

IZABELA FERREIRA FIALHO

**SAZONALIDADE AUMENTA AGRUPAMENTO FILOGENÉTICO DE  
COMUNIDADES RUPESTRES NEOTROPICAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F438s  
2018 Fialho, Izabela Ferreira, 1990-  
Sazonalidade aumenta agrupamento filogenético de  
comunidades rupestres neotropicais / Izabela Ferreira Fialho. –  
Viçosa, MG, 2018.  
[v], 54 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Andreza Viana Neri.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: r. 46-49.

1. Comunidades vegetais. 2. Filogenia. 3. Stress  
(Fisiologia). I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Biologia Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Botânica.  
II. Título.

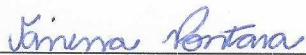
CDD 22. ed. 581

IZABELA FERREIRA FIALHO

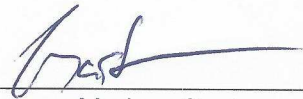
**SAZONALIDADE AUMENTA AGRUPAMENTO FILOGENÉTICO DE  
COMUNIDADES RUPESTRES NEOTROPICAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 2 de março de 2018.



Vanessa Pontara



Markus Gastauer  
(Coorientador)

  
Andreza Viana Neri  
(Orientadora)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por iluminar o meu caminho e me dar força de vontade e determinação.

Aos meus pais Ione e Belo, pelos ensinamentos, apoio e exemplos de honestidade. Vocês me ensinaram o que realmente tem valor na vida.

À minha irmã Dayse pelo ombro amigo, carinho e conselhos. E por trazer a Livia à nossa família, que só nos dá alegrias!

Ao Franco, pelo companheirismo, atenção e apoio em todos os momentos.

À Alice pela amizade desde a graduação, e pela constante ajuda mesmo depois que me mudei!

Ao Pedro e Écio, pelo auxílio e esclarecimento nas análises.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

À Andreza, pela orientação e incentivo desde 2011.

Ao Markus Gastauer, pela co-orientação e acompanhamento no desenvolvimento da dissertação.

À Vanessa Pontara, por aceitar o convite para compor a banca e contribuir para melhorar esse trabalho.

Ao Celso Antônio e Ângelo pelo auxílio e prestatividade de sempre.

Aos professores da botânica pelos ensinamentos.

A todos os colegas e amigos de Viçosa e do LEEP, por tudo!

## RESUMO

FIALHO, Izabela Ferreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Sazonalidade aumenta agrupamento filogenético de comunidades rupestres neotropicais**. Orientadora: Andreza Viana Neri. Coorientador: Markus Gastauer.

Afloramentos rochosos são ecossistemas distribuídos em diversos contextos climáticos, geográficos e geológicos. Suas condições ambientais assemelham-se de forma geral, apontando para um intenso estresse, devido a sua exposição a radiação intensa, ventos fortes, sazonalidade e escassez de substrato. Embora alguns trabalhos mostrem a atuação dos filtros ambientais nas comunidades vegetais desses ecossistemas, nenhum ainda avaliou a estrutura filogenética das mesmas num contexto mais amplo, a fim de verificar como essa estrutura relaciona-se com as características macroclimáticas de precipitação e temperatura. Nosso objetivo foi verificar a relação entre o ambiente e a diversidade taxonômica e estrutura filogenética, bem como a filobetadiversidade de comunidades vegetais sobre afloramentos, ao longo de um gradiente climático e geológico. Para isso, compilamos dados florísticos de 119 áreas. Com suas coordenadas, extraímos as variáveis climáticas do WorldClim 2.0: precipitação anual, temperatura média anual, temperatura máxima, sazonalidade de precipitação e sazonalidade de temperatura. As diferenças taxonômicas entre elas foram verificadas por NMDS e ANOSIM. A diversidade e estrutura filogenética foi quantificada através dos índices PD, MPD, MNTD, sesPD, NRI e NTI, enquanto a filobetadiversidade foi medida por betaNRI e betaNTI. A influência do clima nos índices de estrutura filogenética foi detectada por modelos lineares generalizados (GLM). O agrupamento filogenético entre clados recentes (NTI) aumentou proporcionalmente ao aumento na sazonalidade de precipitação e temperatura, enquanto entre clados basais (NRI) aumentou com a maior temperatura. Atribuímos então um maior estresse ao clima mais sazonal (NTI) das comunidades sobre quartzito da região sudeste, e, no caso de clados mais basais (NRI), às temperaturas mais baixas, mais especificamente dos campos de altitude da região sul. O *turnover* filogenético foi mais frequente para clados mais recentes (betaNTI), e predominou entre comunidades que habitam rochas diferentes. Alguns pares que não mostraram *turnover* significativo por betaNRI mostraram por betaNTI. Houve predomínio de agrupamento filogenético, reforçando a importância dos filtros ambientais nessas comunidades, que se intensifica em condições macroclimáticas mais adversas.

## ABSTRACT

FIALHO, Izabela Ferreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **Seasonality increases phylogenetic clustering of neotropical rupestrian communities.** Adviser: Andreza Viana Neri. Co-adviser: Markus Gastauer.

Rocky outcrops are ecosystems distributed in diverse climatic, geographic and geological contexts in the Brazilian continent. Its environmental conditions are in general similar, pointing to a strong stress, given their exposure to intense solar radiation, strong winds, seasonality and scarce substrate. Although some works discuss the importance of environmental filters do these ecosystems' plant communities, no one evaluated their phylogenetic structure in a wide context, in order to verify the relationship among this structure with macroclimatic conditions related to precipitation and temperature. Our goal was to analyze the relationship between climate and taxonomic diversity and phylogenetic structure, as well as the phylogenetic beta diversity (phylogenetic *turnover*) on rocky outcrops, along a climatic and geological gradient. We compiled floristic data of 119 rock outcrop's areas. With their coordinates, we extract climatic variables of WorldClim 2.0: annual precipitation, annual mean temperature, maximum temperature, precipitation seasonality and temperature seasonality. Taxonomic differences among areas were verified through NMDS and ANOSIM. Phylogenetic diversity and structure were quantified through the indices PD, MPD, MNTD, sesPD, NRI and NTI, while phylogenetic beta diversity was measured with betaNRI and betaNTI. Generalized linear models (GLM) detected the influence of climate in phylogenetic indices. Phylogenetic clustering among recent clades (NTI) raised with increased precipitation and temperature seasonality, while among basal clades (NRI) it increased with temperature elevation. We linked higher stress to more seasonal climate (according to NTI) in southeastern quartzitic communities, and, to basal clades (NRI), to low temperatures, specifically in southern *campos de altitude*. Phylogenetic turnover was more common to recent clades (betaNTI), and predominated among communities from different rocks. Some pairs didn't exhibit significant turnover through betaNRI did to betaNTI. Phylogenetic clustering predominated, reinforcing the importance of environmental filters in these communities, which intensifies in more adverse macroclimatic conditions.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	4
2.1. Banco de dados .....	4
2.2. Grupos florísticos - Análise de similaridade .....	6
2.3. Diversidade e estrutura filogenética .....	6
2.4. Filobetadiversidade .....	7
2.5. Comparações filogenéticas dentro e entre grupos.....	8
2.6. Relação entre estrutura filogenética e variáveis climáticas .....	8
<b>3. RESULTADOS</b> .....	9
3.1. Grupos florísticos .....	9
3.2. Estrutura filogenética das comunidades .....	11
3.3. Filobetadiversidade .....	19
3.4. Relações entre estrutura filogenética e variáveis climáticas .....	21
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	28
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b> .....	34
<b>MATERIAL SUPLEMENTAR</b> .....	41

## 1. Introdução

Afloramentos rochosos são paisagens antigas (Porembski et al., 1997), com extensões diversas de rocha aflorada (Safford e Martinelli, 2000), circundadas por distintos biomas, e distribuídas de forma extensa e naturalmente fragmentada (Giulietti et al., 1997), em variadas altitudes (Scarano, 2007) e zonas climáticas (Martinelli, 2007). Nesses ecossistemas, ocorrem comunidades vegetais características, distribuídas em mosaicos fitofisionômicos (Giulietti e Pirani, 1988; Meguro et al., 1994; Safford, 1999) e megadiversos (Silveira et al., 2015). Os afloramentos são insulares, o que dificulta o fluxo gênico (Martinelli, 2007; Paula et al., 2016) e a dispersão, e favorece eventos de especiação local (Porembski et al., 1998; Silveira et al., 2015), atuando assim na geração e manutenção de biodiversidade (Porembski et al., 2016), como centros de persistência de antigas linhagens e diversificação de novas espécies (Safford, 1999; Silveira et al., 2015). Consequentemente, apresentam grande riqueza e endemismo (Alves e Kolbek, 2010; Conceição et al., 2016; Iganci et al., 2011; Porembski et al., 1998; Porembski, 2007; Ribeiro et al., 2007; Safford, 1999), frutos de processos evolutivos ligados a sua longa estabilidade tectônica, intemperismo, infertilidade do substrato e possível atuação como refúgios para as antigas linhagens em períodos climáticos extremos (Hopper, 2009; Hopper et al., 2015; Silveira et al., 2015).

Os ecossistemas rochosos estão expostos a adversidades climáticas diversas, que variam de acordo com sua posição geográfica e altitude, mas em geral são intensas: alta radiação, grande amplitude térmica, substrato superaquecido, baixa umidade relativa do ar, ventos fortes e constantes (Giulietti et al., 1987), e congelamento em certas situações (Ribeiro et al., 2007; Scarano, 2002). As taxas de evaporação são altas, especialmente sobre os substratos frequentemente rasos (Ribeiro et al., 2007; Szarzynski, 2000), onde breves períodos de estiagem são suficientes para causar a seca desses ambientes (Porembski, 2007). A topografia, que pode apresentar grande inclinação, desafia a permanência das plantas, sobretudo durante chuvas muito fortes (Porembski, 2007), e favorece a perda de nutrientes por lixiviação pela rasa camada de solo (Benites et al., 2003). Nessas condições, as espécies apresentam diversas adaptações ao intenso estresse térmico, déficit hídrico e escassez de nutrientes (Biedinger et al., 2000; Giulietti e Pirani, 1988; Kluge e Brulfert, 2000; Oliveira et al., 2016; Porembski et al., 1998).

Essa severidade ambiental associada aos ecossistemas rochosos pode ser um indicativo dos filtros ambientais (Miazaki et al., 2015; Negreiros et al., 2014),

que funcionam como *drivers* na montagem de comunidades quando outros fatores como interações interespecíficas, são menos importantes (Webb et al., 2002). E a tendência é que os filtros sejam mais evidentes em situações de maior estresse ambiental, quando sua importância aumenta e diminui a da competição (Weiher e Keddy, 1995), segundo a hipótese do gradiente de estresse (*stress-dominance hypothesis*) (Swenson e Enquist, 2007). Como consequência dos filtros ambientais, o ambiente restringe a composição das comunidades a organismos com características específicas (MacArthur e Levins, 1967; Simberloff, 1970; van der Valk, 1981), ecologicamente similares, e mais próximos filogeneticamente, caso os nichos ecológicos sejam conservados ao longo das linhagens evolutivas (Cavender-Bares et al., 2009; Darwin, 1859; Losos, 2008; Webb et al., 2002).

Dessa forma, processos ecológicos como os filtros ambientais refletem-se na estrutura filogenética da comunidade (Cavender-Bares et al., 2009): Espécies com maior grau de parentesco do que o esperado ao acaso são filogeneticamente agrupadas (Webb, 2000; Webb et al., 2002). Se as espécies forem menos aparentadas do que o esperado, a comunidade é filogeneticamente superdispersa, por ser composta principalmente por espécies distantes em parentesco. Esses padrões observados permitem inferir sobre os processos predominantes na estruturação das comunidades estudadas, quando os traços são conservados nas linhagens evolutivas (Cavender-Bares et al., 2009; Gastauer e Meira-Neto, 2015; Gastauer et al., 2018).

Quando o processo predominante é constituído pelos filtros ambientais, caso os nichos sejam conservados nas linhagens evolutivas, as comunidades tendem a ser filogeneticamente agrupadas (Kraft et al., 2007). Portanto, espera-se que este indício de resistência a estresse ambiental seja intenso em comunidades rupestres, e possivelmente ainda maior em regiões mais quentes e secas, como é o caso do Nordeste brasileiro (Alvares et al., 2015). Estudos voltados para estrutura filogenética de comunidades nesse tipo de ambiente ainda são escassos (Parmentier e Hardy, 2009; Miazaki et al., 2015; Zappi et al., 2017), e não há trabalhos publicados mais inclusivos sobre estrutura filogenética de comunidades vegetais rupestres brasileiras como um todo, abordando tanto afloramentos quartzíticos quanto ferruginosos e graníticos (Zappi et al., 2017).

Características climáticas são pressões seletivas que influenciam nas características funcionais e na composição de espécies das comunidades (Moles et al., 2014). Mas, para as comunidades rupestres, os tipos de rocha também são importantes, visto que a flora e seus traços funcionais variam de acordo com a composição litológica dos afloramentos (Carmo e Jacobi, 2016). Diferentes

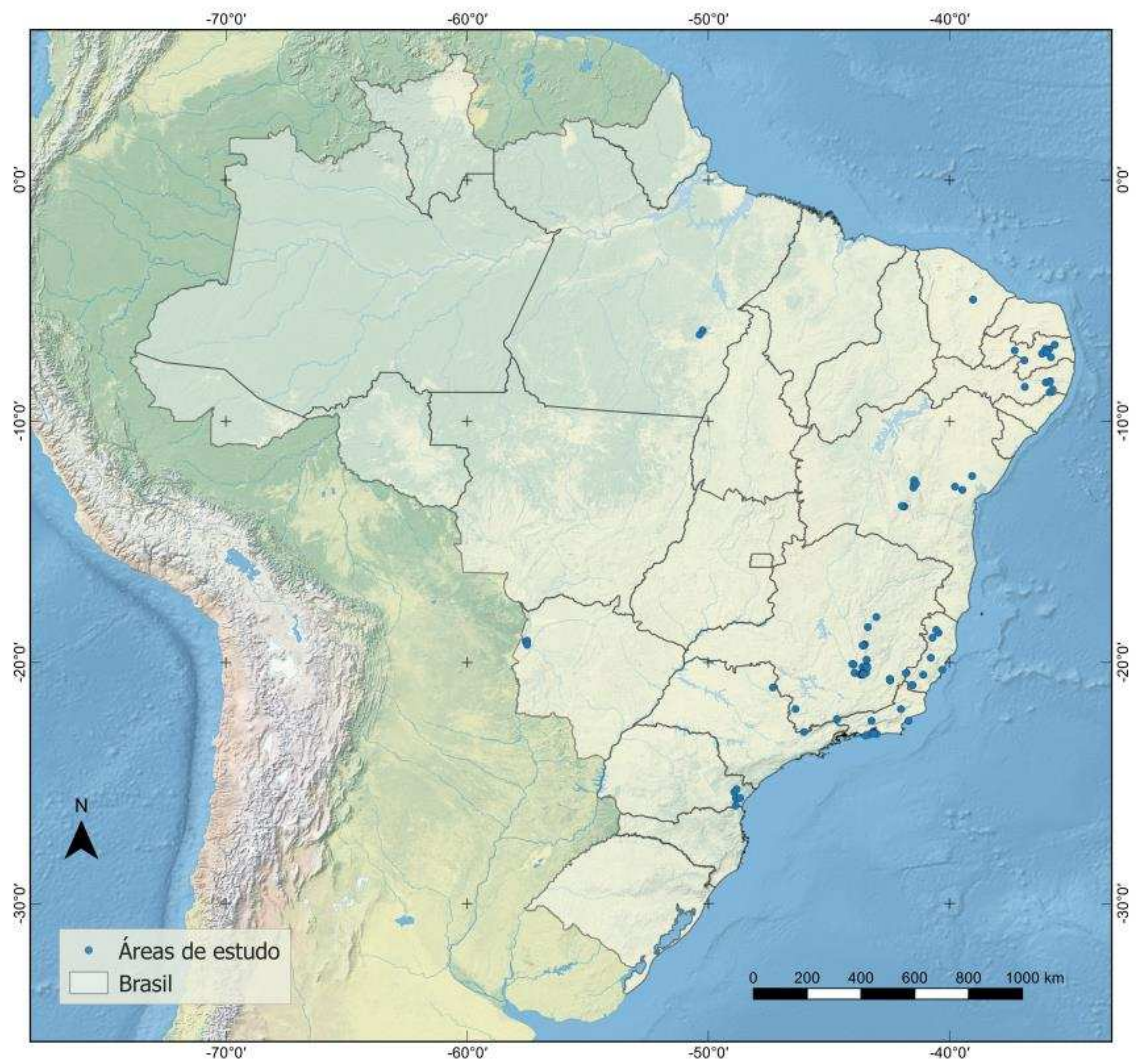
formações rochosas formam microambientes distintos: rochas graníticas, que abrigam campos de altitude e inselbegues, compõem geofomas mais homogêneas e arredondadas (Benites et al., 2003); são rochas densas, com pouca porosidade e permeabilidade (Bremer e Sander, 2000). Já os afloramentos quartzíticos e ferruginosos, onde habitam campos rupestres, apresentam relevo mais acidentado e topografia mais heterogênea, com maior diversidade de microhabitats (Benites et al., 2003; Carmo e Jacobi, 2016). Portanto, diferenças entre tipos de rocha atuam também como filtros ambientais de diferentes intensidades (Carmo e Jacobi, 2016), o que pode resultar em grande variação taxonômica (diversidade beta) e filogenética (filobetadiversidade) entre comunidades de afloramentos que habitam diferentes litotipos.

Embora várias condições ambientais sejam discutidas nos trabalhos com ecossistemas rupestres supracitados, e suas características apontem para a convivência com o estresse de uma forma geral, não há trabalhos que mostrem a relação entre características macroclimáticas (vinculadas a precipitação e temperatura) e estrutura filogenética das comunidades rupestres, abrangendo substratos de diferentes naturezas. Assim sendo, perante a diversidade geológica e climática onde situam-se as comunidades rupestres brasileiras, bem como os filtros ambientais resultantes dessas condições, o objetivo principal desse trabalho é verificar a relação entre o ambiente e a diversidade taxonômica e estrutura filogenética, bem como o *turnover* taxonômico e filogenético, de comunidades vegetais sobre afloramentos, ao longo de um gradiente climático e geológico. Foram testadas as hipóteses: (i) as floras serão diferentes entre formações rochosas distintas; (ii) as comunidades de afloramentos rochosos apresentarão grande agrupamento filogenético; (iii) haverá maior agrupamento filogenético em áreas de maior severidade ambiental, como regiões mais quentes, secas ou frias; e (iv) haverá grande *turnover* filogenético entre comunidades de diferentes formações rochosas.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Banco de dados

Foram compilados trabalhos abrangendo 119 áreas (figura 1; anexo S1), disponíveis em estudos sobre comunidades vegetais sobre afloramentos rochosos brasileiros, englobando campos de altitude, campos rupestres e inselbergues. Campos rupestres associam-se a afloramentos ferruginosos (canga e itabirito) e de quartzito e arenito, ao passo que os campos de altitude e inselbergues ocorrem sobre granito e gnaise. Campos de altitude são encontrados em montanhas, geralmente acima de 1700m de altitude (Safford e Martinelli, 2000), enquanto inselbergues, de dimensões muito diversas e geralmente em formato de domo, emergem de forma abrupta na paisagem (Bremer e Sander, 2000).



