

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

DANIEL NUNES DA SILVA JÚNIOR

**REFERÊNCIAS DE NUTRIENTES EM SOLOS E EM ESPÉCIES VEGETAIS
NATIVAS DE CAMPOS RUPESTRES**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

DANIEL NUNES DA SILVA JÚNIOR

**REFERÊNCIAS DE NUTRIENTES EM SOLOS E EM ESPÉCIES VEGETAIS
NATIVAS DE CAMPOS RUPESTRES**

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

Orientador: Igor Rodrigues de Assis

Coorientadores:

Luiz Eduardo Dias
Eduardo Gusmão Pereira
Leonardüs Vergütz

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586r
2020

Silva Júnior, Daniel Nunes da, 1995-

Referências de nutrientes em solos e em espécies vegetais
nativas de campos rupestres / Daniel Nunes da Silva Júnior. –
Viçosa, MG, 2020.

38 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Igor Rodrigues de Assis.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.33-38.

1. Plantas e solo. 2. Nutrição de plantas. 3. Ecologia
vegetal. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.42

DANIEL NUNES DA SILVA JÚNIOR

**REFERÊNCIAS DE NUTRIENTES EM SOLOS E EM ESPÉCIES VEGETAIS
NATIVAS DE CAMPOS RUPESTRES**

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

APROVADA: 17 de fevereiro de 2020

Assentimento:

Daniel Nunes da Silva Júnior
Autor

Igor Rodrigues de Assis
Orientador

*“Você é forte
Dentes e músculos
Peitos e lábios
Você é forte
Letras e músicas
Todas as músicas
Que ainda hei de ouvir”*

À minha avó Fabiana

Dedico

*Aos meus queridos professores e amigos,
Ermelinda Maria e Gualter Guenther.*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço a infinitude que me trouxe até aqui, e que me trouxe também pessoas, lugares, oportunidades e coisas quase irreais, porém felizmente reais, a quem agradeço:

À Universidade Federal de Viçosa, por meio da qual exalto e expresso minha admiração e respeito absolutos pelas instituições públicas de ensino superior. Que sejam sempre de qualidade, públicas, gratuitas, laicas, socialmente referenciadas. Fonte de supressão ao obscurantismo, de oportunidades, de igualdades.

Ao meu orientador, prof. Igor Rodrigues de Assis, pelos ensinamentos, oportunidades. Expresso minha admiração à sua competência e responsabilidade profissionais.

Ao professor Raphael Fernandes, a quem especialmente agradeço pela sempre agradável convivência e ensinamentos durante o mestrado, e por meio do qual cumprimento e agradeço aos professores, técnicos e servidores do Departamento de Solos.

Às minhas companheiras e companheiros de campo e laboratório, especialmente do Laboratório de Recuperação Ambiental: Amanda Abreu, Bruno Henriques, Fernanda Valente, Fernanda Zeidan, Gabriel Carvalho, Gabriel Lima, Maísa Alves, Maria Bevilacqua, Matheus Fernandes.

À Ellen Rachel, pela sua presença nos bons e maus momentos. Obrigado por sempre me ouvir, e pela confiança em me falar. Apesar dos 2299,5 km, sua “presença” foi fundamental durante todo esse processo.

Agradeço imensamente aos meus companheiros de disciplinas, de cafezinhos, de conversas, da labuta: David Lukas, Maria Cardoso e Maurício Leite. Agradeço por sempre me ouvirem, aconselharem, pela sempre muito boa companhia nas tardes de estudo, nos laboratórios, nos momentos de escrita, nos momentos de descontração.

Agradeço a todas e todos demais colegas pós-graduandas e pós-graduandos e cumprimento-os pela bravura e coragem e pelo trabalho fundamental que executamos.

Aos meus amigos, Raphael Rivadávia (Riva) e Nathan Rodrigues. Vocês são simplesmente a melhor família que eu poderia ter em Viçosa. Obrigado! Juntamente com Júlia Fitaroni, Luiz Flávio, Marco Aurélio, Rodrigo Mattos formamos a melhor

Comunidade Científica Interdisciplinar de Viçosa (risos). Gratidão eterna a vocês por deixarem tudo com uma leveza irreal!

Agradeço “ao povo brasileiro. Norte, Centro, Sul inteiro, onde reinou o baião”.
Ao povo que me possibilitou chegar até aqui. Espero ao longo da vida retribuir!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Obrigado!

*Amanhã quando vier o temporal
Vai nos livrar de todo mal
E de toda vida toda, toda, toda*

*Arrastados pelas ondas no curral
Teremos litoral
E vamos dormir de toca, toda noite*

*Já sereios radioativos
Vamos reinar
E organizar o mar
E o que sobrar da vida toda, toda, toda*

*Toda criatura que não der para salvar
Tudo que alguém lembrar
Vamos botar numa cantiga
"Viva a vida"*

*Todo som e cor e cheiro e gosto
E todo ser que desaparecer
Amanhã*

RESUMO

SILVA JÚNIOR, Daniel Nunes da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Referências de nutrientes em solos e em espécies vegetais nativas de campos rupestres.** Orientador: Igor Rodrigues de Assis. Coorientadores: Luiz Eduardo Dias, Eduardo Gusmão Pereira e Leonardüs Vergütz.

