similares e pequena distância entre os inselbergs, a composição das espécies lenhosas não diferiu estatisticamente. Apesar disso, o índice de Jaccard apontou uma pequena diferença na similaridade florística entre Pedra da Andorinha e os outros dois inselbergs, onde esses apresentaram elevada similaridade florística entre eles. Este fato pode ser explicado pela diferença dos microhabitats e condições edafoclimáticas existentes, fazendo com que as plantas que colonizam esses ambientes se alterem de acordo com suas exigências ecofisiológicas (KLUGE; BRULFERT, 2000). Outro fator condicionante é que em ambientes rochosos há uma limitação da dispersão, que pode variar amplamente em distâncias relativamente curtas (SCHUT et al., 2014). Segundo BARTHLOTT et al. (1993), a flora rupícola brasileira é caracterizada pela sua distinta e restrita composição de espécies, assim afloramentos rochosos geograficamente próximos podem exibir floras muito distintas.

A diversidade de espécies e equabilidade encontrados nos inselbergs foram inferiores e diferentes àqueles registrados em outros estudos com a flora arbustiva-árborea em inselbergs de florestas estacionais semidecíduais (PIRES et al., 2014; DE SOUZA, 2015) e em um cerrado rupestre (PINTO et al., 2009), resultados que podem ser explicados pelos diferentes critérios de inclusão das comunidades lenhosas na amostragem e pela heterogeneidade de habitat. Os filtros ambientais desses ambientes restringem o estabelecimento de um grande número de espécies lenhosas e sua abundância (DE OLIVEIRA et al., 2004), resultando no baixo valor de diversidade de Shannon ( $H'$ ). No geral, a equabilidade pode ser considerada elevada, indicando que existe baixa concentração de abundância em espécies dominantes (SOUZA et al., 2003), apesar das espécies *Pilocarpus spicatus* ocorrer nos três inselbergs com mais de 30% dos indivíduos e *Pseudobombax aff petropolitanum* com mais de 30% de área basal total, sendo as duas espécies mais importantes para os três inselbergs estudados.

Dentre as características dos solos associados às formações rochosas, destaca-se o seu menor grau de desenvolvimento, predominância da textura arenosa, pouco profundos e pobres em nutrientes, variando de acordo com a rocha com a qual estão associados (BENITES et al., 2007; POREMBSKI, 2007), o que corrobora nossos achados para os três inselbergs estudados. O baixo nível de fertilidade está relacionado com as perdas de nutrientes por lixiviação, potencializadas pela textura arenosa. Além disso, o substrato frequentemente favorece ou restringe a drenagem

da água por meio de formas de relevo e profundidade e textura do solo (NEVES et al., 2017), onde solos arenosos, com baixa profundidade e em relevos ingrimes são deficientes na retenção de água. Assim, algumas espécies lenhosas desenvolvem estratégias para lidar com essas condições, como queda de folhas durante o período de estiagem ou armazenamento de água nas raízes ou troncos, por exemplo, espécies do gênero *Ceiba* e *Pseudobombax* (LIMA et al., 2010a). Solos com essas características atuam como um fator limitante para o suporte e estabelecimento de plantas (BENITES et al., 2007; CONCEIÇÃO et al., 2007; POREMBSKI, 2007). Apesar disso, o elevado escoamento de água e alta lixiviação incidente nos inselbergs beneficia a matriz vegetacional do entorno, fornecendo água e nutrientes (SCHUT et al., 2014; POREMBSKI et al., 2016).

Em relação a MFA, outros estudos corroboram com a correlação positiva entre profundidade do solo e abundância, riqueza e diversidade de espécies (COLLINS et al., 1989; PARMENTIER, 2003; DE OLIVEIRA et al., 2004; GROGER; HUBER, 2007; SCHUT et al., 2014), onde solos mais profundos podem gerir condições mais favoráveis para o desenvolvimento da vegetação. A profundidade do solo tem grande influência para o armazenamento de água, a qual pode ser acessada pelas raízes em períodos de estiagem. Solos com maiores teores de argila possuem maior retenção de água e nutrientes, conseqüentemente favorecem a abundância, riqueza e diversidade de espécies em afloramentos rochosos (ABREU et al., 2012), o que corrobora nossos achados. Já a correlação negativa entre abundância, riqueza e diversidade e índice de rochosidade, pode ser explicada pelo fato das áreas com mais rocha exposta limitarem o estabelecimento e desenvolvimento de muitas espécies lenhosas, principalmente as áboreas (POREMBSKI, 2007; PINTO et al., 2009). Pela relação negativa entre abundância e declividade, podemos inferir que áreas menos declivosas são favorecidas pelo acúmulo de substrato, elevando a abundância de indivíduos (DE OLIVEIRA et al., 2004), e que a topografia local tem forte influência sobre a vegetação em afloramentos rochosos (SCARANO et al., 2007).

A espécie *Pseudobombax aff petropolitanum*, correlacionada positivamente com a rocha exposta, possui distribuição restrita para os inselbergs do Rio de Janeiro e Espírito Santo, sendo classificada como uma árvore rupícola litólica, ou seja, se desenvolve diretamente sobre a rocha exposta (COUTO et al., 2016). Essa espécie desempenha um importante papel como forófito para muitas espécies epífitas (COUTO et al. 2016, 2019) e necessita de maior atenção para proteção, prevenindo

extinções secundárias, particularmente em ambientes frágeis como nos inselbergs (FRANCISCO et al., 2018). Além disso, suas grandes raízes estabelecidas na superfície da rocha exposta funcionam como barreira para o acúmulo de substrato, funcionando como “planta facilitadora” para espécies menos tolerantes se estabelecerem (SCARANO, 2009; COUTO et al., 2019). Assim, “plantas facilitadoras” promovem o estabelecimento, crescimento e sobrevivência da vegetação associada (BROOKER et al., 2008), e deveriam ser alvos de iniciativas de restauração em ambientes da Mata Atlântica (RODRIGUES et al., 2009).

Uma forma de analisar a fertilidade do solo é através do percentual de saturação por bases (V), pois representa a riqueza das bases trocáveis (Ca, Mg e K) do solo (REATTO et al., 2008). Nos solos dos inselbergs estudados a saturação de bases foi baixa (solos distróficos) e inversamente proporcional ao teor de alumínio trocável, sendo que valores mais altos para esse cátion representam solos com menor fertilidade (SALIS et al., 2006).

A relação negativa entre a CTC e profundidade do solo pode ser explicada pelo elevado teor de matéria orgânica encontrada nos solos menos profundos, derivado de resíduos vegetais não decompostos e de emaranhados de raízes finas (SIMAS et al., 2005; BENITES et al., 2007). Esse fato indica que os ácidos húmicos presentes na matéria orgânica sejam os grandes responsáveis por parte da maior CTC registrada (BENITES et al., 2003; BENITES et al., 2007), em relação as áreas com solos mais profundos. No geral, os teores de carbono orgânico da camada de 0-10 cm das parcelas foram maiores que  $120 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela S1), caracterizando horizontes orgânicos (EMBRAPA, 1999).