**Figura 1.** Localização das áreas de estudo.

No preparo do banco de dados, foram considerados apenas estudos cuja amostragem envolvesse amplamente as angiospermas. A grafia das espécies foi corrigida e sua classificação atualizada de acordo com a APG IV (2016), através do banco de dados do *Missouri Botanical Garden* (2017), usando a ferramenta *Taxonomic Name Resolution Service* (Boyle et al., 2013). Nos casos em que a correção não foi realizada automaticamente, esta foi feita de forma manual. Identificações infraespecíficas (subespécies, variedades) foram tratadas no nível de espécie. Em relação às morfo-espécies, devido a suas identificações inconsistentes, não reconhecidas até nível de espécie, estas não foram incluídas nas análises. Essa inconsistência acontece porque uma morfo-espécie pode corresponder a uma espécie totalmente identificada de outra área, a uma outra morfo-espécie de outra comunidade, ou a uma espécie de ocorrência única no banco de dados (Gastauer et al., 2015). O banco de dados final é formado por 8428 ocorrências, com 3418 espécies, distribuídas em 968 gêneros e 155 famílias.

A localização geográfica das áreas também foi obtida nos trabalhos consultados, dada pelas coordenadas ou por mapas que permitissem inferir as localizações. Quando estas coordenadas não eram exatas, foram utilizadas as coordenadas centralizadas, ou seja, suas latitudes e longitudes centrais. Outras informações acerca dos locais estudados foram registradas, como o tipo de vegetação (campo de altitude, campo rupestre ou inselbergue), a litologia predominante (granito, gnaisse, canga, quartzito, itabirito) e a região de ocorrência (norte, nordeste, sul, centro-oeste e sudeste).

As informações acerca das características climáticas das áreas de estudo, representadas por variáveis bioclimáticas, com alta resolução espacial de 1 km, foram extraídas do banco de dados *WorldClim*, em sua versão mais recente, 2.0 (Fick e Hijmans, 2017). As variáveis selecionadas relacionam-se à temperatura e precipitação, considerados os principais *drivers* climáticos na moldagem da biodiversidade de comunidades rupestres (Fernandes, 2016), bem como outras variáveis derivadas delas: temperatura média anual (BIO1), precipitação anual (BIO12), sazonalidade de temperatura (BIO4), sazonalidade de precipitação (BIO15) e temperatura máxima (BIO5), representados nesse trabalho, respectivamente, pelas abreviações AMT, AP, TS, PS e TMAX. Os dados foram extraídos para os locais de estudo, através de suas coordenadas, utilizando o pacote *raster* (Hijmans 2016) no *software* R 3.4.2 (R Development Core Team 2017).

## 2.2. Grupos florísticos - Análise de similaridade

Para visualizar a estrutura dos dados e a possível formação de grupos, foi utilizada a técnica de ordenação Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS - *Non-Metric Multidimensional Scaling*), usando distância de Bray-Curtis. Os escores dos eixos do NMDS foram testados quanto às diferenças entre tipos de vegetação (considerando a litologia predominante) através de Kruskal-Wallis, seguido de teste Dunn.

Para verificar se a separação taxonômica entre os grupos observados foi significativa, foi utilizada a análise ANOSIM (*Analysis of Similarities (One-Way)*), com 9.999 aleatorizações e distância de Bray-Curtis, no *software Past*, versão 2.17c (Hammer et al., 2001), pois este já retorna o R-global, bem como a comparação par-a-par entre os grupos. Tal avaliação foi realizada considerando cada grupo como um tipo de vegetação, mas considerando também as diferenças de rocha, visto que campos rupestres podem ocorrer sobre substrato quartzítico ou ferruginoso, enquanto inselbergues e campos de altitude ocorrem em afloramentos graníticos. Também foi feita uma análise desse tipo para avaliar diferenças florísticas entre regiões e para tipos de vegetação e região simultaneamente, dada sua separação no gráfico do NMDS (figura 2).

## 2.3. Diversidade e estrutura filogenética

Para calcular a estrutura e diversidade filogenética das comunidades, foi utilizado o *software* Phylocom 4.2 (Webb et al., 2008). O conjunto das áreas de estudo foi considerado uma metacomunidade, e sua árvore filogenética foi construída inserindo, através da função *phylomatic* (Webb e Donoghue, 2005), suas espécies na superárvore de angiospermas R20160415.new (Gastauer e Meira-Neto, 2017), atualizada segundo a APG IV (2016).

A árvore gerada foi calibrada por meio do algoritmo *bladj* e do arquivo *ages* "S08\_ages\_magallon\_PL.txt" (Magallón et al., 2015). Nessa árvore datada, o conjunto de modificações evolutivas ou o tempo transcorrido entre os eventos de cladogênese são mostrados pelos comprimentos de seus ramos (Gastauer e Meira-Neto, 2015), pois inclui informações obtidas por estudos fósseis e moleculares (Magallón et al., 2015). Para visualizar a superárvore produzida, foi utilizado o *software FigTree* (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

Para cada comunidade avaliada, foram calculados os índices PD, MPD, MNTD, sesPD, NRI e NTI. MPD (distância média de pares – *Mean Pairwise Distance*) é a média das distâncias filogenéticas entre todas as possíveis combinações de pares de suas espécies. MNTD (distância média entre os vizinhos mais próximos – *Mean Nearest Taxon Distance*) é a média das distâncias filogenéticas entre todas as espécies e seus respectivos vizinhos mais próximos na filogenia (Webb, 2000; Webb et al., 2002).

Através do modelo nulo sem restrições, *unconstrained* (Kembel e Hubbell, 2006), com 10.000 randomizações, foram calculados os índices NRI (índice de parentesco líquido – *Net Relatedness Index*) e NTI (índice do táxon mais próximo – *Nearest Taxon Index*). Tanto NRI quanto NTI indicam superdispersão filogenética quando significativamente negativos, e agrupamento quando positivos (Webb et al., 2002).

A diversidade filogenética, PD (Faith, 1992) foi calculada também utilizando o *phylocom*. sesPD, produzida a partir da comparação de PD com comunidades randomizadas 10.000 vezes a partir do o modelo nulo *phylogeny.pool*, foi calculada por local com o pacote *picante* (Kembel et al., 2016). O modelo nulo utilizado randomiza as matrizes das comunidades, extraíndo espécies do *pool* de espécies da filogenia com igual probabilidade.

Os valores de NRI, NTI e sesPD foram testados para a amostra total e para os mesmos grupos avaliados anteriormente (tipo de vegetação, região e vegetação associada à sua região), para verificar se diferiam significativamente de zero, permitindo assim concluir a presença de significativo agrupamento (se positivos) ou superdispersão (se negativos). A normalidade dos valores foi testada por Shapiro-Wilk. Quando a distribuição foi normal, foi utilizado teste t para uma amostra, e quando não normal, teste *Wilcoxon rank signed test* (não paramétrico). Tanto esses testes quanto o cálculo de sesPD foram efetuados no R 3.4.2 (R Development Core Team 2017).

Vale ressaltar que a filogenia gerada possui politomias, portanto a resolução filogenética pode influenciar os resultados encontrados. Futuros trabalhos nesse sentido devem, portanto, quantificar essa influência.

#### 2.4. Filobeta diversidade

Os grupos de tipos de vegetação, de região e de tipo de vegetação associada à sua região de ocorrência, tiveram seu *turnover* filogenético testado, separadamente, a partir do cálculo da distância filogenética entre os mesmos (Fine e Kembel, 2011). Para isso, foram calculados betaMPD, betaMNTD, betaNRI e betaNTI de cada

grupo, utilizando o Phylocom 4.2. Quanto maior o valor de betaMPD e betaMNTD, maior o *turnover* filogenético. betaNRI e betaNTI resultaram da comparação de betaMPD e betaMNTD com comunidades randomizadas 10.000 vezes, utilizando o modelo nulo *unconstrained* (Kembel e Hubbell, 2006) e indicam se o *turnover* é significativamente alto (valores maiores que 1.96) ou baixo (valores menores que -1.96). *Turnover* baixo indica que este ocorre entre espécies filogeneticamente próximas; *turnover* alto mostra que as comunidades comparadas são compostas por espécies geralmente distantes em parentesco (Gastauer et al., 2015; González-Caro et al., 2014). Esses valores de *turnover* foram observados para cada par de diferentes tipos de vegetação, de região e de vegetação e região simultaneamente.

### 2.5. Comparações filogenéticas dentro e entre grupos

Para comparar os índices de estrutura e diversidade filogenética entre diferentes grupos (tipos de vegetação, região, e vegetação-região), foi realizado teste de normalidade por prévia avaliação de resíduos por meio de modelos lineares generalizados (GLMs), e teste de Shapiro-Wilk, no *software* R 3.4.2 (R Development Core Team 2017). No processo, PD teve seu valor transformado para logaritmo, a fim de permitir melhor ajuste à normalidade.

### 2.6. Relação entre estrutura filogenética e variáveis climáticas

As variáveis preditivas (AMT, TMAX, AP, TS e PS) foram submetidas a teste de correlação de Pearson, a fim de detectar multicolinearidade, e, caso esta ocorresse, colocar variáveis redundantes (com valor maior que 0.6) em modelos separados. Outro teste efetuado com esse objetivo foi utilizando a função “vif” (*variance inflation factor*) do pacote *car* (Fox e Weisberg, 2017), de forma a eliminar variáveis com  $vif > 3$ , ou seja, aquelas com significativa colinearidade.

A fim de avaliar a influência das variáveis climáticas, bem como das categóricas (vegetação, região e vegetação-região), na estrutura filogenética das comunidades estudadas, foram construídos modelos lineares generalizados (GLM), por meio do comando *glm*. Para melhor adequar os dados, foi necessário transformar os valores de PD para log e de NRI para raiz quadrada.

Como a correlação entre variáveis preditivas mostrou alta colinearidade entre as variáveis TMAX e AMT (anexo S5), estas foram incluídas separadamente nos modelos. Assim sendo, para cada variável resposta (MPD, MNTD, NRI, NTI, PD e sesPD), foram construídos dois modelos globais, compostos pelas

características climáticas e categóricas das comunidades (grupos avaliados nas análises anteriores), com TMAX e AMT incluídas em modelos separados.

A partir dos modelos globais, foram selecionadas as melhores combinações de variáveis, pelo critério de Akaike, considerando aqueles modelos com menor AICc e delta menor que 2. Essa seleção foi realizada através da função *dredge* do pacote *MuMIn* (Bartón, 2017). A partir dessa seleção, foram construídos os modelos finais, por GLM.

Os gráficos das regressões representando as relações significativas entre os índices filogenéticos e as variáveis preditivas foram construídas utilizando o pacote *ggplot2* (Wickham et al., 2016).

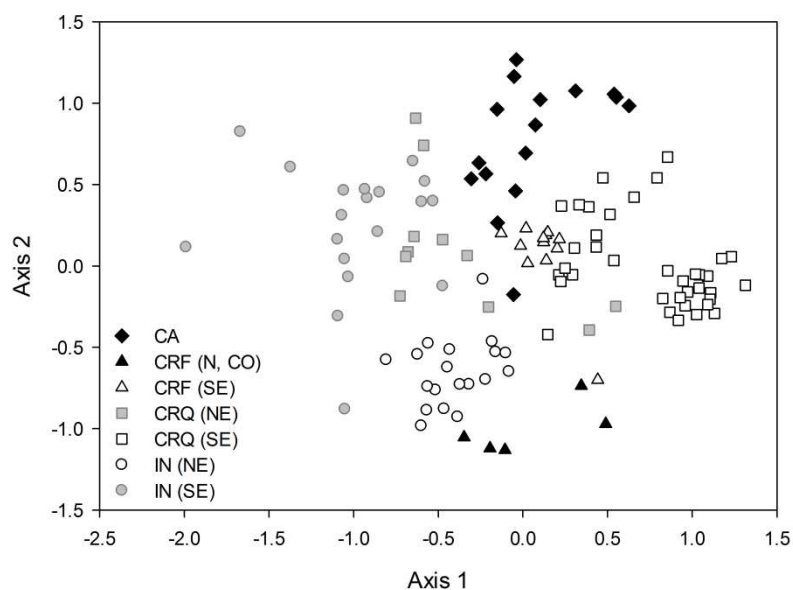
Todas as análises estatísticas (exceto apenas a ANOSIM) foram realizadas no *software* R 3.4.2 (R Development Core Team 2017), por meio dos pacotes específicos supracitados, quando necessário, com auxílio do *script* de análises estatísticas BIOVEG-2 (Diniz e Thiele, 2018).

### **3. Resultados**

#### *3.1. Grupos florísticos*

Visualmente, o NMDS (stress=0,17) mostrou separação entre os tipos de vegetação, com diferenças influenciadas também pela região (figura 2). Diferenças regionais foram observadas entre os inselbergues (IN) das regiões nordeste e sudeste (ANOSIM:  $R = 0.8349$ ,  $p = 0.0001$ ), nos campos rupestres quartzíticos (CRQ) do nordeste e sudeste (ANOSIM:  $R = 0.6636$ ;  $p = 0.0001$ ) e nos campos rupestres ferruginosos das regiões norte e centro-oeste (CRF\_NCO) em relação aos do sudeste (ANOSIM N-SE:  $R = 0.7078$ ;  $p = 0.0037$ ; CO-SE:  $R = 0.7965$ ;  $p = 0.0007$ ).

O eixo 1 do NMDS mostrou separação florística significativa apenas entre o grupo dos inselbergues (IN) e todos os outros grupos ( $H=64.88$ ;  $p<0.05$ ). O eixo 2 ( $H=32.79$ ;  $p<0.05$ ) mostrou diferença entre o grupo dos campos de altitude (CA) e todos os outros. Os grupos significativamente diferentes, nesse caso, em ambos os eixos, foram o dos inselbergues e campos de altitude. Destaca-se aqui sua semelhança em relação à composição do substrato, e sua grande diferença florística apesar disso, o que pode ser resultado de suas diferenças climáticas.



**Figura 2.** NMDS das comunidades vegetais de afloramentos rochosos brasileiros, associadas aos tipos de rocha. Símbolos iguais em cores diferentes representam o mesmo tipo de vegetação, significativamente diferente entre regiões diferentes. CA = campos de altitude; CRF (N, CO) = campos rupestres ferruginosos (regiões norte e centro-oeste); CRF (SE) = campos rupestres ferruginosos (região sudeste); CRQ (NE) = campos rupestres quartzíticos (região nordeste - porção norte da cadeia do espinhaço); CRQ (SE) = campos rupestres quartzíticos (região sudeste - porção sul da cadeia do espinhaço); IN (NE) = inselbergues (região nordeste); IN (SE) = inselbergues (região sudeste).

A análise de similaridade (ANOSIM - one-way) revelou diferenças par-a-par significativas entre todos os grupos de tipos de vegetação ( $R$  global = 0.4464;  $p < 0.0001$ ), associados aos tipos de rocha (tabela 1). As diferenças foram também significativas entre as regiões ( $R$  global = 0.3354;  $p < 0.001$ ), exceto apenas pela região centro-oeste em relação às regiões norte e nordeste (tabela 2). As diferenças entre os grupos mostrados no NMDS, associando vegetação e região simultaneamente, foram todas significativas (anexo S2).

**Tabela 1.** Análise de similaridade (ANOSIM) entre os tipos de vegetação, associados aos tipos de rocha. Os valores mostram a comparação par a par pela estatística  $R$ . Todos os pares foram significativamente diferentes entre si ( $p < 0.0001$ ).  $R$  global = 0.4464.

	CA	CRF	CRQ	IN
CA	0	0.5259	0.5173	0.4588
CRF	0.5259	0	0.2793	0.3017
CRQ	0.5173	0.2793	0	0.5233
IN	0.4588	0.3017	0.5233	0

IN = inselbergs; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos

**Tabela 2.** Análise de similaridade (ANOSIM) entre regiões. Os valores mostram a comparação par a par pela estatística R. R global = 0.3354. Asteriscos indicam regiões significativamente diferentes entre si. \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001.

	CO	N	NE	S	SE
CO	0	1	0.2232	1*	0.4814***
N	1	0	0.5194**	1*	0.386**
NE	0.2232	0.5194**	0	0.6735***	0.3087***
S	1*	1*	0.6735***	0	0.314***
SE	0.4814***	0.386**	0.3087***	0.314***	0

### 3.2. Estrutura filogenética das comunidades

De forma geral, prevaleceu o agrupamento filogenético nas comunidades rupestres estudadas, como mostrado pelos valores médios positivos de NRI e NTI, e negativos de sesPD (tabela 3). As únicas exceções foram as da região centro-oeste (CO) e desta com a região norte (CRF\_NCO), para todos os índices; e campos rupestres ferruginosos e inselbergues da região sudeste (CRF\_SE e IN\_SE), apenas por NRI. O NRI é um índice sensível aos clados mais basais, enquanto NTI representa agrupamento nos clados de origem mais recente. Valores negativos de sesPD indicam que a diversidade filogenética (PD) é composta principalmente por

**Tabela 3.** Médias de NRI e NTI para diferentes grupos de comunidades de afloramentos rochosos brasileiros, considerando tipos de vegetação, região e a combinação entre ambos.