Geralmente o padrão de distribuição de espécies em ambientes rochosos varia em função das propriedades químicas e físicas do solo (ABREU et al., 2012; PESSOA et al., 2021). Entretanto, apenas o fator teor de argila exibiu correlação positiva entre abundância, riqueza e diversidade de espécies. Esse achado pode ser explicado pelas semelhanças entre as características físico-químicas do solo, havendo poucas diferenças expressivas entre as parcelas (Tabela S1). Possivelmente, nas parcelas das áreas de estudo, nenhuma das variáveis intrínsecas ao solo ultrapassou o limite a partir do qual se estabelece condições estressantes que limite o desenvolvimento da vegetação.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo oferece a primeira contribuição para o conhecimento da estrutura da comunidade lenhosa de inselbergs do Espírito Santo, bem como sua relação com variáveis abióticas. As informações aqui adquiridas sobre a composição e estrutura florística e ecologia deste ecossistema são importantes no direcionamento de ações para o conhecimento, conservação e manejo desses ecossistemas únicos, mas ainda negligenciados no domínio da Mata Atlântica (SCARANO 2002, 2009). De maneira geral, a vegetação lenhosa dos inselbergs estudados, são representados por poucas espécies exclusivamente rupícolas. Fabaceae e Myrtaceae representam as famílias dominantes nestes ambientes. Considerando as características ambientais similares e a pequena distância entre as áreas, comprovamos que a composição, diversidade e a estrutura são semelhantes, apesar da grande heterogeneidade ambiental existente nos inselbergs.

As espécies com maior valor de importância (IVI) para as três áreas foram *Pilocarpus spicatus*, por conta de seu elevado número de indivíduos, e *Pseudobombax aff petropolitanum*, devido a sua elevada área basal e por ser uma espécie rupícola litólica, restrita para afloramentos rochosos. A terceira posição do IVI variou entre os inselbergs, sendo que em PA, PC e PI as espécies para esta posição foram, respectivamente, *Eugenia puniceifolia*, *Ceiba erianthos* e *Tabebuia reticulata*, que são espécie comumente encontradas em vegetação sobre afloramentos rochosos.

A relação entre as características da comunidade de espécies lenhosas e os fatores abióticos foi mais correlacionada com as propriedades dos inselbergs (declividade, profundidade do solo e rocha exposta), do que com as variáveis físico-químicas do solo. Além da estrutura, as propriedades dos inselbergs influenciaram na riqueza e abundância de espécies. Dentre as propriedades dos inselbergs, a profundidade do solo foi positivamente correlacionada com maior número de indivíduos, espécies e diversidade, enquanto que a rochosidade e declividade foram negativamente correlacionadas. Assim, os preditores aqui investigados podem ser importantes para explicar padrões de distribuição de espécies lenhosas em inselbergs graníticos e corroboram com nossas hipóteses.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. F.; PINTO, J. R. R.; MARACAHIPES, L.; GOMES, L.; OLIVEIRA E. A. D.; MARIMON, B. S.; JUNIOR, B. H. M.; FARIAS, J. D.; LENZA, E. Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 35(3), 259-272, 2012.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013.

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral ecology**, 26(1), 32-46, 2001.

ARAUJO, F.C.; MENDES, C. N.; PIRES, G. G.; MENINO, G. C. O.; FONTES, M. A. L.; DOS SANTOS, R. M. Estratégia adaptativa de comunidades arbóreas em uma dureza ambiental do interior de inselberg em Minas Gerais, Brasil. **Australian Journal of Botany**, 65 (5), 463-470, 2017.

ARAÚJO, F. S.; OLIVEIRA, R. F.; LIMA-VERDE, L. W. Composição, espectro biológico e síndromes de dispersão da vegetação de um inselbergue no domínio da caatinga, Ceará. **Rodriguésia**, 59, 659-671, 2008.

BARALOTO, C.; RABAUD, S.; MOLTO, Q.; BLANC, L.; FORTUNEL, C.; HERAULT, B.; DÁVILA, N.; MESONES, I.; RIOS, M.; VALDERRAMA, E.; FINE, P. V. Disentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests. **Global Change Biology**, 17(8), 2677-2688, 2011.

BARTHLOTT, W.; GRÖGER, A.; POREMBSKI, S. Some remarks on the vegetation of tropical inselbergs: diversity and ecological differentiation. **Biogéographica** 69: 105124, 1993.

BENITES, V. M.; CAIAFA, A. N.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; KER, J. C. Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Revista Floresta e Ambiente** 10:76-85, 2003.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N.; SANTOS, H. G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 569-577, 2007.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. Numerical ecology with R (Vol. 2, p. 688). New York: **Springer**, 2011.

BROOKER, R. W.; MAESTRE, F. T.; CALLAWAY, R. M.; LORTIE, C. L.; CAVIERES, L. A.; KUNSTLER, G.; LIANCOURT, P.; TIELBORGER, K.; TRAVIS, J. M. J.; ANTHELME, F.; ARMAS, C.; COLL, L.; CORCKET, E.; DELZON, S.; FOREY, S.; KIKVIDZE, Z.; OLOFSSON, J.; PUGNAIRE, F.; QUIROZ, C. L.; SACCONI, P.; SCHIFFERS, K.; SEIFAN, M.; TOUZARD, B.; MICHALET, R. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. **Journal of Ecology**, 96(1), 18-34, 2008.

CAIAFA, A. N.; SILVA, A. F. Structural analysis of the vegetation on a highland granitic rock outcrop in Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 30(4), 657-664, 2007.

CARVALHO, D. A. D.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; VAN DEN BERG, E.; FONTES, M. A. L.; VILELA, E. D. A.; MARQUES, J. J. G. D. S.; CARVALHO, W. A. C. Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 19, 91-109, 2005.

CHAVES, A. D. C. G.; SANTOS, R. M. S.; DOS SANTOS, J. O.; FERNANDES, A. A.; MARACAJÁ, P. B. A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 9(2), 43-48, 2013.

CLARKE, P. J.; LAWES, M. J.; MIDGLEY, J. J.; LAMONT, B. B.; OJEDA, F.; BURROWS, G. E.; ENRIGHT, N. J.; KNOX, K. J. E. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. **New phytologist**, 197(1), 19-35, 2013.

COLLINS, S. L.; MITCHELL, G. S.; KLAHR, S. C. Vegetation-environment relationships in a rock outcrop community in southern Oklahoma. **American Midland Naturalist**, 339-348, 1989.

COLWELL, R. K. EstimateS: **statistical estimation of species richness and shared species from samples**, Version 9, 2013.

CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, 85-111, 2005.

CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R.; MEIRELLES, S. T. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of "Chapada Diamantina", Northeast Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 641-656, 2007.

COUTO, D. R.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. C. A.; FRAGA, C. N. D.; PEZZOPANE, J. E. M. Vascular epiphytes on *Pseudobombax* (Malvaceae) in rocky outcrops (inselbergs) in Brazilian Atlantic Rainforest: basis for conservation of a threatened ecosystem. **Rodriguésia**, 67, 583-601, 2016.

COUTO, D. R.; FRANCISCO, T. M.; MANHÃES, V. C.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. C. A. Floristic composition of a Neotropical inselberg from Espírito Santo state, Brazil: an important area for conservation. **Check List**, 2017.