Grupos	N	NRI			NTI			sesPD		
		Média	DP	P	Média	DP	P	Média	DP	P
Amostra total	119	1.90	2.05	***	1.87	1.23	***	-2.21	1.58	***
Vegetação										
IN	38	0.97	1.88	*	1.16	1.11	***	-1.14	1.24	***
CA	16	2.58	2.39	**	1.60	0.83	***	-2.21	1.07	***
CRQ	48	2.88	1.79	***	2.49	1.16	***	-3.13	1.51	***
CRF	17	0.75	1.36	*	1.90	1.17	***	-1.89	1.33	***
Região										
S	5	4.71	1.06	***	1.94	0.74	**	-2.76	0.76	**
SE	78	2.03	2.11	***	2.16	1.20	***	-2.60	1.61	***
NE	31	1.30	1.72	***	1.30	1.16	***	-1.37	1.16	***
CO	3	1.86	0.79	NS	1.55	0.74	NS	-2.02	0.86	NS
Vegetação-região										
CA	16	2.58	2.39	**	1.60	0.83	***	-2.21	1.07	***
CRF_NCO	5	1.20	1.45	NS	1.01	1.06	NS	-1.02	1.67	NS
CRF_SE	12	0.79	1.37	NS	2.27	1.03	***	-2.25	1.04	***
CRQ_NE	11	1.40	1.43	**	1.59	0.59	***	-1.68	0.51	***
CRQ_SE	37	3.42	1.60	***	2.76	1.15	***	-3.56	1.43	***
IN_NE	20	1.24	1.89	*	1.14	1.36	**	-1.20	1.39	**
IN_SE	18	0.62	1.86	NS	1.20	0.72	***	-1.06	1.06	**

Teste de média e desvio-padrão feito com teste T para uma amostra para os índices NTI e sesPD de todos os grupos e da maior parte dos subgrupos e do NRI, e Wilcoxon rank signed test para NRI da amostra total. Valores significativos de p mostram que a estrutura filogenética é diferente de zero. IN = inselbergues; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste. \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001; NS = não significativo (p>0.05).

espécies filogeneticamente próximas, portanto tendendo também ao agrupamento filogenético.

As comparações detalhadas da estrutura filogenética entre tipos de vegetação e regiões, bem como as médias dos índices, são mostradas nas figuras 4 a 6, tabelas 3 a 5 e anexos S3 e S4.

Analisando apenas regiões, a região sul foi a mais agrupada por e a nordeste menos por NRI, enquanto NTI revelou maior agrupamento na região sudeste em relação ao nordeste (figura 4; tabela 3; anexo S4). Campos rupestres quartzíticos da região sudeste (CRQ\_SE) apresentaram o maior agrupamento filogenético por sesPD, NRI e NTI (figura 6; tabela 3; anexo S4).

Campos rupestres quartzíticos em geral (CRQ) foram mais agrupados por NTI que os campos de altitude e inselbergues (figura 5). Inselbergues nordestinos são menos agrupados que os campos rupestres ferruginosos do sudeste.

Quanto aos tipos de vegetação (figura 5), campos rupestres quartzíticos são mais agrupados nos clados mais basais (NRI) que os inselbergues e tem maior média de NRI que os campos rupestres ferruginosos, porém os ferruginosos não são significativamente agrupados (tabela 3). Campos de altitude são mais agrupados (nos clados basais, NRI) que os inselbergues e os campos rupestres ferruginosos.

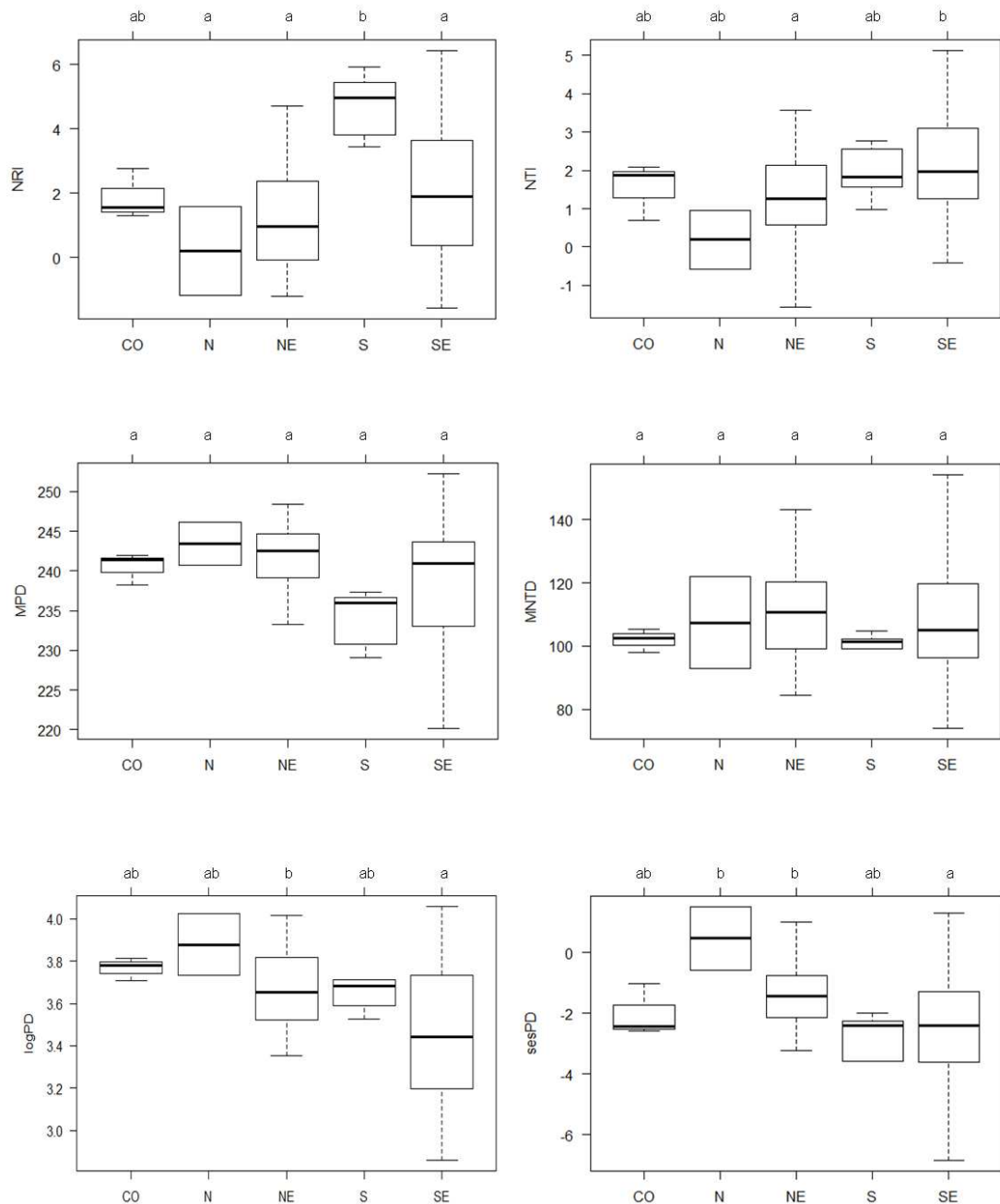
O sesPD das regiões indicou uma maior tendência a agrupamento para região sudeste, comparada à nordeste e à norte (tabela 3; anexos S3-S4; figura 4). Para vegetação (figura 5), os campos rupestres quartzíticos são mais agrupados quanto à sua diversidade filogenética que os ferruginosos e os inselbergues. Inselbergues distinguem-se também dos campos de altitude, sendo os inselbergues menos agrupados, mostrando diversidade filogenética constituída principalmente por espécies próximas em parentesco.

MNTD não variou entre regiões (anexo S3), mas foi maior (tabela 4; figura 5) nos inselbergues do que nos campos rupestres ferruginosos e quartzíticos, indicando maior tempo de divergência evolutiva entre clados mais recentes para os inselbergues. Inselbergues do sudeste possuem maior MNTD que os campos de altitude e os campos rupestres ferruginosos (CRF\_NCO e CRF\_SE). Campos rupestres ferruginosos do sudeste tem menor MNTD, portanto menor tempo de divergência evolutiva recente, que os campos rupestres quartzíticos nordestinos (figura 6).

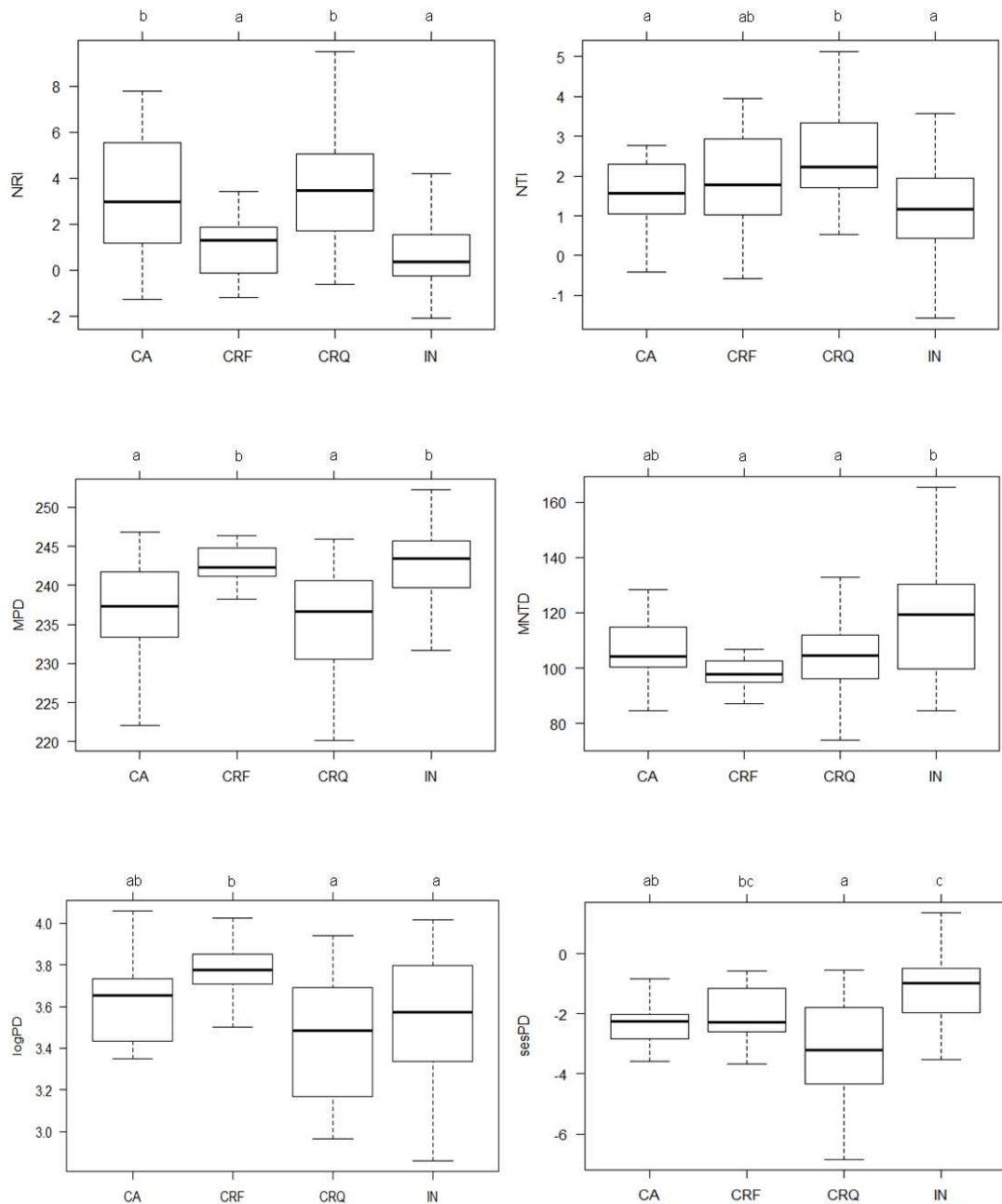
Assim como MNTD, MPD não variou nas regiões (anexo S3), mas campos rupestres quartzíticos (CRQ) apresentaram menor MPD (tabela 4), ou seja, menor tempo de divergência evolutiva entre clados basais, que os ferruginosos e os

inselbergues. Campos de altitude apresentaram menor MPD (figura 5), ou seja, menor tempo de divergência evolutiva entre clados basais, que os campos rupestres ferruginosos e inselbergues. Considerando vegetação por região (figura 6), campos de altitude apresentam menor MPD que os campos rupestres ferruginosos e inselbergues pertencentes à região sudeste. Campos rupestres quartzíticos do sudeste apresentaram menor MPD do que aqueles do nordeste, campos rupestres ferruginosos do sudeste e inselbergues do nordeste e do sudeste.

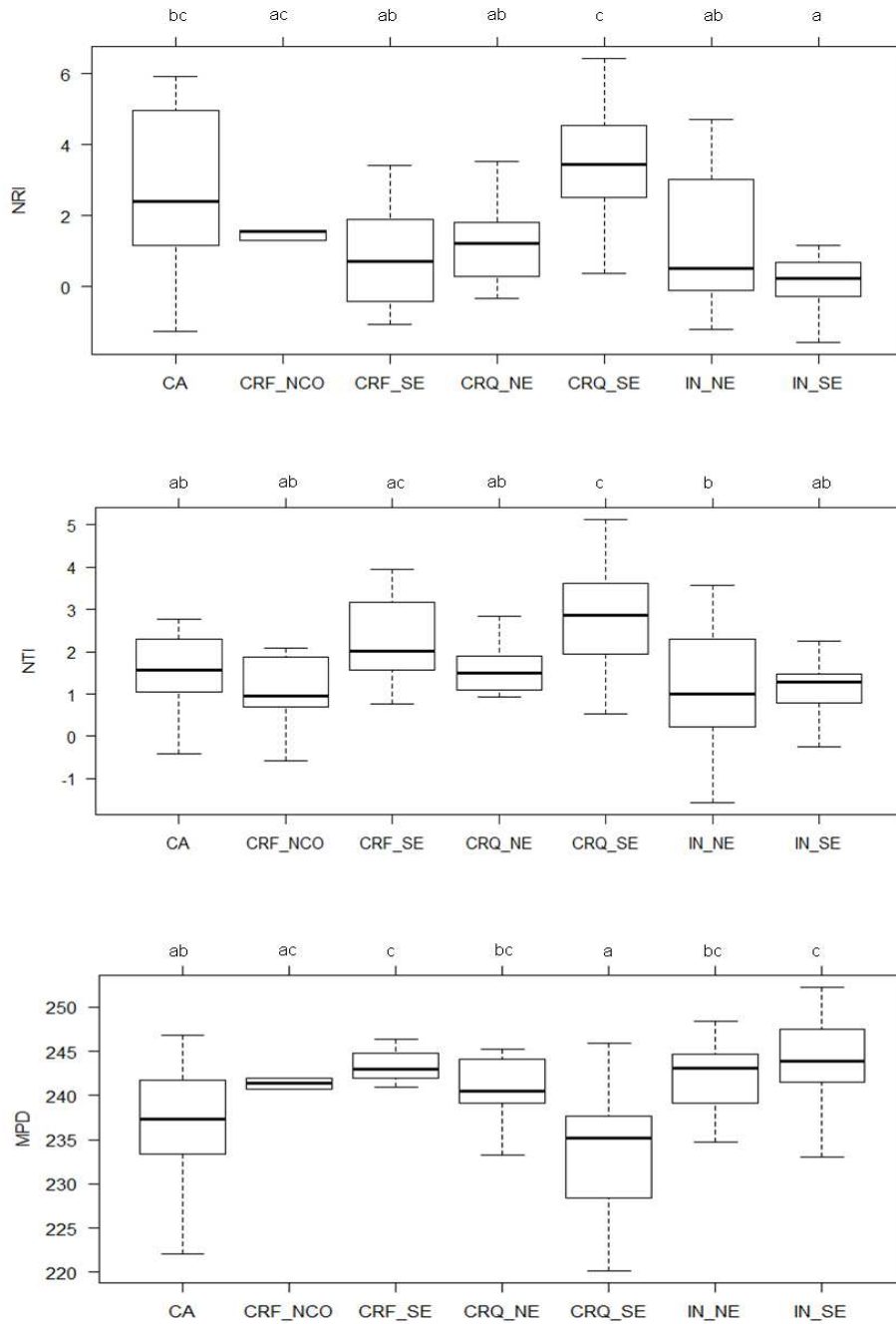
A diversidade filogenética (PD) foi maior na região nordeste do que sudeste (anexos S3-S4; tabela 4; figura 4). Quanto à vegetação (figura 5), foi maior nos campos rupestres ferruginosos que nos quartzíticos e nos inselbergues. Campos rupestres quartzíticos do sudeste possuem maior PD (figura 6) que os campos rupestres ferruginosos do norte e centro-oeste e do sudeste, sendo que estes dois (CRF\_NCO e CRF\_SE) apresentam diversidade filogenética consideravelmente maior que os inselbergues do sudeste. Campos de altitude possuem maior PD que os campos rupestres quartzíticos e inselbergues do sudeste. Inselbergues do nordeste são filogeneticamente mais diversos que os do sudeste e que os campos rupestres quartzíticos do sudeste.



**Figura 4.** *Boxplots* dos índices de estrutura e diversidade filogenética de comunidades de afloramentos rochosos brasileiros, separados segundo a região geográfica. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo; MPD = distância média de pares; MNTD = distância média entre táxons mais próximos; PD diversidade filogenética; sesPD = tamanho efetivo padrão da diversidade filogenética; S = Sul; SE = Sudeste; NE = Nordeste; CO = Centro-Oeste; N = Norte. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as regiões para cada índice.



**Figura 5.** *Boxplots* dos índices de estrutura e diversidade filogenética de comunidades de afloramentos rochosos brasileiros, separados segundo os tipos de vegetação. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo; MPD = distância média de pares; MNTD = distância média entre táxons mais próximos; PD diversidade filogenética; sesPD = tamanho efetivo padrão da diversidade filogenética; IN = Inselbergues; CA = Campos de altitude; CRQ = Campos Rupestres Quartzíticos; CRF = Campos Rupestres Ferruginosos. Letras diferentes representam diferenças significativas entre os tipos de vegetação para cada índice.



**Figura 6.** Boxplots dos índices de estrutura filogenética comparados segundo o tipo de vegetação e região. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo; MPD = distância média de pares; MNTD = distância média entre táxons mais próximos; PD diversidade filogenética; sesPD = tamanho efetivo padrão da diversidade filogenética; IN = Inselbergues; CA = Campos de altitude; CRQ = Campos Rupestres Quartzíticos; CRF = Campos Rupestres Ferruginosos; NCO = regiões norte e centro-oeste; SE = região sudeste; NE = região nordeste. Letras diferentes representam diferenças significativas entre grupos, para cada índice.