COUTO, D. R.; FRANCISCO, T. M.; GARBIN, M. L.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. C. A.; NETO, L. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Surface roots as a new ecological zone for occurrence of vascular epiphytes: a case study on *Pseudobombax* trees on inselbergs. **Plant Ecology**, 220(11), 1071-1084, 2019.

COUTO, D. R.; DAN, M. L.; AGUIAR, W. M.; BRAGA, J. M. A.; NASCIMENTO, M. T. (in press) Floristic composition, structure and species-area relationships on a neotropical inselberg in southeastern Brazil. **Rodriguésia**.



COUTO, D. R.; FRANCISCO, T. M.; NASCIMENTO, M. T. (submetido) Commensalistic epiphyte–phorophyte networks in woody vegetation of tropical inselbergs: patterns of organization and structure. **Austral Ecology**.

COVRE, J. M. C.; COUTO, D. R.; DIAS, H. M.; ZORZANELLI, J. P. F. Vascular plants on inselberg landscapes in Espírito Santo state: bases for the creation of a protected area in southeastern Brazil. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences, 43, e54760, 2021.

DAL COL, A. C. S.; THOMAZ, L. D. Florística do Parque Natural Municipal Morro da Pescaria, Guarapari, Espírito Santo. **Bol. Mus. Biol. Mello Leitão** (N. Sér.) 38(3): 283-314, 2016.

DE OLIVEIRA, T. D.; RIBEIRO, M. C.; COSTA, I. L. L.; FARIA, F. S. F. S.; CÔRTEZ, J. E. C. F. E. Estabelecimento de espécies vegetais em um inselberg granítico de Mata Atlântica. **Estudos de Biologia**, 26(57), 17-24, 2004.

DE PAULA, L. F.; MOTA, N. F.; VIANA, P. L.; STEHMANN, J. R. Floristic and ecological characterization of habitat types on an inselberg in Minas Gerais, southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 31, 199-211, 2017.

DE PAULA, L. F.; FORZZA, R. C.; AZEVEDO, L. O.; BUENO, M. L.; SOLAR, R. R.; VANSCHOENWINKEL, B.; POREMBSKI, S. Climatic control of mat vegetation communities on inselberg archipelagos in south-eastern Brazil. **Biological Journal of the Linnean Society**, 133(2), 604-623, 2021.

DE SOUZA, T.P. Estrutura e composição florística do estrato arbustivo-arbóreo das faces Leste e Oeste de um inselbergue da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro. **Dissertação de Mestrado**. UERJ, 2015.

DRAY, S.; CHESSSEL, D.; THIOULOUSE, J. Co-inertia analysis and the linking of ecological data tables. **Ecology**, 84, 3078–3089, 2003.

DUNPHY, B. K.; MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. The tendency for trees to be multiple-stemmed in tropical and subtropical dry forests: studies of Guanica Forest, Puerto Rico. **Tropical Ecology** 41, 161–167, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. Manual de métodos de análise de solo . Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 212p, 1997.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, 1999.

ESCOFIER, B.; PAGE`S, J. Multiple factor analysis (AFMULT package). **Computational Statistics and Data Analysis**, 18, 121–140, 1994.

ESGARIO, C. P.; FONTANA, A. P.; SILVA, A. G. A flora vascular sobre rocha no Alto Misterioso, uma área prioritária para a conservação da Mata Atlântica no Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Natureza on line**, 7(2), 80-91, 2009.

Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 18 ago. 2021

- FRANCISCO, T. M.; COUTO, D. R.; EVANS, D. M.; GARBIN, M. L.; RUIZ-MIRANDA, C. R. Structure and robustness of an epiphyte–phorophyte commensalistic network in a neotropical inselberg. **Austral Ecology**, 43(8), 903-914, 2018.
- FREITAS, C. A. A. D.; CALDEIRA, M. V. W.; HORN, S. K.; CASTRO, K. C.; VIERA, M. Serapilheira acumulada em complexo rupestre de granito, Mimoso do Sul, ES. **Revista Árvore**, 39, 671-681, 2015.
- GENTRY, A. H. Bignoniaceae: part II (tribe Tecomeae). **Flora Neotropica**, 1-370, 1992.
- GOMES, J. P.; DACOREGIO, H. M.; SILVA, K. M.; ROSA, L. H. D.; BORTOLUZZI, R. L. D. C. Myrtaceae na bacia do rio Caveiras: Características ecológicas e usos não madeireiros. **Floresta e Ambiente**, 24, 2016.
- GOTELLI, N. J.; COLWELL, R. K. Estimating species richness. In: MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B. J. (eds) *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. **Oxford University Press**, Oxford, 2011.
- GÖTZENBERGER, L.; DE BELLO, F.; BRÅTHEN, K. A.; DAVISON, J.; DUBUIS, A.; GUISAN, A.; LEPS, J.; LINDBORG, R.; MOORA, M.; PARTEL, M.; PELLISSIER, L.; POTTIER, J.; VITTOZ, P.; ZOBEL, K.; ZOBEL, M. Ecological assembly rules in plant communities—approaches, patterns and prospects. **Biological reviews**, 87(1), 111-127, 2012.
- GRANVILLE, J. J. D. **Recherches sur la flore et la végétation guyanaises**, 1978.
- GROGER, A.; HUBER, O. Rock outcrop habitats in the Venezuelan Guayana lowlands: their main vegetation types and floristic components. **Revista Brasileira de Botânica**, 30(4), 599-609, 2007.
- HENLE, K.; DAVIES, K. F.; KLEYER, M.; MARGULES, C.; SETTELE, J. Predictors of species sensitivity to fragmentation. **Biodiversity & Conservation**, 13(1), 207-251, 2004.
- HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. **R package** v. 1.31.4, 2015.
- IPNI. **The international plant names index**, 2018.
- KASSAMBARA, A.; FABIAN M. **Factoextra**: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>, 2020.
- KLUGE, M.; BRULFERT, J. Ecophysiology of vascular plants on inselbergs. In: POREMBSKY, S.; BARTHLOTT, W. (2000). (eds) *Inselbergs: Biotic diversity of rock outcrops in tropical and temperate regions*. Berlin: **Springer-Verlag**, p.43-176, 2000.
- LARPIN, D. The low forest (Nouragues inselberg). In *Nouragues* (pp. 47-64). Springer, Dordrecht, 2001.
- LARSON, D. W.; MATTHES, U.; KELLY, P. E. *Cliff Ecology. Pattern and Process in Cliff Ecosystems*. Cambridge Studies in Ecology. **Cambridge University Press**,

Cambridge, 2000.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, 25, 1–18, 2008.

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia** 129: 271–280, 2001.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Numerical ecology. Developments in Environmental Modelling. 3. ed. Amsterdam, Netherlands: **Elsevier Science B.V.**, 2012.

LIMA, M. S. D.; DAMASCENO-JÚNIOR, G. A.; TANAKA, M. O. Aspectos estruturais da comunidade arbórea em remanescentes de floresta estacional decidual, em Corumbá, MS, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, 33, 437-453, 2010a.