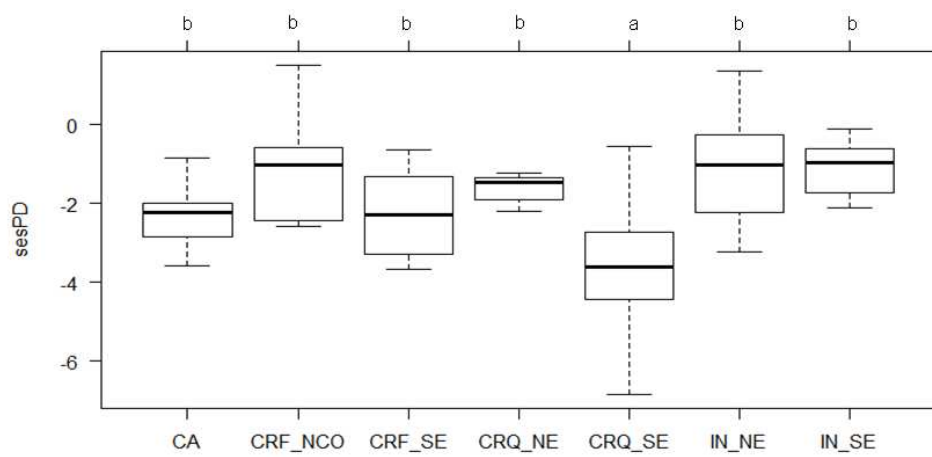
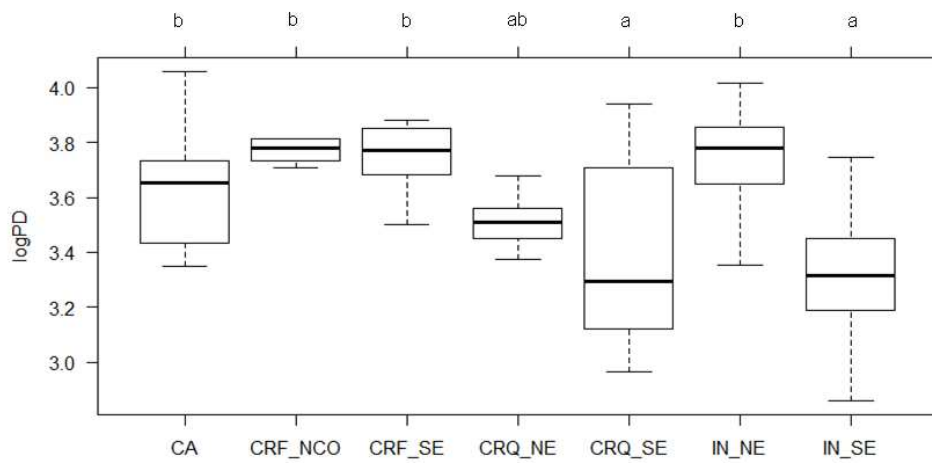
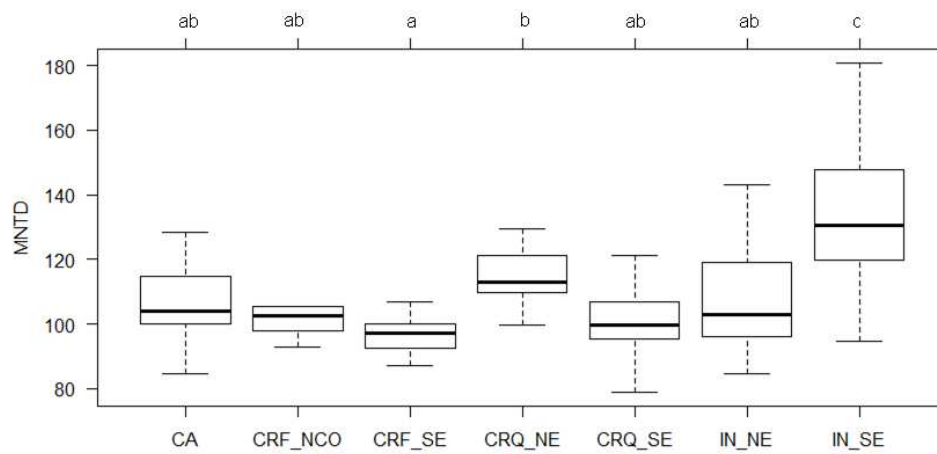


Figura 6. (continuação)

**Tabela 4.** Média e desvio-padrão dos índices de estrutura filogenética MPD e MNTD, e de diversidade filogenética PD.

Grupos	N	MPD		MNTD		PD	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
Amostra total	119	239.11	7.07	108.52	17.86	4168.90	2395.06
Vegetação							
IN	38	242.68	5.09	119.46	22.57	4294.04	2537.16
CA	16	236.35	7.75	107.40	12.59	4732.96	2485.92
CRQ	48	235.24	7.37	104.08	13.37	3280.98	1992.23
CRF	17	242.84	2.31	97.64	7.00	6022.32	1956.78
Região							
S	5	233.96	3.79	100.19	4.23	4533.22	840.79
SE	78	238.11	8.15	108.98	20.16	3622.19	2381.59
NE	31	241.69	3.83	109.88	18.08	5032.34	2108.80
CO	3	240.51	2.01	101.97	3.72	5878.50	739.83
Vegetação-região							
CA	16	236.35	7.75	107.40	12.59	4732.96	2485.92
CRF_NCO	5	241.67	2.87	99.66	5.53	6724.84	2233.70
CRF_SE	12	243.37	1.94	96.90	7.57	5702.99	1840.86
CRQ_NE	11	240.67	3.77	114.79	8.77	3339.65	756.12
CRQ_SE	37	233.30	7.40	100.90	12.91	3263.53	2240.88
IN_NE	20	242.20	3.86	107.18	14.87	5963.32	2037.06
IN_SE	18	243.28	6.39	134.81	21.37	2207.44	1185.09

IN = inselbergues; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste.

### 3.3. Filobeta-diversidade

Em linhas gerais, houve predomínio de valores significativamente negativos (menores que -1.96) entre os pares avaliados, o que representa alto *turnover* filogenético (tabela 5).

Entre os tipos de vegetação, betaNTI só não mostrou *turnover* significativamente alto entre as comunidades de inselbergues e campos de altitude. betaNRI, por outro lado, quando significativo, indicou baixo *turnover* filogenético, entre os campos rupestres quartzíticos (CRQ) e inselbergues (IN) e campos de altitude (CA), bem como esses dois últimos entre si (IN-CA).

**Tabela 5.** Filobeta-diversidade dos afloramentos rochosos brasileiros, comparados segundo o tipo de vegetação, a região e a vegetação associada à região.

Grupo	betaMPD	betaMNTD	betaNRI	betaNTI
<b>Vegetação:</b>				
CRF - CRQ	244.80	51.42	1.49	<b>-12.37</b>
CRF - IN	245.52	76.96	-0.58	<b>-17.71</b>
CRF - CA	245.35	65.19	-0.41	<b>-16.21</b>
CRQ - IN	243.14	57.13	<b>6.26</b>	<b>-17.89</b>
CRQ - CA	243.56	53.58	<b>5.84</b>	<b>-17.63</b>
IN - CA	244.18	53.87	<b>2.86</b>	-1.93
<b>Região:</b>				
N-CO	244.83	105.61	0.41	<b>-3.95</b>
N-NE	246.32	76.78	-1.77	<b>-8.09</b>
N-SE	247.70	78.64	<b>-4.05</b>	<b>-12.08</b>
N-S	247.58	99.92	<b>-2.93</b>	<b>-4.90</b>
CO-NE	244.79	77.20	0.59	<b>-4.74</b>
CO-SE	247.12	92.90	<b>-2.61</b>	<b>-15.11</b>
CO-S	245.60	96.34	-0.38	-1.88
NE-SE	242.50	51.53	<b>11.75</b>	<b>-38.08</b>
NE-S	246.51	53.07	<b>-2.33</b>	<b>2.79</b>
SE-S	246.97	73.94	<b>-3.18</b>	<b>-12.99</b>
<b>Vegetação-região:</b>				
CA-CRF_NCO	249.04	84.25	<b>-5.57</b>	<b>-6.60</b>
CA-CRF_SE	245.05	67.21	0.40	<b>-14.53</b>
CA-CRQ_NE	245.63	74.79	-0.95	<b>-12.56</b>
CA-CRQ_SE	245.14	54.38	0.24	<b>-12.07</b>
CA-IN_NE	244.87	56.69	0.85	-0.31
CA-IN_SE	243.82	64.34	<b>2.75</b>	-1.26
CRF_NCO-CRF_SE	248.05	68.80	<b>-3.94</b>	<b>2.22</b>
CRF_NCO-CRQ_NE	247.49	68.84	<b>-3.03</b>	<b>4.11</b>
CRF_NCO-CRQ_SE	247.72	77.78	<b>-3.68</b>	<b>-5.13</b>
CRF_NCO-IN_NE	247.03	85.62	<b>-2.41</b>	<b>-2.68</b>
CRF_NCO-IN_SE	248.04	101.22	<b>-3.52</b>	<b>-5.76</b>
CRF_SE-CRQ_NE	244.08	42.68	<b>2.51</b>	<b>9.37</b>
CRF_SE-CRQ_SE	246.21	72.45	<b>-2.60</b>	<b>-21.79</b>
CRF_SE-IN_NE	245.42	78.96	-0.30	<b>-11.63</b>
CRF_SE-IN_SE	244.57	89.98	1.33	<b>-12.34</b>
CRQ_NE-CRQ_SE	246.40	70.33	<b>-2.72</b>	<b>-14.48</b>
CRQ_NE-IN_NE	245.11	83.26	0.36	<b>-10.43</b>
CRQ_NE-IN_SE	244.71	91.04	1.02	<b>-9.78</b>
CRQ_SE-IN_NE	243.99	56.50	<b>3.20</b>	<b>-5.25</b>
CRQ_SE-IN_SE	244.37	66.79	1.86	<b>-5.50</b>
IN_NE-IN_SE	242.21	57.28	<b>5.32</b>	<b>4.88</b>

IN = inselbergues; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste. Valores marcados em negrito representam *turnover* significativamente alto (se positivo e maior que 1.96) ou baixo (se negativo e menor que 1.96).

Para regiões, os valores de betaNTI indicam *turnover* significativamente alto, predominantemente (tabela 5). As exceções foram apenas o par CO-S (centro-oeste-sul), que não foi significativo, e NE-S (nordeste-sul), com *turnover* baixo. BetaNRI, comparando os mesmos pares, mostrou valores negativos, ou seja, alto *turnover*, entre a região sudeste e as regiões norte, centro-oeste e sul, e entre a região sul e as regiões nordeste e norte. Nordeste e sudeste apresentaram baixo *turnover*.

Ao comparar tipos de vegetação considerando suas regiões de ocorrência (vegetação-região), betaNTI indicou alto *turnover* para a maioria dos pares (tabela 5). As exceções, que possuem baixo *turnover*, são os campos rupestres ferruginosos do norte e centro-oeste em relação aos do sudeste e aos campos rupestres quartzíticos nordestinos; estes em relação aos campos rupestres ferruginosos do sudeste, e inselbergues do nordeste em relação aos do sudeste. Os outros pares, comparando campos de altitude a inselbergues nordestinos e do sudeste, não apresentaram *turnover* significativo.

BetaNRI mostrou alto *turnover* entre os campos rupestres ferruginosos do norte e centro-oeste e todos os outros (tabela 5), e também para os campos rupestres quartzíticos do sudeste em relação aos nordestinos e aos campos rupestres ferruginosos do sudeste. Baixo *turnover*, segundo esse índice, ocorre entre campos de altitude e inselbergues da região sudeste, entre campos rupestres quartzíticos nordestinos e campos rupestres ferruginosos do sudeste, e também para os inselbergues nordestinos em relação aos do sudeste e aos campos rupestres quartzíticos do sudeste. Os outros pares não indicaram *turnover* significativo.

#### 3.4. Relações entre estrutura filogenética e variáveis climáticas

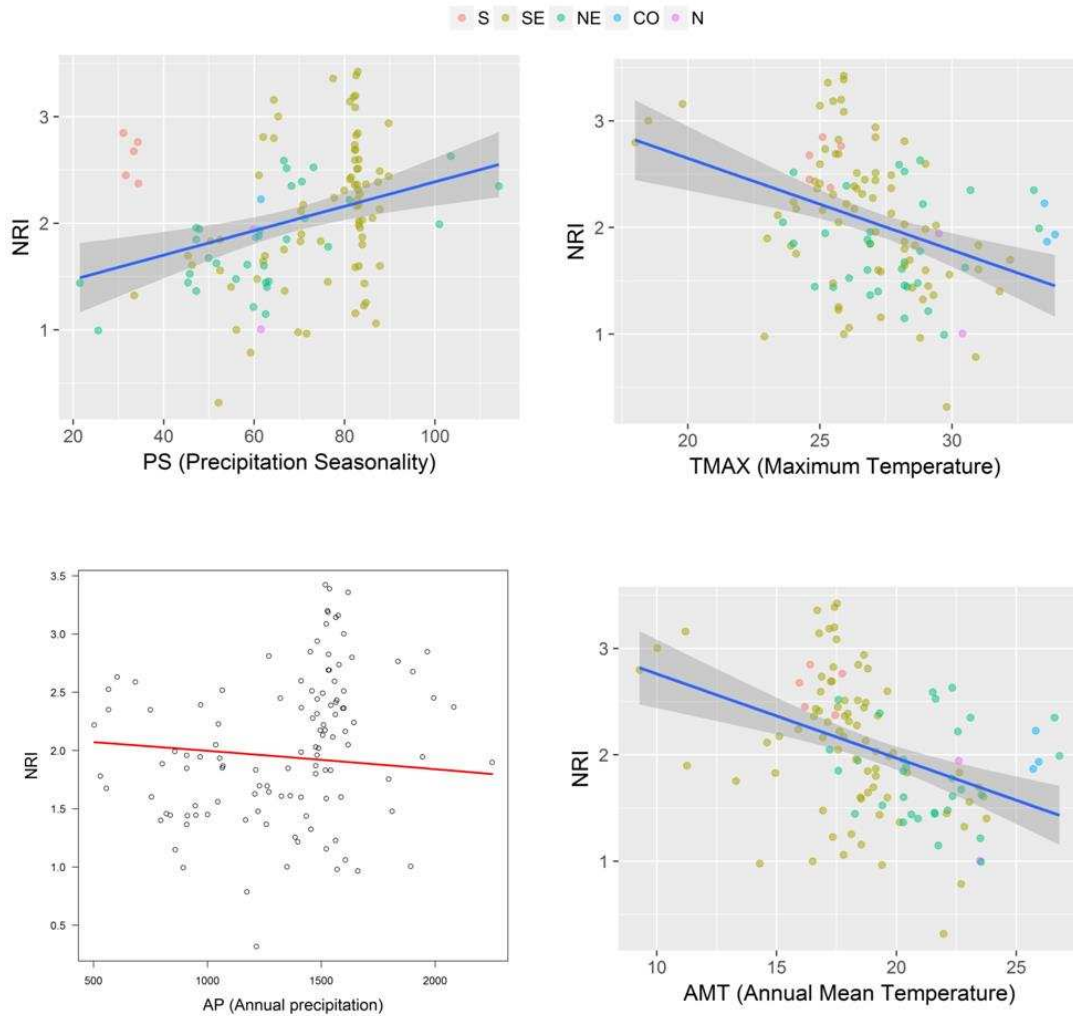
Variações nos resultados dos modelos 1 e 2, entre os quais a diferença foi a presença da variável climática AMT (temperatura média anual) ou da TMAX (temperatura máxima), ocorreram para os índices de estrutura filogenética NRI e sesPD (tabela 6). Nos outros casos, AMT ou TMAX apresentaram, quando houve, a mesma influência na variação da estrutura e diversidade filogenética das comunidades avaliadas.

O primeiro modelo mostrou relação positiva significativa entre NRI e sazonalidade de precipitação (PS), e relação negativa com a temperatura máxima (TMAX), exibindo, portanto, maior tendência ao agrupamento com o aumento dessa sazonalidade e com a redução da temperatura máxima (figura 7). A mesma relação de NRI com temperatura foi mostrada no segundo modelo, com relação negativa

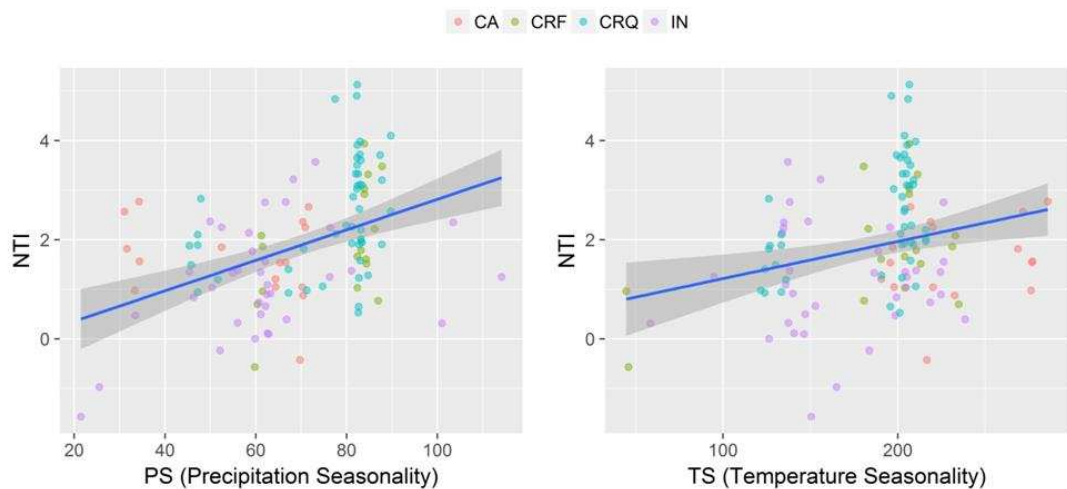
**Tabela 6.** Resultados da seleção de modelos obtidos por Akaike (AICc), relacionando as variáveis climáticas e de ocorrência (vegetação, região e a combinação de ambas) aos índices de estrutura filogenética de comunidades rupestres brasileiras.

<b>Modelo 1</b>											
<b>Índice</b>	<b>Intercepto</b>	<b>TMAX</b>	<b>AP</b>	<b>PS</b>	<b>TS</b>	<b>veg</b>	<b>reg</b>	<b>veg.reg</b>	<b>df</b>	<b>AICc</b>	<b>Weight</b>
<b>NRI</b>	5.045	<b>-0.099</b>	-0.000	<b>0.018</b>		+	+		12	166.7	0.147
<b>NTI</b>	-0.825		-0.000	<b>0.022</b>	<b>0.009</b>	+			8	343.8	0.175
<b>MPD</b>	199.9	<b>1.480</b>						+	9	854.9	0.079
<b>MNTD</b>	157.80		0.014	<b>-0.395</b>	<b>-0.199</b>		+	+	13	951.4	0.136
<b>PD</b>	7.234	0.049						+	9	201.8	0.094
<b>sesPD</b>	1.325		0.000	<b>-0.0302</b>	<b>-0.014</b>	+			8	380.4	0.119
<b>Modelo 2</b>											
<b>Índice</b>	<b>Intercepto</b>	<b>AMT</b>	<b>AP</b>	<b>PS</b>	<b>TS</b>	<b>veg</b>	<b>reg</b>	<b>veg.reg</b>	<b>df</b>	<b>AICc</b>	<b>Weight</b>
<b>NRI</b>	4.498	<b>-0.102</b>	<b>-0.000</b>	<b>0.012</b>			+	+	13	165.6	0.199
<b>NTI</b>	-0.825		-0.000	<b>0.022</b>	<b>0.009</b>	+			8	343.8	0.174
<b>MPD</b>	215.1	<b>1.351</b>						+	9	856.6	0.089
<b>MNTD</b>	157.80		0.014	<b>-0.396</b>	<b>-0.199</b>		+	+	13	951.4	0.141
<b>PD</b>	8.400							+	8	202.7	0.102
<b>sesPD</b>	-6.487	<b>0.137</b>	<b>0.002</b>	<b>-0.022</b>			+	+	13	380.4	0.096

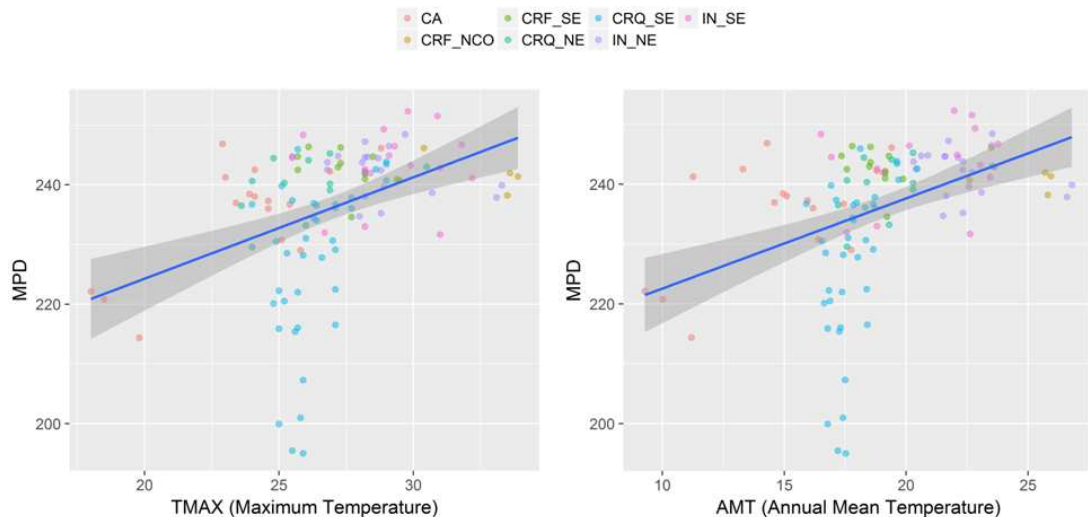
Variáveis dependentes: MPD (distância média de pares), MNTD (distância média do táxon mais próximo), NRI (índice de parentesco líquido), NTI (índice do táxon mais próximo), PD (diversidade filogenética) e sesPD (tamanho efetivo padrão da diversidade filogenética). Variáveis preditivas: AP = precipitação anual; TMAX = temperatura máxima; PS = sazonalidade de precipitação; TS = sazonalidade de temperatura; reg = região de ocorrência; veg = tipo de vegetação; veg.reg = vegetação-região, que corresponde aos tipos de vegetação subdivididos segundo sua região de ocorrência; df = graus de liberdade. Valores em negrito representam relações significativas entre as variáveis preditivas e dependentes.



**Figura 7.** Relações significativas de variáveis climáticas com o Índice de Parentesco Líquido (NRI). Obs.: NRI transformado em raiz quadrada. N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste.



**Figura 8.** Relações significativas de variáveis climáticas com Índice do Táxon mais Próximo (NTI). IN = inselbergs; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos.



**Figura 9.** Relação das variáveis de temperatura com a Distância Média de Pares (MPD). IN = inselbergs; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste.

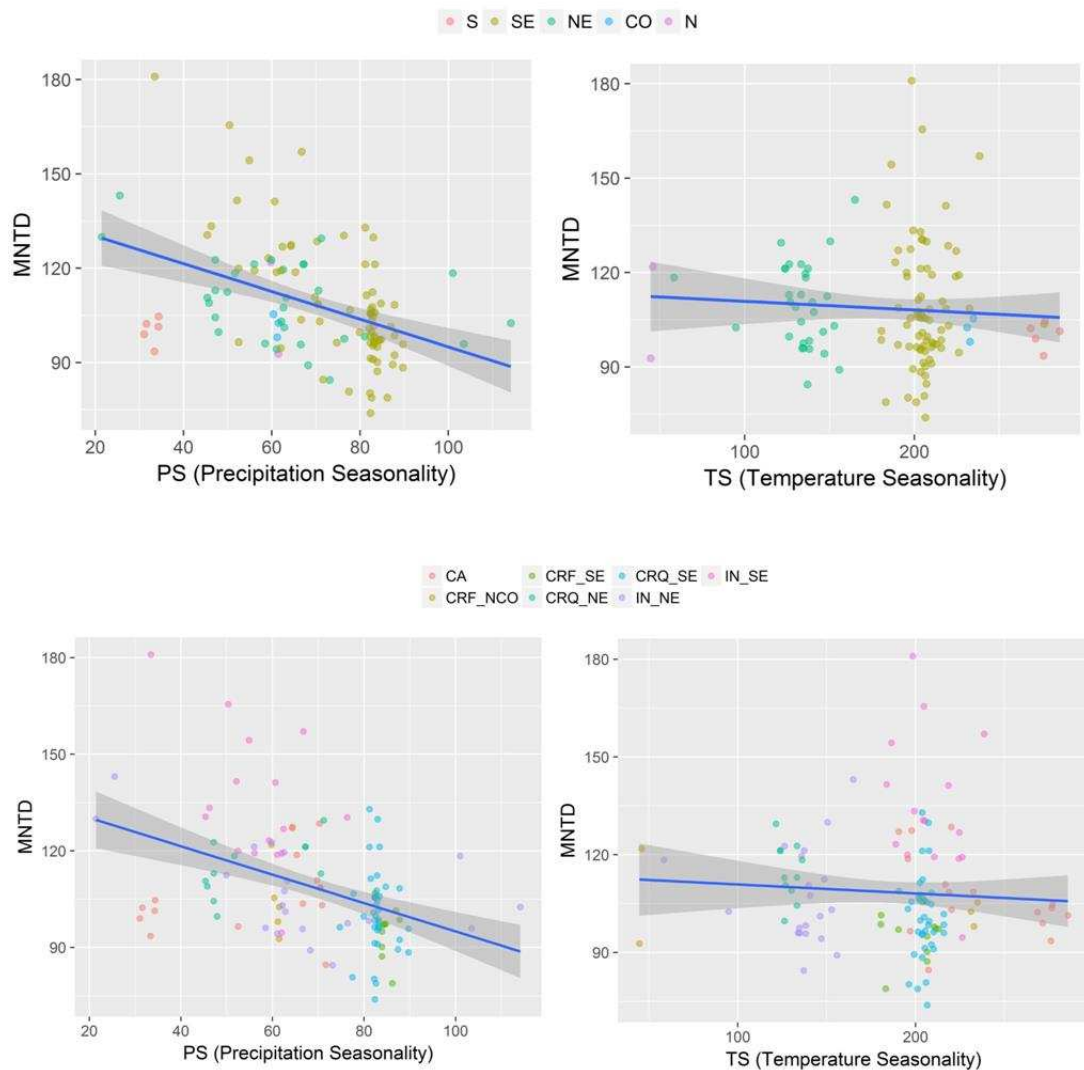
com temperatura média anual (AMT), no entanto, este indicou também tendência negativa do NRI em relação à precipitação anual (AP), o que indica maior agrupamento filogenético dos clados basais à medida que diminui a precipitação anual ao longo do gradiente climático. Ambos os modelos apresentaram relação significativa do NRI com a categoria de região de ocorrência das áreas.

Em ambos os modelos, NTI exibiu relação significativamente positiva, ou seja, crescente agrupamento filogenético de clados mais recentes, com o aumento na sazonalidade, tanto de precipitação (PS) quanto de temperatura (TS). Esse índice relaciona-se significativamente também ao tipo de vegetação que habita cada afloramento (figura 8).

A distância média de pares (MPD) é significativamente influenciada pelo tipo de vegetação e sua região (vegreg), como mostrado nos dois modelos (tabela 6; figura 9). Ambos indicaram também a relação positiva entre MPD e a temperatura máxima (TMAX; modelo 1) ou temperatura média anual (AMT; modelo 2). Tais caracteres climáticos são mais intensos nas comunidades com maior tempo de divergência evolutiva entre clados basais.

MNTD não teve relação significativa com AMT ou TMAX, mas, nos modelos 1 e 2, exibiu uma tendência negativa quando relacionada às variáveis de sazonalidade, tanto PS (sazonalidade de precipitação) quanto TS (sazonalidade de temperatura) (figura 10). Ou seja, quanto maior a sazonalidade, menor o tempo de divergência evolutiva recente. Esse índice sofre influência também do tipo de vegetação ass

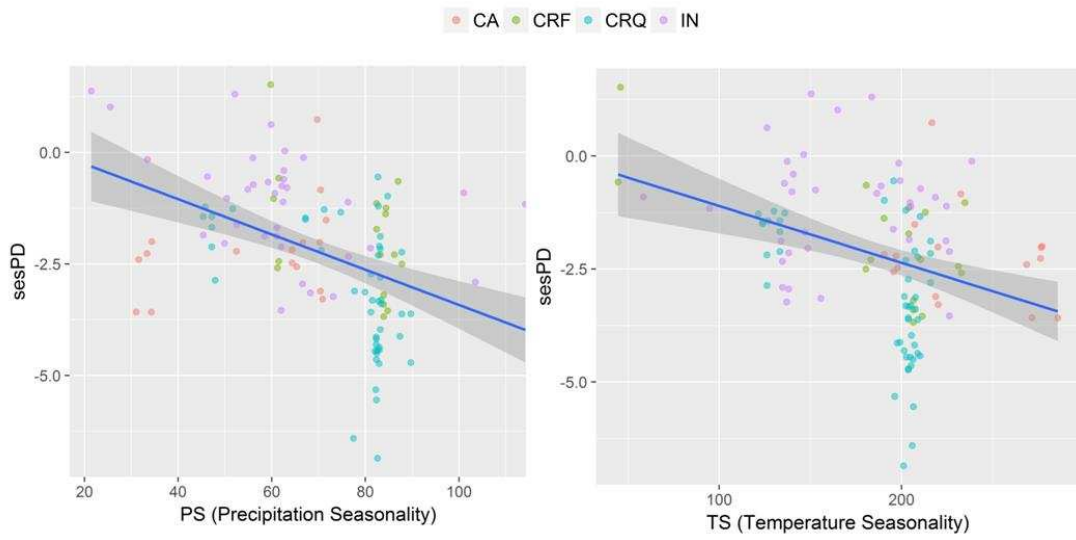
ociada à sua região de ocorrência (vegreg) e da própria região individualmente.



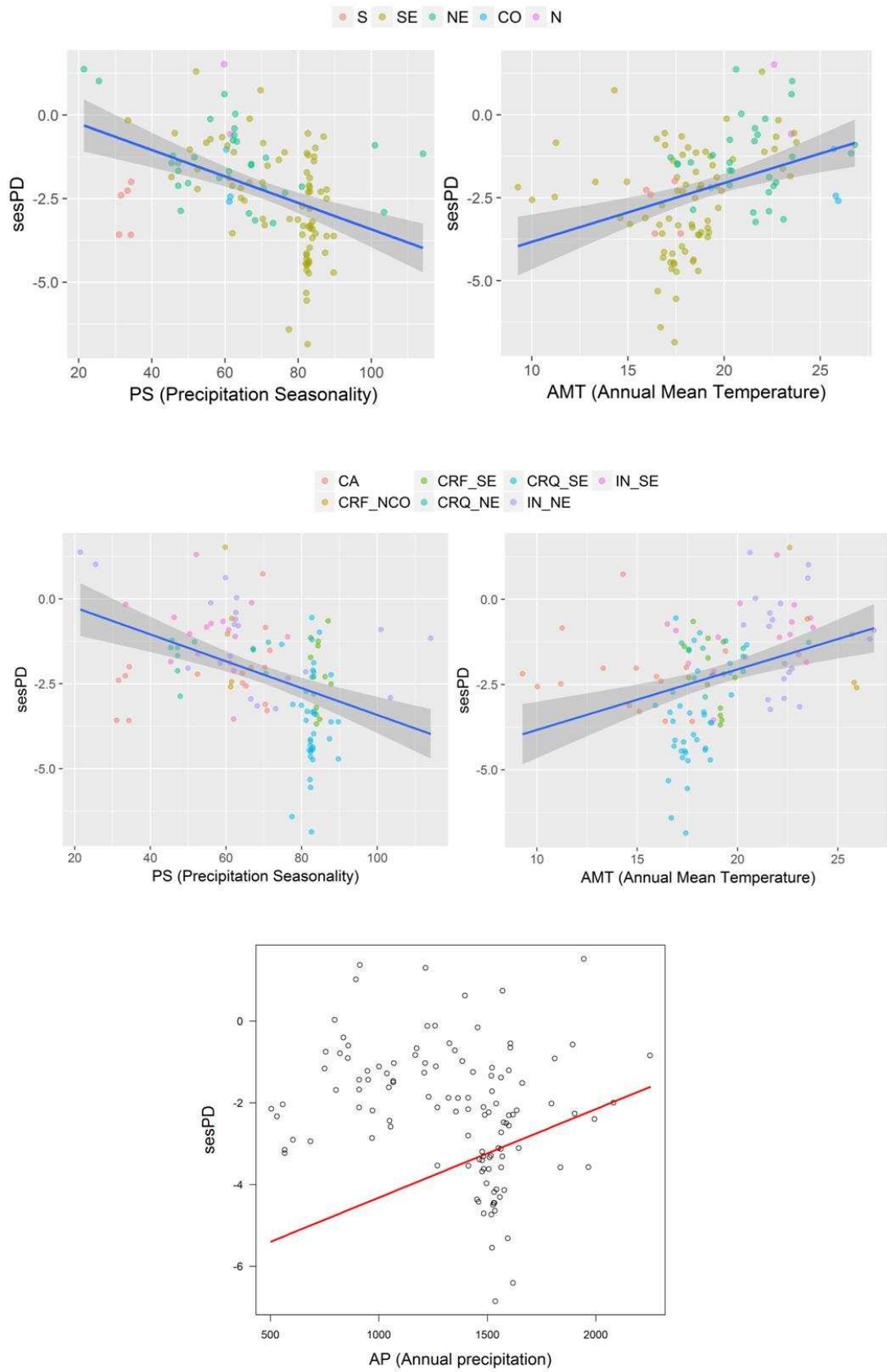
**Figura 10.** Relação das variáveis de temperatura com a Distância Média do Táxon Mais Próximo (MNTD). IN = inselbergs; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste.

A diversidade filogenética (PD) relacionou-se significativamente apenas ao tipo de vegetação associada à região (vegreg), tanto no modelo 1 quanto no 2. *sesPD*, no entanto, teve resultados diferentes de acordo com o modelo analisado: o modelo 1 mostrou relação negativa entre o *sesPD* e a sazonalidade de temperatura (TS) e de precipitação (PS), e relação significativa com o tipo de vegetação (figura 11). O modelo 2 teve em comum com o 1 a relação negativa entre *sesPD* e sazonalidade de precipitação (PS), e relação positiva com a precipitação anual (AP). Houve relação positiva, ou seja, aumento na tendência a agrupamento filogenético, com o aumento da temperatura média anual (AMT). *sesPD* relaciona-se significativamente, no modelo

2, não com a tipologia vegetacional, mas sim com a vegetação associada à sua região (vegreg) e com a região individualmente.



**Figura 11.** Relação das variáveis de sazonalidade (modelo 1) com sesPD. IN = inselbergs; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos.



**Figura 12.** Relações entre variáveis climáticas e sesPD.

#### 4. Discussão

As análises florísticas mostraram que as floras são diferentes entre formações rochosas diversas, separando os tipos de vegetação (campos rupestres, campos de altitude e inselbergues), e, no caso dos campos rupestres, subdividindo o tipo de vegetação de acordo com o tipo de rocha. Os campos rupestres distinguem-se floristicamente em relação ao substrato onde se desenvolvem, que pode ser ferruginoso ou quartzítico (Benites et al., 2007; Messias et al., 2012; Oliveira et al., 2018).

Os resultados encontrados apontam também para a provável influência das características climáticas nas separações florísticas, visto que percebemos grupos não apenas por tipo de vegetação associada ao litotipo, como no caso dos campos rupestres, que foram divididos entre ferruginosos e quartzíticos, mas também por sua região de ocorrência. Essas distinções embasaram a separação de grupos de vegetação subdivididos por regiões (mostrados também para lenhosas de campos rupestres por Neves et al., 2017, e para bromélias de inselbergues por Paula et al., 2016), nas comparações realizadas de estrutura e diversidade filogenética.

A separação dos tipos de vegetação segundo as regiões de ocorrência poderia ser atribuída à distância geográfica entre as áreas de estudo, mas também devem ser influentes as diferentes condições climáticas das mesmas. A proporção das influências espacial e climática foram discutidas por Neves et al. (2017), que demonstraram para lenhosas de campos rupestres que o *turnover* das espécies é melhor previsto pelo clima do que por fatores geográficos, não desconsiderando, no entanto, a influência da vegetação circundante, que naquele caso era o cerrado. Embora sua abordagem não tenha incluído espécies herbáceas, os autores preveem uma relação semelhante para elas.

Outra possível explicação para a baixa relação entre distância geográfica e dissimilaridade que observamos poderia ser a existência de grande diferenciação florística entre as áreas como um todo, dada sua grande diversidade beta (Porembski et al., 1997; Jacobi et al., 2007; Neves et al., 2017; Paula et al., 2016). Essa grande dissimilaridade é esperada para afloramentos tropicais em geral (Jacobi et al., 2007) devido a seu típico isolamento (Burke, 2003) como ecossistemas rochosos azonais (Mucina, 2017) em meio a diferentes matrizes de vegetação (Giulietti et al., 1997; Neves et al., 2017; Silveira et al., 2016), mesmo quando próximos geograficamente (Jacobi et al., 2007; Paula et al., 2016). Além disso, as floras dos diferentes ambientes rupestres podem possuir diferentes origens, aumentando essa diferença entre eles, e ocasionando essa falta de relação entre similaridade florística e distância espacial.