LIMA, T. A.; PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; PINTO, A. D. S. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. **Biota Neotropica**, 10(2), 159-166, 2010b.

LOHMANN, L. G. (2020) *Tabebuia* in **Flora do Brasil 2020**, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB114334>>. Acesso em: 10 set. 2021.

LOPES-SILVA, R. F.; RODRIGUES, J. D. S.; GOMES-SILVA, F.; LUCENA, D. D. S.; LUCENA, M. D. F. D. A. Composição florística de um inselberg no semiárido paraibano, nordeste brasileiro. **Rodriguésia**, 70, 1-14, 2019.

MAGURRAN, A. E. **Ecological Diversity and its measurement**. Princeton, Newjersey, 179p, 1988.

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

MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 587-597, 2007.

MAUAD, L. P.; BUTURI, F. O. S.; SOUZA, T. P.; NASCIMENTO, M. T.; BRAGA, J. M. A. New distribution record and implications for conservation of the endangered *Wunderlichia azulensis* Maguire & GM Barroso (Asteraceae: Wunderlichieae). **Check List**, 10(3), 706-708, 2014.

MAZINE, F. F.; VALDEMARIN, K. S.; BÜNGER, M.; FARIA, J. E. Q.; FERNANDES, T.; GIARETTA, A.; SANTANA, K. C.; SOBRAL, M.; SOUZA, M. A. D. (2020) *Eugenia* in **Flora do Brasil 2020**, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB10515>>. Acesso em: 10 set. 2021

MCCAIN, C. M.; GRYTNES, J. A. Elevational Gradients in Species Richness. **Encyclopedia Life Science** 15: 1-10, 2010.

MEIRELLES, S. T.; PIVELLO, V. R.; JOLY, C. A. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. **Environmental**

**Conservation**, 10-20, 1999.

MORI, S. A.; SILVA, L. A. M.; LISBOA, G.; CORADINI, L. Manual de Manejo do Herbário Fanerogâmico. Ilhéus: **Centro de Pesquisa do Cacau**. 104 p, 1989.

MOTA, S. D. L. L.; PEREIRA, I. M.; MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA, M. L. R. D.; BRUZINGA, J. S.; FARNEZI, M. M. M.; JUNIOR, M. S. M. Influência dos Afloramentos Rochosos sobre a Comunidade Lenhosa no Cerrado stricto sensu. **Floresta e Ambiente**, 21, 8-18, 2014.

MOURA, I. O.; RIBEIRO, K. T.; TAKAHASI, A. Amostragem da vegetação em ambientes rochosos. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. A. A. M. (eds.) **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de casos**, v.1, p.255-294, 2011.

MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO, J. W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37:869-878, 2002.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: **John Wiley & Sons**; 547 p, 1974.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853, 2000.

NEVES, D. M.; DEXTER, K. G.; PENNINGTON, R. T.; VALENTE, A. S.; BUENO, M. L.; EISENLOHR, P. V.; ... OLIVEIRA-FILHO, A. T. Dissecting a biodiversity hotspot: The importance of environmentally marginal habitats in the Atlantic Forest Domain of South America. **Diversity and Distributions**, 23(8), 898-909, 2017.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. Vegan: Community Ecology Package. **R package** version 2.4-3, 2017.

OLIVEIRA, R. F.; COIMBRA-FILHO, A. F.; SILVA, Z. L. Sobre litosere: algumas espécies para revestimento de encostas rochosas. **Brasil Florestal** 6(24): 3-18, 1975.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in south-eastern Brazil, and the influence of climate. **Biotropica**, 32(4), 793-810, 2000.

PARMENTIER, I. Study of the vegetation composition in three inselbergs from Continental Equatorial Guinea (Western Central Africa): effects of site, soil factors and position relative to forest fringe. **Belgian Journal of Botany**, 63-72, 2003.

PENA, N. T. L.; ALVES-ARAÚJO, A. Angiosperms from rocky outcrops of Pedra do Elefante, Nova Venécia, Espírito Santo, Brazil. **Rodriguésia**, 68(5), 1895-1905, 2017.

PEÑA-CLAROS, M.; POORTER, L.; ALARCÓN, A.; BLATE, G.; CHOQUE, U.;

FREDERICKSEN, T. S.; JUSTINIANO, M. J.; LEAÑO, C.; LICONA, J. C.; PARIONA, W.; PUTZ, F. E.; QUEVEDO, L.; TOLEDO, M. Soil effects on forest structure and diversity in a moist and a dry tropical forest. **Biotropica**, 44(3), 276-283, 2012.

PESSOA, M. J. G.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; ABADIA, A. C.; OLIVEIRA, B.; SILVA, I. V.; LENZA, E. Floristic composition, diversity and edaphic effects in two rocky savanna communities in the Amazon and Cerrado, Brazil. **Ciência Florestal**, 31(3), 1383-1406, 2021.

PINTO, J. R. R.; LENZA, E.; PINTO, A. D. S. Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, Goiás. **Brazilian Journal of Botany**, 32(1), 1-10, 2009.

PIRES, G. G.; SANTOS, R. M. D.; TRISTÃO, R. A.; PIFANO, D. S.; REIS, C. A.; DOMINGOS, D. Q. Influência de variáveis ambientais na comunidade arbórea de inselbergs. **Cerne**, 20(1), 97-104, 2014.

POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Inselberg vegetation and the biodiversity of granite outcrops. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, 80: 193-199, 1997.

POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. Ecological Studies. **Springer-Verlag**, Berlin. 522p, 2000.

POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. **Revista Brasileira de Botânica**, 30, 579-586, 2007.

POREMBSKI, S.; SILVEIRA, F. A.; FIEDLER, P. L.; WATVE, A.; RABARIMANARIVO, M.; KOUAME, F.; HOPPER, S. D. Worldwide destruction of inselbergs and related rock outcrops threatens a unique ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, 25(13), 2827-2830, 2016.

PORTO, P. A. F.; ALMEIDA, A.; PESSOA, W. J.; TROVÃO, D.; FELIX, L. P. Composição florística de um inselbergue no agreste paraibano, município de Esperança, Nordeste do Brasil. **Revista Caatinga** 21: 214-222, 2008.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. Editora Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 467p, 2009.

R CORE TEAM (2019) **R: A Language and Environment for Statistical Computing** Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do Bioma do Cerrado: aspectos pedológicos. In Cerrado: ecologia e flora (SM Sano, SP Almeida, JF Ribeiro, eds.). **Embrapa-CPAC**, 107-149, 2008.

REGINATO, M.; GOLDENBERG, R. Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. **Hoehnea**, 34, 349-360, 2007.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In Cerrado: ecologia e flora (SM Sano, SP Almeida, JF Ribeiro, eds.). **Embrapa-CPAC**,

151-212, 2008.

ROBERT, P.; ESCOUFIER, Y. A unifying tool for linear multivariate statistical methods: the RV-coefficient. **Applied Statistics**, 25, 257–265, 1976.

RODRIGUES, L. A.; CARVALHO, D. A. D.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; 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**, 31(1), 25-35, 2007.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, 142(6), 1242-1251, 2009.