Há predomínio de agrupamento filogenético, destacado tanto por NRI quanto por NTI, para a vegetação que habita os afloramentos rochosos brasileiros, o que indica a forte atuação dos filtros ambientais nessas comunidades.

O agrupamento filogenético em áreas mais hostis, causado principalmente por filtros ambientais intensos, é conivente com a hipótese de dominância do estresse (*stress-dominance hypotheses*) (Swenson e Enquist, 2007; Weiher e Keddy, 1995). Segundo essa hipótese, quando a adversidade ambiental é alta, a pressão seletiva promovida pelos filtros ambientais resulta em espécies com adaptações mais similares, que permitem sua sobrevivência em tais adversidades (Weiher e Keddy, 1995). Considerando que predomina o conservatismo de nicho nas linhagens evolutivas (Kraft et al., 2007), espécies mais próximas em parentesco tendem a ser ecologicamente mais semelhantes, com caracteres específicos, primordiais para seu sucesso em determinados ambientes (Webb et al., 2002). Conseqüentemente, o predomínio dos filtros ambientais resulta no agrupamento filogenético (Cavender-Bares et al., 2009), aqui mostrado pelas comunidades rupestres como um todo.

Embora trabalhos recentes apontem para o cuidado necessário ao uso do termo “filtro ambiental” (Gerhold et al., 2015; Kraft et al., 2015), ainda não há estudos detalhados suficientes sobre a grande quantidade de espécies aqui analisadas, que provem experimentalmente a ação dos filtros ambientais nessas comunidades. Assim sendo, uma discussão desenvolvida nesse sentido deve ser cautelosa e com a ciência de que pode haver outros fatores que influenciem também os processos em questão (Zappi et al., 2017) e podem gerar resultados semelhantes (Kraft et al., 2015), mas que não foram explorados nesse trabalho.

Apesar das limitações do nosso estudo, a ação dos filtros ambientais em comunidades rupestres é indicada também por outros estudos de comunidades rupestres, que sempre enfatizam a severidade ambiental com a qual elas lidam (Giulietti e Pirani, 1988; Meguro et al., 1994; Jacobi et al., 2007; Porembski et al., 1998, Porembski, 2007; Szarzynski, 2000), bem como apontam adaptações, majoritariamente ligadas à tolerância ao estresse (Negreiros et al., 2014; Oliveira et al., 2016; Porembski et al., 1998; Porembski e Barthlott, 2000), especialmente evidentes naquelas tolerantes à dessecação, que resistem à perda de até 90% de sua água (Porembski e Barthlott, 2000). Isso reforça, junto ao presente estudo e outros que mostram o agrupamento filogenético em campos rupestres (Miazaki et al., 2015; Zappi et al., 2017), a importância de uma condição ambiental mais severa para essas comunidades. No entanto, como nossa metacomunidade é composta apenas por espécies adaptadas a tais ambientes, poderia-se esperar uma estrutura

filogenética não diferente do acaso, o que claramente não foi encontrado. Portanto, possivelmente existem diferentes filtros atuando de maneiras distintas em diferentes tipos de rocha.

A precipitação anual, considerando que sua escassez seria uma fonte de estresse, apresentou resultados esperados em relação à estrutura filogenética, visto que ela mostrou um gradiente, diminuindo no sentido da região sul para a região nordeste. Nesse sentido de decréscimo de precipitação, a tendência mostrada por NRI foi de aumento no agrupamento filogenético. Tal resultado segue o que esperávamos pela hipótese do gradiente do estresse, revelando a influência da precipitação anual em amenizar o estresse ambiental promovido pela escassez hídrica dos rasos substratos rupestres.

Embora outras características do ambiente, fora do escopo do nosso trabalho, também afetem a disponibilidade de água para as plantas, e devido a isso a precipitação anual possa não apresentar uma relação muito forte com os traços das plantas (Moles et al., 2014), o déficit hídrico é uma condição comum em vegetações rupestres como um todo, mesmo em regiões mais úmidas, devido à escassez de substrato e consequente baixa retenção de água (Giulietti e Pirani, 1988; Szarzynski, 2000). Portanto, esse resultado indica que menor precipitação anual torna a intensidade desse estresse hídrico ainda maior.

A temperatura (tanto média quanto máxima) mostrou tendência contrária à que prevíamos, visto que indicou menor agrupamento filogenético em regiões mais quentes. No entanto, não apenas temperaturas elevadas podem ser condições intensas para as comunidades rupestres, mas também as muito baixas. O gradiente avaliado incluiu campos de altitude da região sul, áreas de clima subtropical, com temperaturas médias em torno de 10°C, onde ocorrem eventos de congelamento em altitudes mais elevadas, além de ventos fortes (Mocochinski e Sheer, 2008; Ribeiro et al., 2007). Os campos de altitude são considerados os locais mais frios do leste da América do Sul, devido a suas elevadas altitudes e exposição à chegada de frentes polares do Sul (Safford, 1999). Levando essa condição de temperaturas muito baixas em consideração, como sendo um estresse mais intenso, esse resultado condiz também com a hipótese do gradiente de estresse.

Essas variáveis de temperatura, no entanto, podem não captar totalmente o efeito da temperatura nas comunidades, visto que não percebem suas variações ao longo do ano. Os ecossistemas não estão expostos a suas temperaturas médias anuais ou máximas durante a maior parte do tempo, então variáveis sensíveis a

suas oscilações podem representar melhor as condições climáticas, como a sazonalidade (Moles et al., 2014).

Embora as temperaturas médias anuais e máximas não tenham tido tendência positiva com o agrupamento filogenético, a sazonalidade mostrou um efeito considerável. A sazonalidade é apontada como um fator influente nas comunidades rupestres, tanto nos campos rupestres (Mucina, 2017) quanto campos de altitude (Ribeiro et al., 2007) e inselbergues (Porembski et al., 1997, 1998; Porembski, 2007).

Embora não tenhamos observado uma separação nítida das comunidades de cada grupo (vegetação, região) ao longo do gradiente de sazonalidade, existe uma tendência de maior agrupamento filogenético nas áreas mais sazonais, tanto por precipitação quanto por temperatura. Isso ocorreu para NRI, NTI e sesPD para sazonalidade de precipitação, e NTI e sesPD para sazonalidade de temperatura.

Não encontramos sazonalidade mais intensa na região nordeste, mas isso pode ter acontecido porque muitos afloramentos nordestinos avaliados não localizam-se no sertão, onde ocorre o contexto climático semi-árido dessa região, com chuvas escassas (podendo ser inferiores a 500 mm/ano) e mal distribuídas (Quadro et al., 1996). Portanto, são necessárias mais amostragens de comunidades rupestres inseridas no sertão nordestino, pois, dadas suas condições climáticas limitantes, estes podem estar expostos a filtros ambientais mais intensos, e portanto apresentar maior agrupamento filogenético. Já a região sudeste, por exemplo, possui áreas de todos os tipos de vegetação avaliados, e é uma região tipicamente sazonal. É nela que localizam-se os campos rupestres quartzíticos que apresentaram maior agrupamento filogenético.

A ausência de separação nítida entre os grupos vegetais e regionais que avaliamos ao longo do gradiente de sazonalidade pode ser um indício da sazonalidade intensa como uma característica comum às comunidades rupestres em geral. Isso pode ocorrer devido também a fatores que não avaliamos, como variações microclimáticas, pois pode ocorrer maior amplitude térmica onde há mais rocha exposta (que varia também de acordo com o tipo de rocha), ação dos ventos e de névoa. Condições em menor escala também são importantes filtros ambientais, visto que a temperatura do solo nesses ambientes pode ser mais intensa e apresentar maior variação que a temperatura do ar (Ferrari et al., 2016; Porembski, 2007; Szarzynski, 2000), assim como névoas e orvalho podem amenizar o estresse hídrico em comunidades expostas a essas condições, especialmente em regiões mais litorâneas.

Levando em consideração apenas as variáveis climáticas, a região sul aparentemente é mais agrupada por NRI devido a sua maior sazonalidade de temperatura. Essa região, apesar de apresentar grande uniformidade na distribuição de chuvas, é a que apresenta maior variação térmica ao longo do ano (Quadro et al., 1996). Além disso, foi a que apresentou menores temperaturas (média e máxima), portanto as temperaturas baixas, frequentemente abaixo de zero, dessa região, podem ser características ambientais extremas ligadas à sua estrutura filogenética mais agrupada.

NTI mostrou maior agrupamento na região sudeste em relação à nordeste, e nos campos rupestres quartzíticos em relação a campos de altitude e inselbergues. Campos rupestres quartzíticos da região sudeste agrupam-se mais que os da região nordeste segundo a maioria dos índices, mesmo ocorrendo sobre tipos de substrato semelhantes. As comunidades da região sudeste foram em geral mais agrupadas, e também as que apresentaram, em geral, maior sazonalidade de precipitação. Isso indica o efeito da escassez sazonal de chuvas como um fator intensificador do estresse característico desses ecossistemas.

Embora nosso foco tenha sido na relação entre estrutura filogenética e características climáticas em grande escala, fatores em escalas locais também são importantes para tais comunidades, como microambientes mais ou menos expostos ao sol, presença nas rochas de microambientes que acumulem sedimentos e água, proporções de argila e silte no solo, interferindo na retenção e consequente disponibilidade de água para a vegetação. Essas diferenças podem ocorrer entre diferentes tipos de substratos, como canga e quartzito (Ferrari et al., 2016), ou mesmo em variações locais de teores de argila e porcentagens de afloramentos, no mesmo substrato, como mostrado por Miazaki et al. (2015) em campos rupestres quartzíticos.

A maioria dos pares de tipos de vegetação subdivididos por regiões que apresentaram alto *turnover* por NTI ocorrem em tipos de rochas diferentes, inclusive na mesma região geográfica. A única exceção foram os campos rupestres quartzíticos das regiões sudeste e nordeste, que, apesar de comporem a mesma cadeia de montanhas (Cadeia do Espinhaço), esta dividiu-se, respectivamente, em suas porções sul e norte, que possuem relatos de diversificações disjuntas de diversas linhagens de plantas (Bitencourt e Rapini, 2013; Souza et al., 2013; Echternacht et al., 2014). Nos outros casos, há aqueles que mostram alto *turnover* tanto por betaNRI quanto betaNTI (que indica que as diferentes rochas já foram colonizadas por clados basais distantes, e essa distância se manteve nos clados recentes), e os que apresentam baixo *turnover* (ou não tem *turnover* significativo)

por betaNRI, mas alto *turnover* por betaNTI. Especialmente esse último caso pode estar representando os eventos de especiação e diversificação ao longo do tempo, por terem sido colonizadas por clados próximos no passado e terem se distanciado filogeneticamente com o passar do tempo, refletindo no maior *turnover* atual. A dificuldade de dispersão entre afloramentos pode ser uma das causas disso.

O predomínio de agrupamento filogenético, bem como o consistente aumento no agrupamento filogenético com a sazonalidade climática, e as diferenças encontradas corroboram o estresse ambiental predominante nos afloramentos, e indicam a importância dos diferentes filtros ambientais, vinculados à diversidade climática e geológica, na montagem das comunidades rupestres. O maior agrupamento em áreas mais frias, secas ou sazonais, demonstra o gradiente ambiental atuando como um gradiente de estresse, com maior agrupamento em posições menos favoráveis do gradiente. Outro fator importante em tais variações é a história evolutiva dessas comunidades, que deve ser ainda mais diversa em substratos litológicos de diferentes origens.

Outro fator que pode gerar agrupamento filogenético é a competição, caso os traços funcionais não sejam conservados nas linhagens evolutivas, e as diferentes habilidades competitivas mostrem sinal filogenético (Mayfield e Levine, 2010). Tanto a competição quanto a facilitação, no entanto, atuam nessas comunidades, em proporções que variam de acordo com o estágio sucessional, por exemplo (Conceição e Pirani, 2016). Mas esses processos são ainda muito pouco estudados nas comunidades rupestres. Portanto, futuros incluindo afloramentos de regiões brasileiras mais áridas, bem como a possibilidade de inclusão de traços funcionais das espécies nas análises, contribuirão ainda mais para o avanço do conhecimento sobre esses fascinantes ecossistemas.

## 5. Bibliografia

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C. e Gonçalves, L.D.M. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711–728.

Alves, R.J.V., Cardin, L. e Kropf., M.S. 2007. Angiosperm disjunction “Campos Rupestres-Restingas”—a re-evaluation. *Acta Bot. Brasil.* 21:675–685.

Alves, R.J.V. e Kolbek, J. 2010. Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera? *Plant Ecology* 207: 67–79.

Bartón, K. 2017. Pacote “MuMIn”. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/index.html>>

Benites, V.M., Caiafa, A.N., Mendonça, E.S., Schaefer, C.E. e Ker, J.C. 2003. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta e Ambiente* 10: 76–85.

Benites, V.M., Schaefer, C.E.G., Simas, F.N.B. e Santos, H.G. 2007. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Rev. Bras. Botânica* 30: 569–577.

Biedinger, N., Porembski, S. e Barthlott, W. 2000. Vascular Plants on Inselbergs: Vegetative and Reproductive Strategies. In: Porembski, S. e Barthlott, W. *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Heidelberg: Ecological Studies, Springer-Verlag, p. 117-142.

Bitencourt, C. e Rapini, A. 2013. Centres of Endemism in the Espinhaço Range : identifying cradles and museums of Asclepiadoideae (Apocynaceae). *Syst. Biodivers.* 11: 525–536.

Bitencourt, C.; Rapini, A.; Damascena, L.S. e Marco Junior, P. 2016. The worrying future of the endemic flora of a tropical mountain range under climate change. *Flora* 218, 1-10.

Boyle, B. et al. 2013. The taxonomic name resolution service: an online tool for automated standardization of plant names. *BMC Bioinformatics* 14, 1-14.

Bremer, H. e Sander, H. 2000. Inselbergs: geomorphology and geology. In: Porembski, S. e Barthlott, W. *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Heidelberg: Ecological Studies, Springer-Verlag, p. 7-35.

Burke, A. 2003. Inselbergs in a changing world - global trends. *Diversity and Distributions* 9: 375-383.

Carmo, F.F. e Jacobi, C.M., 2016. Diversity and plant trait-soil relationships among rock outcrops in the Brazilian Atlantic rainforest. *Plant Soil* 403: 7–20.

Cavender-Bares, J., Kozak, K.H., Fine, P.V.A. e Kembel, S.W. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters* 12: 693-715.

Conceição, A.A., Rapini, A., Carmo, F.F., Brito, J.C., Silva, G.A., Neves, S.P.S. e Jacobi, C.M. 2016. Rupestrian Grassland Vegetation, Diversity, and Origin. In: Fernandes, G.W. (ed). *Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil*. Springer, Switzerland, p. 105-128.

Darwin, C. 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray.

Diniz, É.S. e Thiele, J. 2018. BIOVEG-2. Statistical analyses in R. doi: 10.13140/RG.2.2.33917.05602.

Duarte, L. 2011. Phylogenetic habitat filtering influences forest nucleation in grasslands. *Oikos* 120, 208-215.

Echternacht, L., Sano, P.T., Bonillo, C., Cruaud, C., Couloux, A. e Dubuisson, J.Y. 2014. Phylogeny and taxonomy of *Syngonanthus* and *Comanthera* (Eriocaulaceae): evidence from expanded sampling. *Taxon* 63: 47–63

Faith, D.P. 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61: 1 – 10.

Fernandes, G.W. 2016. The megadiverse rupestrian grassland. In: Fernandes, G.W. (ed). *Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil*. Springer, Switzerland, pp. 105-128.

Fick, S.E. e Hijmans, R.J. 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.

Fine, P.V.A. e Kembel, S.W. 2011. Phylogenetic community structure and phylogenetic turnover across space and edaphic gradients in western Amazonian tree communities. *Ecography* 34, 552–565.

Fox, J. e Weisberg, S. 2016. Pacote “car”. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/car/index.html>>

Gastauer, M., Saporetti-Junior, A.W., Magnago, L.F.S., Cavender-Bares, J. e Meira-Neto, J.A.A. 2015. The hypothesis of sympatric speciation as the dominant generator of endemism in a global hotspot of biodiversity. *Ecology and Evolution* 5: 5272-5283.

Gastauer, M. e Meira-Neto, J.A.A. 2015. Estrutura filogenética de comunidades no Cerrado: introdução e estudo de caso. In: Eisenlohr, P.V.; Felfili, J.M.; Melo, M.M.R.F.; Andrade, L.A.; Meira-Neto, J.A.A. (Org). *Fitossociologia no Brasil: Métodos e Estudos de Casos - Vol 2, 1 ed*. Editora UFV, Viçosa, MG, p. 302-321.

Gastauer, M. e Meira-Neto, J.A.A., 2017. Updated angiosperm family tree for analyzing phylogenetic diversity and community structure. *Acta Bot. Brasilica* In press, 191–198.

Gastauer, M.; Silva, J.R.; Caldeira Junior, C.F.; Ramos, S.J.; Souza Filho, P.W.M.; Furtini Neto, A.E.; Siqueira, J.O. 2018. Mine land rehabilitation: Modern ecological approaches for more sustainable mining. *Journal of Cleaner Production* 172: 1409-1422.

Gerhold, P., Cahill, J.F. Jr, Winter, M., Bartish, I.V. e Prinzing, A. 2015. Phylogenetic patterns are not proxies of community assembly mechanisms (they are far better). *Functional Ecology* 29: 600-614.

Giulietti, A.M. e Pirani, J.R. 1988. Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In: Vanzolini, P.E. e Heyer, W.R. (eds.). *Proceedings of a workshop on Neotropical distribution patterns*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, p. 39–69.

Giulietti, A.M., Pirani, J.R. e Harley, R.M. 1997. Espinhaço Range region, eastern Brazil. In: Davis, S.D., Heywood, V.H., Herrera-Macbryde, O., Villa-Lobos, J. e Hamilton, A.C. (eds) *Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation*. IUCN Publication Unit, Cambridge, p. 397– 404.

González-Caro, S., Umaña, M.N., Álvarez, E., Stevenson, P.R. e Swenson, N.G. 2014. Phylogenetic alpha and beta diversity in tropical tree assemblages along regional-scale environmental gradients in northwest South America. *Journal of Plant Ecology* 7: 145-153.

Goslee, S. e Urban, D. 2015. Pacote “ecodist”. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ecodist/index.html>

Hammer, Ø; Harper, D.A.T. e Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9pp.

Hijmans, R.J. 2016. Pacote “raster”. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>

Hopper, S.D. 2009. OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant Soil* 322: 49–86.

Hopper, S.D., Silveira, F.A.O., Fiedler, P.L. 2015. Biodiversity hotspots and Ocbil theory. *Plant Soil*.

Iganci, J.R.V., Heiden, G., Miotto, S.T.S. e Pennington, R.T. 2011. Campos de Cima da Serra: the Brazilian Subtropical Highland Grasslands show an unexpected level of plant endemism. *Botanical Journal of the Linnean Society* 167: 378-393.

Jacobi, C. M., Carmo, F. F., Vincent, R. C., and Stehmann, J. R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers. Conserv.* 16: 2185–2200.

Kembel, S.W.S. e Hubbell, S.P., 2006. The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community. *Ecology* 87, 86–99.

Kembel, S.W. et al., 2016. Package “picante”. <https://cran.r-project.org/web/packages/picante/index.html>

Kluge, M. e Brulfert, J. 2000. Ecophysiology of Vascular Plants on Inselbergs. In: Porembski, S. e Barthlott, W. *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Heidelberg: Ecological Studies, Springer-Verlag, p. 143-174.

Kraft, N.J.B., Cornwell, W.K., Webb, C.O. e Ackerly, D.D. 2007. Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of ecological communities. *The American Naturalist* 170: 271-283.

Kraft, N.J.B., Adler, P.B., Godoy, O., James, E.C., Fuller, S. e Levine, J.M. 2015. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. *Functional Ecology* 29: 592-599.

Losos, J.B. 2008. Phylogenetic niche conservatism, phylogenetic signal and the relationship between phylogenetic relatedness and ecological similarity among species. *Ecology Letters* 11: 995-1003.

MacArthur, R. e Levins, R. 1967. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *Am. Nat.* 101: 377-385.

Magallón, S., Gómez-Acevedo, S., Sánchez-Reyes, L.L. e Hernández-Hernández, T. 2015. A metacalibrated time-tree documents the early rise of flowering plant phylogenetic diversity. *New Phytol.* 207, 437–453.

Martinelli, G. 2007. Mountain biodiversity in Brazil. *Rev. Bras. Botânica* 30: 587–597.

Meguro, M., Pirani, J. R., Giulietti, A. M. e Mello-Silva, R. 1994. Phytophysiology and composition of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 17: 149-166.

Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A., Kozovits, A.R. 2012. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica* 26: 230-242.

Miazaki, A.S., Gastauer, M. e Meira-Neto, J.A.A.. 2015. Environmental severity promotes phylogenetic clustering in campo rupestre vegetation. *Acta Bot. Brasilica* 29: 561–566.

Moles, A.T. et al. 2014. Which is a better predictor of plant traits: temperature or

precipitation ? J. Veg. Sci. 25, 1167–1180.

Missouri Botanical Garden. 2017. Tropicos.org. <http://www.tropicos.org/>

Mucina, L. 2017. Vegetation of Brazilian campos rupestres on siliceous substrates and their global analogues. *Flora* (in press). <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2017.06.007>.

Negreiros, D., Le Stradic, S., Fernandes, G.W. e Rennó, H.C. 2014. CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. *Plant Ecol* 215: 379–388.

Neves, D.M., Dexter, K.G., Pennington, R.T., Bueno, M.L., Miranda, P.L., Oliveira-Filho, A.T. 2017. Lack of floristic identity in campos rupestres - A hyperdiverse mosaic of rocky montane savannas in South America. *Flora* (in press).

Oliveira, P.A., Pereira, I.M., Messias, M.C.T.B., Oliveira, M.L.R., Pinheiro, A.C., Machado, E.L.M. e Oliveira, J.L.A. 2018. Phytosociology of the herbaceous-subshrub layer of a rupestrian complex in Serra do Espinhaço, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 32: 141-149.

Oliveira, R.S., Abrahão, A., Pereira, C., Teodoro, G.S., Brum, M., Alcantara, S. e Lambers, H. 2016. Ecophysiology of Campos Rupestres Plants. In: Fernandes, G.W. (ed). *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*, Springer International Publishing, p. 227-272.

Oksanen, J. et al. 2017. Package “vegan”. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>

Parmentier, I. e Hardy, O.J. 2009. The impact of ecological differentiation and dispersal limitation on species turnover and phylogenetic structure of inselberg's plant communities. *Ecography* 32: 613–622.

Paula, L.F.A., Forzza, R.C., Neri, A.V., Bueno, M.L. e Porembski, S. 2016. Sugar Loaf Land in south-eastern Brazil: a centre of diversity for mat-forming bromeliads on inselbergs. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 459-476.

Porembski, S., Seine, R. e Barthlott, W. 1997. Inselberg vegetation and the biodiversity of granite outcrops. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 80: 193-199.

Porembski, S., Martinelli, G., Ohlemüller, R. e Barthlott, W. 1998. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. *Diversity and Distributions* 4: 107-119.

Porembski, S. e Barthlott, W. 2000. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecology* 151: 19-28.

Porembski, S., 2007. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. *Rev. Bras. Botânica* 30, 579–586.

Porembski, S., Silveira, F.A.O., Fiedler, P.L., Watve, A., Rabarimanarivo, M., Kouame, F. e Hopper, S.D. 2016. Worldwide destruction of inselbergs and related rock outcrops threatens a unique ecosystem. *Biodivers. Conserv.*

Quadro, M.F.L., Machado, L.H.R., Calbete, S., Batista, N.N.M. e Oliveira, G.S. 1996. Climatologia de precipitação e temperatura. *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>>.

R Development Core Team. 2017. *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna. R Foundation for Statistical Computing.

Ribeiro, K.T., Medina, B.M.O. e Scarano, F.R. 2007. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil. *Rev. Bras. Botânica* 30: 623–639.

Rizzini, C.T. 1997. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Rio de Janeiro, Âmbito Cultural.

Safford, H.D. 1999. Brazilian Páramos I . An introduction to the Brazilian physical environment and vegetation of the campos de altitude. *J. Biogeogr.* 26: 693–712.

Safford, H.D. e Martinelli, G. 2000. Southeast Brazil. In: Porembski, S.; Barthlott, W. *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Heidelberg: Ecological Studies, Springer-Verlag, p. 339–389.

Scarano, F.R. 2007. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Rev. Bras. Botânica* 30: 561–568.

Silveira, F.A.O., Negreiros, D., Barbosa, N.P.U., Buisson, E. e Carmo, F.F. 2015. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant Soil*. doi:10.1007/s11104-015-2637-8

Simberloff, D. 1970. Taxonomic diversity of island biotas. *Evolution* 24: 23-47.

Souza, E.R., Lewis, G.P., Forest, F., Schnadelbach, A.S., van den Berg, C. e Queiroz, L.P. 2013. Phylogeny of *Calliandra* (Leguminosae: Mimosoideae) based on nuclear and plastid molecular markers. *Taxon* 62: 1200–1219

Swenson, N.G. e Enquist, B.J. 2007. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community wide variation across latitude and elevation. *American Journal of Botany* 94: 451-459.

Swenson, N. G. 2014. *Functional and Phylogenetic Ecology* in R. New York:

Springer.

Szarzynski, J. 2000. Xeric Islands: Environmental Conditions on Inselbergs. In: Porembski, S.; Barthlott, W. Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. Heidelberg: Ecological Studies, Springer-Verlag, p. 37–48.

Taxonomic Name Resolution Service. 2017. <http://tnrs.iplantcollaborative.org/>

The Angiosperm Phylogeny Group IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 105–121.

van der Valk, A.G. 1981. Succession in wetlands - a Gleasonian approach. *Ecology* 62: 688-696.

Vavrek, M.J. 2015. Package "fossil". Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/fossil/index.html>

Webb, C. 2000. Exploring the Phylogenetic Structure of Ecological Communities : An Example for Rain Forest Trees. *Am. Nat.* 156, 145–155.

Webb, C.O., Ackerly, D.D., McPeck, M.A. e Donoghue, M.J. 2002. Phylogenies and Community Ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33, 475–505.

Webb, C.O. e Donoghue, M.J. 2005. Phylomatic: tree assembly for applied phylogenetics. *Mol. Ecol. Notes* 5, 181-183.

Webb, C. O., Ackerly, D. D. e Kembel, S. W. 2008. Phylocom: Software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics* 24: 2098–2100.

Weiher, E., e Keddy, P.A. 1995. Assembly Rules, Null Models, and Trait Dispersion: New Questions from Old Patterns. *Oikos* 74: 159-164.

Wickham, H., Chang, W., RStudio. 2016. ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html> >

WorldClim - Global Climate Data - Version 2. 2017. Disponível em: <<http://worldclim.org/version2>>

Zappi, D.C., Moro, M.F., Meagher, T.R., Lughadha, E.N. 2017. Plant biodiversity drivers in Brazilian Campos Rupestres: insights from phylogenetic structure. *Frontiers in Plant Science* 8: 2141.

## Material suplementar

### Anexo S1

Informações sobre as áreas estudadas, suas fontes e localização, bem como sua caracterização segundo tipo de vegetação, região, e vegetação associada à região. IN = inselbergs; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste.

Local	Estado	Longitude	Latitude	Vegetação	Região	Vegetação-região	Referências
Sítio Santa Luzia	CE	-39.0244	-4.9557	IN	NE	IN_NE	Araújo et al., 2008
Alegria	MG	-43.5143	-20.1756	CRF	SE	CRF_SE	Ataíde et al, 2010, 2011
Serra de Ouro Branco 01	MG	-43.6431	-20.5061	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 02	MG	-43.6362	-20.5018	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 03	MG	-43.6318	-20.5096	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 04	MG	-43.6258	-20.5079	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 05	MG	-43.6574	-20.5049	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 06	MG	-43.6843	-20.5003	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 07	MG	-43.7102	-20.4869	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 08	MG	-43.7063	-20.4845	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 09	MG	-43.6079	-20.5053	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra de Ouro Branco 10	MG	-43.6182	-20.5082	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 01	MG	-43.6025	-20.4576	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 02	MG	-43.5854	-20.4553	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 03	MG	-43.5844	-20.4616	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 04	MG	-43.5838	-20.4839	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 05	MG	-43.5811	-20.4722	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 06	MG	-43.5875	-20.4724	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011

Serra do Ribeiro 07	MG	-43.5794	-20.4845	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 08	MG	-43.5817	-20.4807	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 09	MG	-43.5683	-20.4843	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Serra do Ribeiro 10	MG	-43.5737	-20.4853	CRQ	SE	CRQ_SE	Borges et al., 2011
Elefante	MG	-42.4689	-20.6928	CA	SE	CA	Campos, 2016 (dissertação)
Mamute	MG	-42.4772	-20.6856	CA	SE	CA	Campos, 2016 (dissertação)
Tótem Deitado	MG	-42.4739	-20.7022	CA	SE	CA	Caiafa e Silva, 2005; Campos, 2016 (dissertação)
Pico da Bandeira	MG-ES	-41.7956	-20.4344	CA	SE	CA	Campos, 2016 (dissertação)
Pico do Calçado	MG-ES	-41.7833	-20.4333	CA	SE	CA	Campos, 2016 (dissertação)
Pico do Cristal	MG	-41.8117	-20.4436	CA	SE	CA	Campos, 2016 (dissertação)
Cachoeira da Fumaça	BA	-41.4500	-12.5833	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Gerais da Fumaça	BA	-41.4667	-12.6000	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Guiné	BA	-41.5000	-12.7500	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Morro da Mãe Inácia	BA	-41.4667	-12.4500	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Pico das Almas 1	BA	-41.8778	-13.5331	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Pico das Almas 2	BA	-41.9425	-13.5172	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Pico das Almas 3	BA	-41.9469	-13.5208	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Pico das Almas 4	BA	-41.9728	-13.5117	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2005
Morro do Pai Inácio - Platô Cruz	BA	-41.4667	-12.4500	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2007
Morro do Pai Inácio - Platô Dois	BA	-41.4667	-12.4500	CRQ	NE	CRQ_NE	Conceição et al., 2007
Parque das Pedras 2	PB	-36.0656	-7.0872	IN	NE	IN_NE	Costa et al., 2015
Pedra dos Pontões 1	ES	-41.5439	-20.9389	IN	SE	IN_SE	Couto et al., 2017
Pedra dos Pontões 2	ES	-41.5486	-20.9425	IN	SE	IN_SE	Couto et al., 2017
Pedra dos Pontões 3	ES	-41.5550	-20.9378	IN	SE	IN_SE	Couto et al., 2017
Alto Misterioso	ES	-40.7720	-19.8029	CA	SE	CA	Esgario et al., 2009
Fazenda Jiboia	BA	-39.0608	-12.2717	IN	NE	IN_NE	França et al., 2005

Morro do Agenor	BA	-39.7728	-12.7114	IN	NE	IN_NE	França et al., 2006
Calais	MG	-43.5022	-20.4102	CRQ	SE	CRQ_SE	Gastauer et al., 2012
Lagoa Seca 1	MG	-43.4912	-20.4327	CRQ	SE	CRQ_SE	Gastauer et al., 2012
Pedra Antônio Bezerra	PE	-35.8333	-8.3333	IN	NE	IN_NE	Gomes e Alves, 2009
Pedra Cabeça de Velho	PE	-36.0103	-8.3914	IN	NE	IN_NE	Gomes e Alves, 2010
Pedra da Guariba	PE	-35.8439	-8.3819	IN	NE	IN_NE	Gomes e Alves, 2010
Lajedo do Uruçu	PE	-35.8409	-8.7966	IN	NE	IN_NE	Gomes e Sobral-Leite, 2013
Pedra do Trevo	PE	-35.7203	-8.6870	IN	NE	IN_NE	Gomes e Sobral-Leite, 2013
Pedra Furada	PE	-36.8792	-8.5750	IN	NE	IN_NE	Gomes et al., 2011
Serra da Moeda (QF2)	MG	-43.9378	-20.4350	CRF	SE	CRF_SE	Jacobi et al., 2007
Serra do Curral (QF1)	MG	-44.0094	-20.0592	CRF	SE	CRF_SE	Jacobi et al., 2007
Serra do Rola Moça	MG	-44.0333	-20.0667	CRF	SE	CRF_SE	Jacobi et al., 2008
Lagoa Seca 2	MG	-43.4639	-20.4256	CRQ	SE	CRQ_SE	Lemes, 2009 (dissertação)
Ouro Branco	MG	-43.6831	-20.4872	CRQ	SE	CRQ_SE	Lemes, 2009 (dissertação)
Fazenda Almas	PB	-36.8975	-7.4708	IN	NE	IN_NE	Lima e Barbosa, 2014
Espinho Branco	PB	-37.2998	-7.0621	IN	NE	IN_NE	Lucena et al., 2015
Cariri	PB	-36.1667	-7.2029	IN	NE	IN_NE	Machado Filho, 2012
Monte Verde	MG	-46.0333	-22.8833	CA	SE	CA	Meireles et al., 2014
Araras	RJ	-43.2333	-22.4167	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Imbuí	RJ	-43.1167	-22.9333	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Itacoatiara	RJ	-43.0167	-22.9667	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Itanhangá	RJ	-43.3167	-22.9833	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Macumba	RJ	-43.4833	-23.0333	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Madalena	RJ	-42.0167	-21.9333	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Santana	RJ	-41.7068	-22.4134	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999
Urca	RJ	-43.1642	-22.9506	IN	SE	IN_SE	Meirelles et al., 1999

Serra de Antônio Pereira 1	MG	-43.5000	-20.1667	CRF	SE	CRF_SE	Messias et al., 2011
Serra de Antonio Pereira 2	MG	-43.4167	-20.2167	CRQ	SE	CRQ_SE	Messias et al., 2011
Serra da Farinha Seca	PR	-48.9281	-25.3791	CA	S	CA	Mocochinski e Sheer, 2008
Serra da Igreja	PR	-48.8591	-25.6263	CA	S	CA	Mocochinski e Sheer, 2008
Serra da Pedra Branca do Araraquara	PR	-48.8636	-25.9333	CA	S	CA	Mocochinski e Sheer, 2008
Serra do Ibitiraquire	PR	-48.8259	-25.2603	CA	S	CA	Mocochinski e Sheer, 2008
Torre da Prata	PR	-48.6800	-25.6236	CA	S	CA	Mocochinski e Sheer, 2008
Mina de Brucutu	MG	-43.4364	-19.8856	CRF	SE	CRF_SE	Mourão e Stehmann, 2007
Serra do Sincorá	BA	-41.3914	-12.5867	CRQ	NE	CRQ_NE	Neves e Conceição, 2007
Carajás (Serra Sul)	PA	-50.3582	-6.4101	CRF	N	CRF_NCO	Nunes et al., 2015
Morro do Forno	SP	-47.3217	-21.0378	CRQ	SE	CRQ_SE	Oliveira e Godoy, 2007
Serra do Cipó 1	MG	-43.5167	-19.2500	CRQ	SE	CRQ_SE	Pena, 2009 (dissertação)
Serra do Cipó 2	MG	-43.5500	-19.2833	CRQ	SE	CRQ_SE	Pena, 2009 (dissertação)
Serra do Cipó 3	MG	-43.6000	-19.3000	CRQ	SE	CRQ_SE	Pena, 2009 (dissertação)
Serra do Cipó 4	MG	-43.6000	-19.3000	CRQ	SE	CRQ_SE	Pena, 2009 (dissertação)
Chapada do Canga	MG	-43.4291	-20.1598	CRF	SE	CRF_SE	Pereira, 2010 (dissertação)
Serra do Condado	MG	-43.3853	-18.5342	CRF	SE	CRF_SE	Pifano et al., 2010
Águia Branca	ES	-40.7075	-18.9739	IN	SE	IN_SE	Pinto Junior, 2017 (dissertação)
Forno Grande	ES	-41.0907	-20.5110	IN	SE	IN_SE	Pinto Junior, 2017 (dissertação)
Pedra de Pontões	ES	-41.5439	-20.9383	IN	SE	IN_SE	Pinto Junior, 2017 (dissertação)
Pedra do Elefante	ES	-40.4567	-18.7687	IN	SE	IN_SE	Pinto Junior, 2017 (dissertação)
Pedra do Veadinho	ES	-40.5535	-18.6495	IN	SE	IN_SE	Pinto Junior, 2017 (dissertação)
Serra do Ambrósio	MG	-43.0333	-18.1167	CRQ	SE	CRQ_SE	Pirani et al., 1994
Fazenda Santa Helena	PB	-35.6398	-6.8289	IN	NE	IN_NE	Pitrez, 2006
Lagoa de Pedra	PB	-35.8836	-7.0181	IN	NE	IN_NE	Pitrez, 2006
Parque das Pedras 1	PB	-36.0167	-7.0000	IN	NE	IN_NE	Pitrez, 2006

Pedra de Santo Antônio	PB	-35.7959	-7.3440	IN	NE	IN_NE	Pitrez, 2006
Fazenda Timbaúba	PB	-35.8806	-7.0169	IN	NE	IN_NE	Porto et al., 2008
Serra da Jiboia	BA	-39.4667	-12.8500	IN	NE	IN_NE	Queiroz et al., 1996
Serra da Pedra Branca	MG	-46.3833	-21.9333	CA	SE	CA	Rezende et al., 2013
Itatiaia	RJ	-44.6667	-22.3500	CA	SE	CA	Ribeiro et al., 2007
Pão de Açúcar	RJ	-43.1500	-22.9333	IN	SE	IN_SE	Safford e Martinelli, 2000
Morro da Gamela	ES	-40.3017	-20.2989	IN	SE	IN_SE	Santos et al., 2010
Carajás (Serra Norte)	PA	-50.2333	-6.2333	CRF	N	CRF_NCO	Silva et al., 1996
Capanema	MG	-43.6031	-20.1893	CRQ	SE	CRQ_SE	Silva, 2013 (dissertação)
Banda alta	MS	-57.5667	-19.1333	CRF	CO	CRF_NCO	Takahasi, 2010 (tese); Takahasi e Meireles, 2014
Carandá	MS	-57.5167	-19.1000	CRF	CO	CRF_NCO	Takahasi, 2010 (tese); Takahasi e Meireles, 2014
Monjolinho	MS	-57.5167	-19.2667	CRF	CO	CRF_NCO	Takahasi, 2010 (tese); Takahasi e Meireles, 2014
Pedra do Pato	MG	-42.4676	-20.7432	CA	SE	CA	Tinti et al., 2015
Puxinanã	PB	-35.9754	-7.1506	IN	NE	IN_NE	Tölke et al., 2011
Serra da Calçada	MG	-43.9836	-20.0931	CRF	SE	CRF_SE	Viana e Lombardi, 2007

## Referências:

Araújo, F.S., Oliveira, R.F. e Lima-Verde, L.W. 2008. Composição, espectro biológico e síndromes de dispersão da vegetação de um inselbergue no domínio da Caatinga, Ceará. - *Rodriguésia* 59: 659-671.