SAFFORD, H. D.; MARTINELLI, G. Variations on One Theme: Regional Floristics of Inselberg Vegetation: Southeast Brazil. In: POREMBSKI, S.; BARTHLOTT, W. (eds.). Inselbergs - biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. Ecological Studies. **Springer-Verlag**, Berlin, 339, 2000.

SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; CRISPIM, M. A.; CASAGRANDE, J. C. Distribuição e abundância de espécies arbóreas em cerradões no Pantanal, estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 29(3): 339-352, 2006.

SANTOS, A. D. Estimativas de riqueza em espécies. **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**, 2, 19-41, 2003.

SANTOS, L. G.; GRIFFO, C. L.; SILVA, A. G. Estrutura da vegetação arbustivo-herbácea de um afloramento rochoso da ilha de Vitória, Espírito Santo, sudeste do Brasil. **Natureza on line**, 8(1), 14-23, 2010.

SARTHOU, C.; VILLIERS, J. F.; PONGE, J. F. Shrub vegetation on tropical granitic inselbergs in French Guiana. **Journal of Vegetation Science**, 14(5), 645-652, 2003.

SCARANO, F. R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rainforest. **Annals of Botany** 90: 517-524, 2002.

SCARANO, F. R. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. **Brazilian Journal of Botany**, 30, 561-568, 2007.

SCARANO, F. R. Plant communities at the periphery of the Atlantic rain forest: rare-species bias and its risks for conservation. **Biological Conservation**, 142(6), 1201-1208, 2009.

SCHILLING, A. C.; BATISTA, J. L. F. Curva de acumulação de espécies e suficiência amostral em florestas tropicais. **Brazilian Journal of Botany**, 31(1), 179-187, 2008.

SCHUT, A. G.; WARDELL-JOHNSON, G. W.; YATES, C. J.; KEPPEL, G.; BARAN, I.; FRANKLIN, S. E.; ... BYRNE, M. Rapid characterisation of vegetation structure to predict refugia and climate change impacts across a global biodiversity hotspot. **PLoS One**, 9(1), e82778, 2014.

SILVA, A. T.; MAZINE, F. F. A família Myrtaceae na Floresta Nacional de Ipanema, Iperó, São Paulo, Brasil. **Rodriguésia**, v. 67, p. 203-224, 2016.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES-FILHO, E. I.; CHAGAS, A. C.; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma** 125:187-201, 2005.

SOUZA, J. S.; ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; FONTES, M. A. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; 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**, 27, 185-206, 2003.

THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP – APG. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 18(1): 1-20, 2016.

WEI, T.; SIMKO, V. Te corrplot package. **CRAN Repository**. Retrieved from <http://www.sthda.com/french/wiki/matrice-decorrelation-la-fonction-r-qui-fait-tout>, 2016.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Third editions Prentice-Hall International Editions, New Jersey, 1996.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo oferece a primeira contribuição para o conhecimento da flora lenhosa de inselbergs do Espírito Santo. De maneira geral, a vegetação lenhosa dos inselbergs estudados, são representados por poucas espécies exclusivamente rupícolas, e por várias espécies com ampla valência ecológica, ou seja, conseguem se adaptar aos diferentes habitats do Domínio Atlântico. Fabaceae e Myrtaceae representam as famílias dominantes nestes ambientes. Nossas análises evidenciaram, de maneira geral, baixa similaridade florística com outros inselbergs do sudeste brasileiro, porém, com as áreas mais ao sul do Espírito Santo, com influência da Floresta Estacional Semidecidual submontana, formando um grupo com os maiores valores de similaridade.

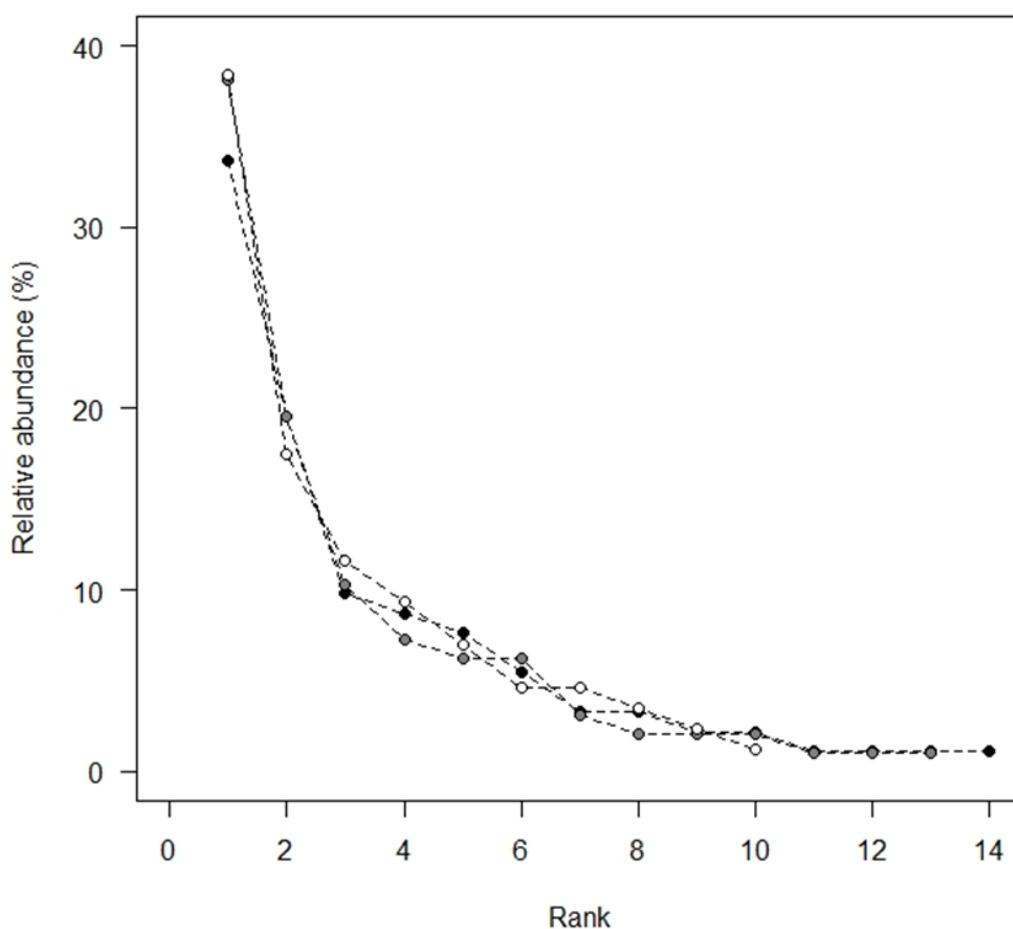
A estrutura da comunidade é oligárquica, onde um baixo número de espécies dominantes e elevado número de espécies localmente raras é registrado. A relação entre as características da comunidade de espécies lenhosas e os fatores abióticos foi mais correlacionada com as propriedades dos inselbergs (declividade, profundidade do solo e rocha exposta), do que com as variáveis físico-químicas do solo. Além da estrutura, as propriedades dos inselbergs influenciaram na riqueza e abundância de espécies, demonstrando que os preditores aqui investigados podem ser importantes para explicar padrões de distribuição de espécies lenhosas em inselbergs graníticos e corroboram com nossas hipóteses.

Por fim, este estudo apresenta uma lista de espécies potencialmente úteis para o desenvolvimento da ciência da restauração para ambientes rupícolas, onde ainda residem grandes carências metodológicas, incluindo o uso de espécies adaptáveis as condições estressantes (e.g. baixa disponibilidade de água, solo e nutrientes, elevada exposição a ventos e radiação) observados nestes ambientes. Esperamos que estes dados sejam úteis para os gestores públicos. Além disso, reforçamos a necessidade urgente da proteção do Complexo Pedra das Andorinhas, seja pelos serviços ambientais prestados a sociedade (e.g. fixação de carbono, produção de água, beleza cênica), ou pela elevada biodiversidade que ocorre em seus ambientes, incluindo espécies raras, endêmicas e ameaçadas de extinção.



**MATERIAL SUPLEMENTAR**

**Figura S1:** Curvas de rank das abundâncias relativas das espécies arbóreas encontradas nos inselbergs. As espécies aparecem em ordem decrescentes de abundância. As três espécies mais abundantes na Pedra da Andorinha (círculos pretos) foram (1) *Pilocarpus spicatus*; (2) *Eugenia puniceifolia* e (3) *Pseudobombax aff petropolitanum*; na Pedra Parada Cristal (círculos cinza) foram (1) *Pilocarpus spicatus*; (2) *Pseudobombax aff petropolitanum* (3) *Ceiba erianthos* e na Pedra Três Irmãs (círculos brancos) foram (1) *Pilocarpus spicatus*; (2) *Pseudobombax aff petropolitanum* e (3) *Tabebuia reticulata*.



**Tabela S1:** Variáveis químicas e físicas do solo, índice de rochosidade, declividade e profundidade do solo nos três inselbergs do Complexo Pedra das Andorinhas, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. Pedra da Andorinha (PA); Pedra Parada Cristal (PC); Pedra Três Irmãs (PI).

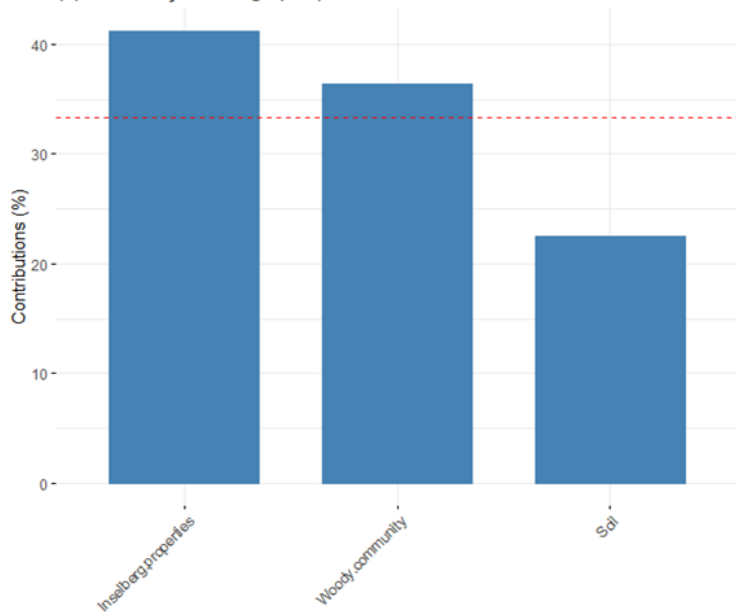
Fatores abióticos	PA				PC				PI			
	p1	p2	p3	p4	p1	p2	p3	p4	p1	p2	p3	p4
pH H <sub>2</sub> O	4,92	4,88	5,78	5,65	5,4	4,67	5,04	4,77	4,9	5,1	4,96	5,38
P (mg dm <sup>-3</sup> )	10,76	5,00	26,36	16,10	6,24	6,83	6,40	4,72	7,76	7,68	2,03	6,98
K (mg dm <sup>-3</sup> )	55,00	36,00	48,00	94,00	85,00	60,00	75,00	25,00	69,00	61,00	104,00	77,00
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	15,00	7,00	11,00	11,00	9,00	18,00	5,00	8,00	14,00	9,00	7,00	9,00
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,92	2,39	10,48	9,13	8,48	3,28	3,06	0,57	2,23	3,73	1,27	2,95
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,18	0,34	0,81	0,94	0,99	0,47	0,38	0,09	0,43	0,54	0,43	0,51
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,60	2,10	0,00	0,00	0,05	1,90	1,30	3,10	2,80	1,50	2,10	1,10
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	21,32	21,66	15,33	15,49	18,99	28,99	12,83	32,82	24,66	21,16	12,66	15,83
C (g kg <sup>-1</sup> )	119,38	137,23	148,62	148,31	132,31	149,23	80,92	164,31	165,23	152,31	171,08	108,62
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	205,82	236,59	256,21	255,68	228,10	257,27	139,51	283,27	284,86	262,58	294,94	187,25
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,90	4,96	11,46	10,35	9,78	5,88	4,95	3,86	5,70	5,96	4,10	4,80
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	22,63	24,52	26,79	25,84	28,72	32,97	16,48	33,58	27,56	25,62	14,67	19,53
S.B. (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,30	2,86	11,46	10,35	9,73	3,98	3,65	0,76	2,90	4,46	2,00	3,70
V (%)	5,76	11,66	42,79	40,05	33,87	12,07	22,15	2,26	10,54	17,41	13,66	18,95
Areia (%)	63	63	66	62	60	63	59	62	64	60	49	62
Silte (%)	18	19	15	19	15	21	13	22	17	21	19	21
Argila (%)	19	19	19	19	26	15	28	16	19	19	32	18
Textura do solo	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Argilo Arenoso	Franco Arenoso	Franco Argilo Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Argilo Arenoso	Franco Arenoso
Índice de Rochosidade	1	1	2	2	2	3	1	2	2	2	1	2
Declividade (°)	26	26	31	31	34	29	25	25	34	32	27	31
Profundidade do solo (cm)	20	34	6	4	10	5	28	8	10	8	42	19

**Tabela S2:** Autovalores, porcentagem de variância explicada e porcentagem cumulativa da variância contabilizada pelas diferentes dimensões para a variância total de 23 variáveis distribuídas em três grupos (ver métodos) nos três inselbergs.