Ataíde, E.S. Zoneamento florístico em campo ferruginoso em uma área no sul-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

Ataíde, E.S., Castro, P.T.A. e Fernandes, G.W. 2011. Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no complexo minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. - *Revista Árvore* 35: 1265-1275.

Borges, R.A.X., Carneiro, M.A.A. e Viana, P.L. 2011. Altitudinal distribution and species richness of herbaceous plants in campos rupestres of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. - *Rodriguésia* 62: 139:152.

Caiafa, A.N. e da Silva, A.F. 2005. Composição florística e espectro biológico de um campo de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais - Brasil. - *Rodriguésia* 56: 163-173.

Campos, P.V. 2016. Interação solo-altitude-vegetação em campos de altitude no sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Conceição, A.A., Rapini, A., Pirani, J.R.; Giulietti, A.M., Harley, R.M., Silva, T.R.S., Santos, A.K.A., Correia, C., Andrade, I.M., Costa, J.A.S., Souza, L.R.S., Andrade, M.J.G., Funch, R.R., Freitas, T.A., Freitas, A.M.M. e Oliveira, A.A. 2005. Campos Rupestres; pp. 154-180, in.: Juncá, F.A., Funch, L e Rocha, W. Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

Conceição, A.A., Giulietti, A.M. e Meirelles, S.T. 2007. Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. - *Acta bot. bras.* 21: 335-347.

Costa, E.C.S., Lopes, S.F. e Melo, J.I.M. 2015. Floristic similarity and dispersal syndromes in a rocky outcrop in semi-arid Northeastern Brazil. - *Revista de Biologia Tropical* 63: 827-843,

Couto, D.R., Francisco, T.M., Manhães, V.C., Dias, H.M. e Pereira, M.C.A. 2017. Floristic composition of a Neotropical inselberg from Espírito Santo state, Brazil: an important area for conservation. - *Check List* 13: 2043.

Esgario, C.P., Fontana, A.P. e Silva, A.G. 2009. 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: 80-91.

França, F., Melo, E., Santos, A.K.A., Melo, J.G.A.N., Marques, M., Silva-Filho, M.F.B., Moraes, L. e Machado, C. 2005. Estudos ecológico e florístico em ilhas de vegetação de um inselberg no semi-árido da Bahia, Brasil. - *Hoehnea* 32: 93-101.

França, F., Melo, E. e Gonçalves, J.M. 2006. Aspectos da diversidade da vegetação no topo de um inselbergue no semiárido da Bahia, Brasil. - *Sitientibus Série Ciências Biológicas* 6: 30-35.

Gastauer, M., Messias, M.C.T.B. e Meira Neto, J.A.A. 2012. Floristic Composition, Species Richness and Diversity of Campo Rupestre Vegetation from the Itacolomi State Park, Minas Gerais, Brazil. - *Environment and Natural Resources Research* 2: 115-128.

Gomes, P. e Alves, M. 2009. Floristic and vegetational aspects of an inselberg in the semi-arid region of northeast Brazil. - *Edinburgh Journal of Botany* 66: 329-346.

Gomes, P. e Alves, M. 2010. Floristic diversity of two crystalline rocky outcrops in the Brazilian northeast semi-arid region. - *Revista Brasil. Bot.*, 33: 661-676.

Gomes, P. e Sobral-Leite, M. 2013. Crystalline rock outcrops in the Atlantic Forest of northeastern Brazil: vascular flora, biological spectrum, and invasive species. - *Braz. J. Bot.* 36: 111-123.

Gomes, P., Costa, K.C.C., Rodal, M.J.N. e Alves, M. 2011. Checklist of Angiosperms from the Pedra Furada Municipal Park, northeastern Brazil. - *Check List* 7: 173-181.

Jacobi, C.M., Carmo, F.F., Vincent, R.C. e Stehmann, J.R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. - *Biodivers. Conserv.* 16: 2185-2200.

Jacobi, C.M., Carmo, F.F. e Vincent, R.C. 2008. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. - *R. Árvore* 32: 345-353.

Lemes, F.O.A. 2009. Relações florísticas, fitossociológicas e aspectos edáficos de comunidades de campos rupestres da Serra do Itacolomi e Serra de Ouro Branco, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

Lima, I.B. e Barbosa, M.R.V. 2014. Composição florística da RPPN Fazenda Almas, no Cariri paraibano, Paraíba, Brasil. - *Revista Nordestina de Biologia* 23: 49-67.

Lucena, D.S., Lucena, M.F.A.; Sousa, J.M., Silva, R.F.L. e Souza, P.F. 2015. Flora vascular de um inselbergue na mesorregião do sertão paraibano, nordeste do Brasil. - *Scientia Plena* 11: 011202.

Machado Filho, H.O. 2012. Estudo florístico de um ambiente rochoso da área de proteção ambiental (APA) do Cariri, Paraíba: riqueza, similaridade e fitogeografia. Dissertação (Mestrado), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Meireles, L.D., Kinoshita, L.S. e Shepherd, G.J. 2014. Composição florística da vegetação altimontana do distrito de Monte Verde (Camanducaia, MG), Serra da Mantiqueira Meridional, Sudeste do Brasil. - *Rodriguésia* 65: 831-859.

Meirelles, S.T., Pivello, V.R. e Joly, C.A. 1999. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. - *Environmental Conservation* 26: 10-20.

Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A. e Kozovits, A.R. 2011. Life-form spectra of quartzite and itabirite rocky outcrop sites, Minas Gerais, Brazil. - *Biota Neotrop.* 11: 255-268.

Mocochinski, A.Y. e Sheer, M.B. 2008. Campos de altitude na Serra do Mar Paranaense: aspectos florísticos. - *Floresta* 38: 625-640.

Mourão, A. e Stehmann, J.R. 2007. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. - *Rodriguésia* 58: 775-786.

Neves, S.P.S. e Conceição, A.A. 2007. Vegetação em afloramentos rochosos na Serra do Sincorá, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. - *Sitientibus Série Ciências Biológicas* 7: 36-45.

Nunes, J.A., Schaefer, C.E.G.R., Ferreira Júnior, W.G., Neri, A.V., Correa, G.R. e Enright, N.J. 2015. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. - *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87: 2097-2110.

Oliveira, R.B. e Godoy, S.A.P. Composição florística dos afloramentos rochosos do Morro do Forno, Altinópolis, São Paulo. - *Biota Neotropica* 7: 37-48.

Pena, M.A. 2009. Florística de afloramentos rochosos na Serra do Cipó, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

Pereira, A.F.S. 2010. Florística, fitossociologia e relação solo-vegetação em campo rupestre ferruginoso do Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Pifano, D.S., Valente, A.S.M., Almeida, H.S., Melo, P.H.A., Castro, R.M., van den Berg, E. 2010. Caracterização florística e fitofisionômica da Serra do Condado, Minas Gerais, Brasil. *Biota Neotrop.* 10: 55-71.

Pinto Junior, H.V. 2017. Estrutura, diversidade e discriminação de comunidades vegetais em inselbergs do Espírito Santo, Brasil. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.

Pirani, J.R., Giulietti, A.M., Mello-Silva, R. e Meguro, M. 1994. Checklist and patterns of geographic distribution of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. - *Revta brasil. Bot.* 17: 133-147.

Pitrez, S.R. 2006. Florística, fitossociologia e citogenética de angiospermas ocorrentes em inselbergues. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil.

Porto, P.A.F., Almeida, A., Pessoa, W.J., Trovão, D. e Felix, L.P. 2008. Composição florística de um inselbergue no agreste paraibano, município de Esperança, nordeste do Brasil. - *Revista Caatinga* 21: 214-

Queiroz, L.P., Sena, T.S.N. e Costa, M.J.S.L. 1996. Flora vascular da Serra da Jiboia, Santa Terezinha - Bahia. I: O Campo Rupestre. - *Sitientibus* 15: 27-40.

Rezende, M.G., Elias, R.C.L., Salimena, F.R.G e Neto, L.M. 2013. Flora vascular da Serra da Pedra Branca, Caldas, Minas Gerais e relações florísticas com áreas de altitude da Região Sudeste do Brasil. - *Biota Neotropica* 13: 201-224.

Ribeiro, K.T., Medina, B.M.O. e Scarano, F.R. 2007. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil. - *Revista Brasil. Bot.* 30: 623-639.

Safford, H.D. e Martinelli, G. 2000. Southeast Brazil, pp. 339-389, in.: Porembski, S. e Barthlott, W. *Inselbergs - Biotic Diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Heidelberg: Ecological Studies, Springer-Verlag.

Santos, L.G.R., Griffo, C.L.S. e Silva, A.G. 2010. Estrutura da vegetação arbustivo-herbácea de um afloramento rochoso da ilha de Vitória, Espírito Santo, sudeste do Brasil. - *Natureza on line* 8: 14-23.

Silva, M.F.F., Secco, R.S. e Lobo, M.G.A. 1996. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás, estado do Pará, Brasil. - *Acta Amazonica* 26: 17-44.

Silva, W.A. 2013. Gradiente vegetacional e pedológico em Complexo Rupestre de Quartzito no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Takahasi, A. 2010. Ecologia da vegetação em bancadas lateríticas em Corumbá, MS. Tese de Doutorado em Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Takahasi, A. e Meirelles, S.T. 2014. Ecologia da vegetação herbácea de bancadas lateríticas (cangas) em Corumbá, MS, Brasil. - *Hoehnea* 41: 515-528.

Tinti, B.V., Schaefer, C.E.G.R., Nunes, J.A., Rodrigues, A.C., Fialho, I.F. e Neri, A.V. 2015. Plant diversity on granite/gneiss rock outcrop at Pedra do Pato, Serra do Brigadeiro State Park, Brazil. - *Check List* 11: 1780.

Tölke, E.E.A.D., Silva, J.B., Pereira, A.R.L. e Melo, J.I.M. 2011. Flora vascular de um inselbergue no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. - *Biotemas* 24: 39-48.

Viana, P.L. e Lombardi, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. - *Rodriguésia* 58: 159-177.

## Anexo S2

Análise de similaridade (ANOSIM) considerando os mesmos grupos destacados no NMDS, considerando os tipos de vegetação, separados também por região. IN = inselbergues; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste. \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001.

	CA	CRF _NCO	CRF_SE	CRQ_NE	CRQ_SE	IN_NE	IN_SE
CA	0	0.250*	0.376***	0.350***	0.255***	0.107*	0.450***
CRF _NCO	0.250*	0	0.816***	0.695***	0.649***	0.357**	0.741***
CRF_SE	0.376***	0.816***	0	0.807***	0.612***	0.356***	0.421***
CRQ_NE	0.350***	0.695***	0.807***	0	0.558***	0.223**	0.732***
CRQ_SE	0.255***	0.649***	0.612***	0.558***	0	0.369***	0.532***
IN_NE	0.107*	0.357**	0.356***	0.223**	0.369***	0	0.405***
IN_SE	0.450***	0.741***	0.421***	0.732***	0.532***	0.405***	0

### Anexo S3

Valores de F (ANOVA dos modelos glm) comparando os índices de estrutura filogenética entre os grupos avaliados. Grupos por região constituem as comunidades agrupadas de acordo com a região de ocorrência (norte, nordeste, sul, sudeste e centro-oeste); vegetação compõem as comunidades segundo o tipos de vegetação (campos rupestres ferruginosos e quartzíticos, inselbergues e campos de altitude); vegetação-região corresponde aos tipos de vegetação subdivididos segundo sua região de ocorrência. Asteriscos indicam a presença e o grau de significância de diferenças dentro de cada grupo. \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ .

índices	Grupos		
	Região	Vegetação	Vegetação - região
NRI	3.80 **	13.39 ***	6.85 ***
NTI	4.15 **	10.28 ***	8.36 ***
MPD	2.31	11.99 ***	8.55 ***
MNTD	0.41	8.79 ***	13.44 ***
PD	4.86 **	6.49 ***	10.37 ***
sesPD	5.74 ***	15.37 ***	12.90 ***

## Anexo S4

Comparações par-a-par dos índices de estrutura filogenética entre diferentes tipos de vegetação, região e vegetação por região. Os números representam os valores de z dos testes de Tukey. IN = inselbergues; CA = campos de altitude; CRQ = campos rupestres quartzíticos; CRF = campos rupestres ferruginosos; N = norte; S = sul; SE = sudeste; NE = nordeste; CO = centro-oeste; NCO = norte e centro-oeste. Asteriscos representam diferenças significativas: \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001.

Grupos	NRI	NTI	PD	MPD	MNTD	sesPD
Vegetação:						
CRF-CA	-2.85*	0.775	1.334	2.932*	-1.578	0.67
CRQ-CA	0.783	2.788*	-2.438	-0.59	-0.707	-2.372
IN-CA	-3.332**	-1.321	-1.003	3.344**	2.463	2.643*
CRQ-CRF	4.319	1.895	-4.159***	-4.14***	1.224	-3.252**
IN-CRF	-0.028***	-2.266	-2.621*	-0.087	4.383***	1.905
IN-CRQ	-5.566***	-5.45***	1.873	5.193***	4.282***	6.707***
Região:						
N-CO	-0.938	-1.264	0.454	0.46	0.324	1.865
NE-CO	-0.478	-0.353	-0.622	0.282	0.725	0.735
S-CO	2.005	0.458	-0.568	-1.3	-0.135	-0.696
SE-CO	0.145	0.898	-1.941	-0.589	0.633	-0.667
NE-N	0.777	1.29	-1.084	-0.342	0.196	-1.724
S-N	2.774*	1.779	-0.98	-1.637	-0.472	-2.642
SE-N	1.312	2.349	-2.174	-1.07	0.108	-2.925*
S-NE	3.639**	1.137	-0.108	-2.318	-1.115	-1.977
SE-NE	1.721	3.481**	-3.589**	-2.349	-0.309	-3.93***
SE-S	-2.973*	0.42	-1.382	1.296	1.021	0.25

	<b>NRI</b>	<b>NTI</b>	<b>PD</b>	<b>MPD</b>	<b>MNTD</b>	<b>sesPD</b>
Vegetação-região:						
CRF_NCO-CA	-1.499	-1.109	1.535	1.747	-0.462	1.86
CRF_SE-CA	-2.571	1.677	1.099	2.998*	-2.126	-0.1
CRQ_NE-CA	-1.648	-0.036	-1.197	1.796	1.353	1.09
CRQ_SE-CA	1.463	3.695**	-3.03*	-1.616	-1.561	-3.646**
IN_NE-CA	-2.166	-1.323	1.539	2.902	-0.047	2.416
IN_SE-CA	-2.982*	-1.097	-4.033**	3.27*	5.565***	2.62
CRF_SE-CRF_NCO	-0.433	2.271	-0.661	0.533	-1.08	-1.862
CRQ_NE-CRF_NCO	0.217	1.028	-2.35	-0.309	1.422	-0.975
CRQ_SE-CRF_NCO	2.597	3.514**	-3.61**	-2.923	-0.483	-4.289***
IN_NE-CRF_NCO	0.053	0.249	-0.534	0.178	0.442	-0.285
IN_SE-CRF_NCO	-0.633	0.353	-4.376***	0.532	4.302***	-0.052
CRQ_NE-CRF_SE	0.832	-1.568	-2.137	-1.046	3.215	1.115
CRQ_SE-CRF_SE	4.347***	1.401	-3.971**	-4.797***	1.038	-3.169*
IN_NE-CRF_SE	0.703	-2.969*	0.238	-0.53	2.18	2.324
IN_SE-CRF_SE	-0.25	-2.692	-4.814***	-0.038	7.278***	2.526
CRQ_SE-CRQ_NE	3.227*	3.26*	-1.318	-3.393*	-2.903	-4.42***
IN_NE-CRQ_NE	-0.242	-1.145	2.666	0.666	-1.454	1.021
IN_SE-CRQ_NE	-1.119	-0.954	-2.488	1.097	3.67**	1.275
IN_NE-CRQ_SE	-4.255***	-5.583***	5.236***	5.151***	1.626	6.851***
IN_SE-CRQ_SE	-5.001***	-4.991***	-1.744	5.399***	8.136***	6.742***
IN_SE-IN_NE	-1.034	0.167	-5.888***	0.548	5.913***	0.345

## Anexo S5

Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas. AMT = temperatura média anual (BIO1); AP = precipitação anual (BIO12); TS = sazonalidade de temperatura (BIO4); PS = sazonalidade de precipitação (BIO15); TMAX = temperatura máxima (BIO5).

	AMT	TMAX	PS	AP
TMAX	0.9	-	-	-
PS	-0.1	0	-	-
AP	-0.6	-0.4	0.1	-
TS	-0.5	-0.2	0	0.6