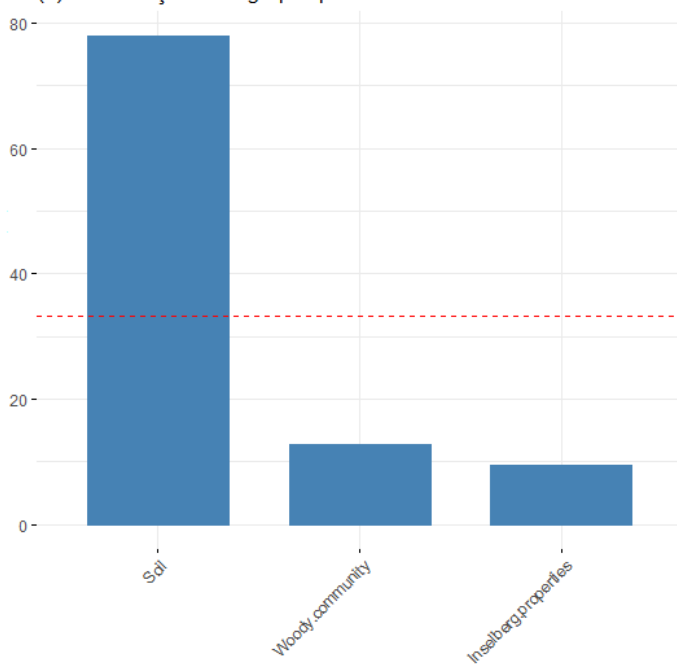
	Autovalores	Variância (%)	Variância cumulativa (%)
Dim.1	2.14	39.84	39.84
Dim.2	1.23	22.95	62.79
Dim.3	0.68	12.69	75.48
Dim.4	0.46	8.52	84.00
Dim.5	0.27	5.04	89.05
Dim.6	0.19	3.62	92.67
Dim.7	0.15	2.72	95.39
Dim.8	0.10	1.90	97.29
Dim.9	0.06	1.21	98.50
Dim.10	0.05	0.98	99.48
Dim.11	0.03	0.52	100.00

**Figura S2:** Gráficos das contribuições relativas (%) dos grupos e das variáveis que definem cada uma das duas primeiras dimensões da Análise de Múltiplos Fatores (MFA). **(a)** e **(b)** Contribuições relativas dos três grupos de variáveis nas Dim 1 e Dim 2, respectivamente, a partir dos quais os componentes principais recebem pesos iguais no MFA. **(c)** e **(d)** Contribuições relativas das variáveis das características das comunidades e variáveis abióticas nas Dim 1 e Dim 2, respectivamente, as variáveis são coloridas por grupos. As coordenadas de todas as variáveis são mostradas na Figura 6b. \*  $p < 0,001$ . A linha tracejada vermelha nos gráficos acima indica o valor médio esperado, se as contribuições fossem uniformes.

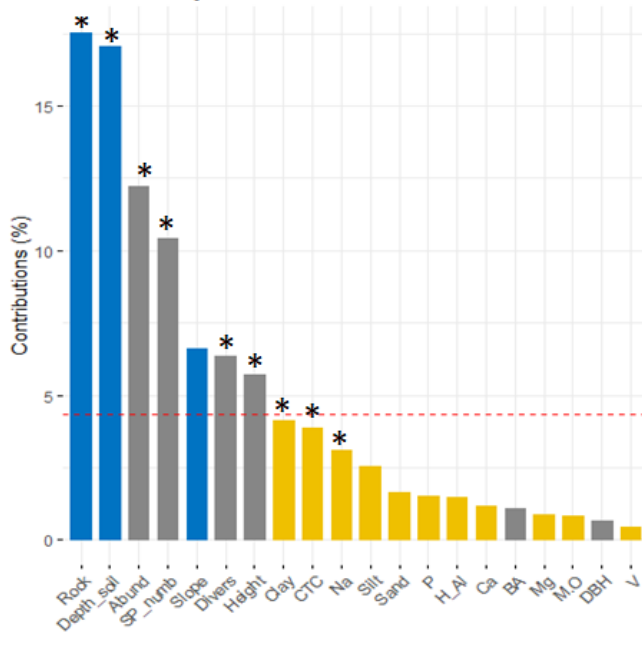
(a) Contribuições dos grupos para DIM 1



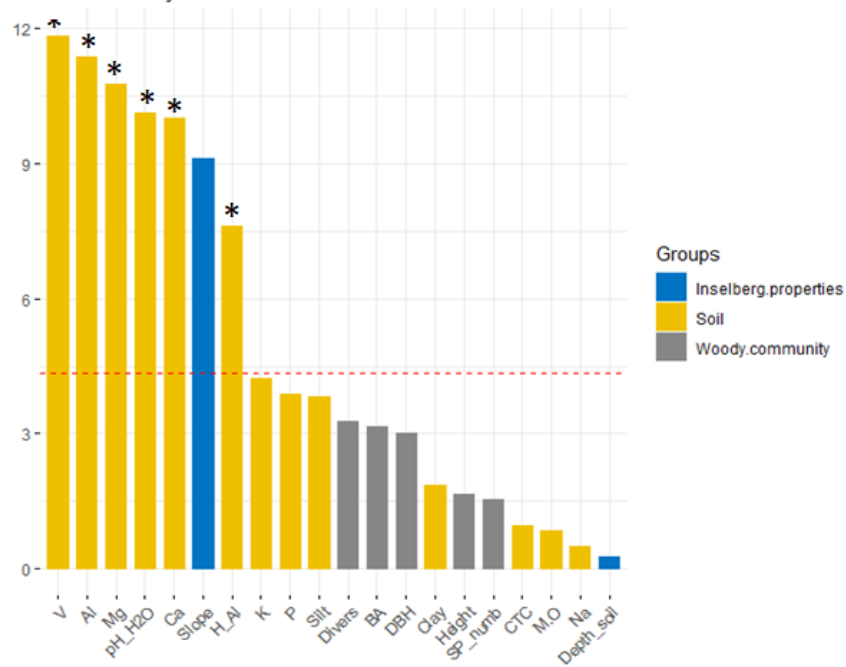
(b) Contribuições dos grupos para DIM 2



(c) Contribuições das variáveis - Dim 1



(d) Contribuições das variáveis - Dim 2



Groups  
■ Inselberg.properties  
■ Soil  
■ Woody.community

**Tabela S3:** Coeficientes de correlações de Spearman entre as características da comunidade lenhosa, variáveis abióticas relacionadas as propriedades físicas do inselberg e físicas e químicas do solo. Os valores de p significativos ( $p < 0,05$ ) estão apresentados em negrito.

	Abund	Divers	SP_num	DBH	Height	BA	Rock	Slope	Depth_soil	Clay	Silt	Sand	pH_H2O	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H_AI	M.O	CTC	V
<b>Abund</b>	1,00	0,46	<b>0,75</b>	0,07	0,46	0,47	<b>-0,86</b>	<b>-0,50</b>	<b>0,91</b>	<b>0,55</b>	-0,27	-0,45	-0,21	<b>-0,54</b>	0,06	<b>-0,55</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,58</b>	0,43	-0,22	-0,23	<b>-0,58</b>	-0,36
<b>Divers</b>	0,46	1,00	<b>0,87</b>	0,07	<b>0,56</b>	0,24	<b>-0,53</b>	0,00	0,41	<b>0,54</b>	<b>-0,54</b>	0,10	0,21	-0,17	0,04	-0,25	-0,03	0,01	-0,04	-0,25	-0,01	-0,14	0,10
<b>SP_num</b>	<b>0,75</b>	<b>0,87</b>	1,00	-0,10	<b>0,70</b>	0,24	<b>-0,76</b>	-0,24	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,66</b>	-0,15	0,14	-0,38	0,09	<b>-0,52</b>	-0,15	-0,17	-0,01	-0,37	-0,31	-0,41	0,08
<b>DBH</b>	0,07	0,07	-0,10	1,00	0,12	<b>0,81</b>	0,12	0,34	0,01	0,01	0,48	-0,36	0,03	-0,20	-0,05	-0,12	-0,25	0,02	0,33	0,14	<b>0,65</b>	0,19	-0,24
<b>Height</b>	0,46	<b>0,56</b>	<b>0,70</b>	0,12	1,00	<b>0,51</b>	-0,49	-0,06	0,41	<b>0,75</b>	<b>-0,52</b>	-0,31	0,18	-0,30	-0,10	<b>-0,54</b>	0,17	0,02	-0,11	-0,24	-0,17	-0,15	0,20
<b>BA</b>	0,47	0,24	0,24	<b>0,81</b>	<b>0,51</b>	1,00	-0,28	-0,04	0,33	0,29	0,29	-0,48	-0,18	-0,45	-0,22	-0,35	-0,42	-0,28	0,49	0,17	0,41	0,03	-0,41
<b>Rock</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,76</b>	0,12	-0,49	-0,28	1,00	<b>0,54</b>	<b>-0,85</b>	<b>-0,68</b>	0,42	0,29	0,04	0,29	-0,05	<b>0,58</b>	0,44	<b>0,52</b>	-0,25	0,41	0,27	<b>0,76</b>	0,17
<b>Slope</b>	<b>-0,50</b>	0,00	-0,24	0,34	-0,06	-0,04	<b>0,54</b>	1,00	-0,37	-0,04	-0,10	0,15	0,48	0,42	0,40	0,43	<b>0,53</b>	<b>0,79</b>	-0,39	-0,04	0,20	0,28	0,40
<b>Depth_soil</b>	<b>0,91</b>	0,41	<b>0,72</b>	0,01	0,41	0,33	<b>-0,85</b>	-0,37	1,00	<b>0,57</b>	-0,33	-0,32	-0,21	<b>-0,54</b>	0,13	<b>-0,61</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,51</b>	0,37	-0,28	-0,20	<b>-0,72</b>	-0,29
<b>Clay</b>	<b>0,55</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>	0,01	<b>0,75</b>	0,29	<b>-0,68</b>	-0,04	<b>0,57</b>	1,00	<b>-0,57</b>	<b>-0,51</b>	0,36	-0,31	0,48	<b>-0,64</b>	0,15	0,14	-0,24	<b>-0,68</b>	-0,14	<b>-0,60</b>	0,37
<b>Silt</b>	-0,27	<b>-0,54</b>	<b>-0,66</b>	0,48	<b>-0,52</b>	0,29	0,42	-0,10	-0,33	<b>-0,57</b>	1,00	-0,14	-0,29	-0,06	-0,27	0,23	-0,27	-0,15	0,31	0,36	0,47	0,22	-0,38
<b>Sand</b>	-0,45	0,10	-0,15	-0,36	-0,31	-0,48	0,29	0,15	-0,32	<b>-0,51</b>	-0,14	1,00	-0,27	0,39	-0,42	<b>0,54</b>	0,08	-0,04	0,10	<b>0,54</b>	0,03	0,41	-0,20
<b>pH_H2O</b>	-0,21	0,21	0,14	0,03	0,18	-0,18	0,04	0,48	-0,21	0,36	-0,29	-0,27	1,00	<b>0,50</b>	0,48	-0,04	<b>0,71</b>	<b>0,76</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,73</b>	-0,32	-0,23	<b>0,88</b>
<b>P</b>	<b>-0,54</b>	-0,17	-0,38	-0,20	-0,30	-0,45	0,29	0,42	<b>-0,54</b>	-0,31	-0,06	0,39	<b>0,50</b>	1,00	-0,04	<b>0,69</b>	<b>0,50</b>	0,41	-0,42	-0,10	-0,18	0,08	0,36
<b>K</b>	0,06	0,04	0,09	-0,05	-0,10	-0,22	-0,05	0,40	0,13	0,48	-0,27	-0,42	0,48	-0,04	1,00	-0,12	0,26	<b>0,54</b>	-0,43	<b>-0,64</b>	-0,05	-0,41	<b>0,50</b>
<b>Na</b>	<b>-0,55</b>	-0,25	<b>-0,52</b>	-0,12	<b>-0,54</b>	-0,35	0,58	0,43	<b>-0,61</b>	<b>-0,64</b>	0,23	<b>0,54</b>	-0,04	<b>0,69</b>	-0,12	1,00	0,19	0,25	-0,03	0,39	0,11	0,46	-0,08
<b>Ca</b>	<b>-0,64</b>	-0,03	-0,15	-0,25	0,17	-0,42	0,44	<b>0,53</b>	<b>-0,57</b>	0,15	-0,27	0,08	<b>0,71</b>	<b>0,50</b>	0,26	0,19	1,00	<b>0,88</b>	<b>-0,91</b>	-0,39	-0,22	0,17	<b>0,89</b>
<b>Mg</b>	<b>-0,58</b>	0,01	-0,17	0,02	0,02	-0,28	<b>0,52</b>	<b>0,79</b>	<b>-0,51</b>	0,14	-0,15	-0,04	<b>0,76</b>	0,41	<b>0,54</b>	0,25	<b>0,88</b>	1,00	<b>-0,84</b>	-0,40	-0,06	0,16	<b>0,83</b>
<b>Al</b>	0,43	-0,04	-0,01	0,33	-0,11	0,49	-0,25	-0,39	0,37	-0,24	0,31	0,10	<b>-0,86</b>	-0,42	-0,43	-0,03	<b>-0,91</b>	<b>-0,84</b>	1,00	<b>0,63</b>	0,44	0,10	<b>-0,97</b>
<b>H_AI</b>	-0,22	-0,25	-0,37	0,14	-0,24	0,17	0,41	-0,04	-0,28	<b>-0,68</b>	0,36	<b>0,54</b>	<b>-0,73</b>	-0,10	<b>-0,64</b>	0,39	-0,39	-0,40	<b>0,63</b>	1,00	0,25	<b>0,69</b>	<b>-0,73</b>
<b>M.O</b>	-0,23	-0,01	-0,31	<b>0,65</b>	-0,17	0,41	0,27	0,20	-0,20	-0,14	0,47	0,03	-0,32	-0,18	-0,05	0,11	-0,22	-0,06	0,44	0,25	1,00	0,34	-0,34
<b>CTC</b>	<b>-0,58</b>	-0,14	-0,41	0,19	-0,15	0,03	<b>0,76</b>	0,28	<b>-0,72</b>	<b>-0,60</b>	0,22	0,41	-0,23	0,08	-0,41	0,46	0,17	0,16	0,10	<b>0,69</b>	0,34	1,00	-0,15
<b>V</b>	-0,36	0,10	0,08	-0,24	0,20	-0,41	0,17	0,40	-0,29	0,37	-0,38	-0,20	<b>0,88</b>	0,36	<b>0,50</b>	-0,08	<b>0,89</b>	<b>0,83</b>	<b>-0,97</b>	<b>-0,73</b>	-0,34	-0,15	1,00