Campos Rupestres (CRs) são ecossistemas que ocorrem sobre afloramentos rochosos ferruginosos e quartzíticos. São ecossistemas que recobrem aproximadamente 1 % do território brasileiro, principalmente concentrado nos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul. Os CRs são ecossistemas marcados pelo elevado grau de endemismo, notadamente florístico. Apresentam solos rasos, com baixos teores de nutrientes, presença de metais pesados em teores elevados, alta intensidade solar, déficit hídrico, baixa produção de biomassa dentre outras características. No Quadrilátero Ferrífero, os CRs recobrem importante reserva de minério de ferro de importância econômica mundial e, por esta razão, são ecossistemas imediatamente ameaçados pela expansão da atividade minerária, contudo, um dos menos estudados do estado de Minas Gerais. Os objetivos deste trabalho foram contribuir com o conhecimento dos solos e da flora de campos rupestres por meio do estabelecimento de valores de referências para nutrientes em solos e em espécies vegetais de campos rupestres em diferentes litologias. Foram selecionadas duas áreas de campos rupestres em diferentes litologias: campo rupestre em afloramento ferruginoso (CRF) e campo rupestre em afloramento quartzítico (CRQ). Em cada ambiente, foram amostrados seis indivíduos de dez espécies, sendo cinco espécies amostradas apenas no CRF, cinco espécies amostradas apenas no CRQ e cinco espécies amostradas nos dois ambientes. Para cada indivíduo amostrado, foi coletada uma amostra de solo, na projeção da copa da planta, até a profundidade de 5 cm. As plantas amostradas foram separadas em folhas, galhos, raízes ou parte aérea e raízes, em função das suas características morfológicas. Em seguida, as amostras de plantas foram lavadas, secas, processadas e submetidas a digestão nitro-perclórica. As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em malha de 2 mm e submetidas a extração de nutrientes com solução de água régia. Nos extratos das amostras de planta e solo foram dosados os teores de P, S, K, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Mn, Cu e B por espectrometria de emissão óptica em

plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). As médias para os teores de nutrientes nas folhas, nos galhos, na parte aérea e nas raízes das plantas e no solo foram comparados por meio do teste de Scott-Knott ($P < 0,05$); ainda, os dados foram submetidos a análise de componentes principais e de agrupamento (*cluster*). Os resultados mostraram diferenças significativas entre os teores dos nutrientes analisados no solo do CRF e no solo do CRQ. O solo do campo rupestre ferruginoso apresentou teores mais elevados para todos os nutrientes analisados, exceto para S. Semelhantemente, diferenças significativas foram observadas para os teores de nutrientes entre o grupo de espécies amostradas no CRF e no CRQ, e mesmo entre as espécies amostradas na mesma área. As dissimilaridades para os teores de nutrientes entre as plantas amostradas nos diferentes ambientes e entre as diferentes espécies amostradas no mesmo ambiente refletem, respectivamente, as diferenças entre as composições e natureza do material de origem dos campos rupestres de diferentes litologias e a variabilidade observadas para uma mesma área de campo rupestre. Os resultados indicam ainda a necessidade de estudos mais aprofundados a respeito das semelhanças e dessemelhanças entre campos rupestres em diferentes litologias, que fundamentem estratégias de preservação conciliem as demandas minerárias com a necessidade de contemplar as variabilidades características dos campos rupestres.

Palavras-chave: Relação solo-planta. Vegetação campestre. Nutrição de plantas nativas. Ecologia vegetal.

ABSTRACT

SILVA JÚNIOR, Daniel Nunes da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2020. **References of nutrients in soils and plant species native to rupestrian fields.** Adviser: Igor Rodrigues de Assis; Co-advisers: Luiz Eduardo Dias, Eduardo Pereira Gusmão and Leonardüs Vergütz.

Campos Rupestres (CRs) are ecosystems that occur on ferruginous and quartzitic rocky outcrops. They are ecosystems that cover approximately 1% of the Brazilian territory, mainly concentrated in the states of Minas Gerais, Pará and Mato Grosso do Sul. CRs are ecosystems marked by a high degree of endemism, notably floristic. Present shallow soils, low levels of nutrients, presence of heavy metals at high levels, high solar intensity, water deficit, low biomass production, among other characteristics. In the Quadrilátero Ferrífero, the CRs cover an important reserve of iron ore of global economic importance and, for this reason, they are ecosystems immediately threatened by the expansion of mining activity, however, one of the least studied in the state of Minas Gerais. The objectives of this work were to contribute to the knowledge of the soils and flora of rupestrian fields through the establishment of reference values for nutrients in soils and in vegetal species of rupestrian fields in different lithologies. Two areas of rock fields in different lithologies were selected: rock field in ferruginous outcrop (CRF) and rock field in quartzitic outcrop (CRQ). In each environment, six, ten species were sampled, five species sampled only in the CRF, five species sampled only in the CRQ and five species sampled in both environments. For each individual sampled, a soil sample was collected, in the projection of the plant's crown, up to a depth of 5 cm. The sampled plants were separated into leaves, branches, roots or aerial part and roots, depending on their morphological characteristics. Then, how the plants were washed, dried, processed and submitted to nitro-perchloric digestion. The soil samples were air-dried, passed through a 2 mm mesh and subjected to nutrient extraction with a water solution. In the extracts of the plant and soil samples, the levels of P, S, K, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Mn, Cu and B were measured by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The averages for the levels of nutrients in the leaves, branches, shoots and roots of plants and in the soil were compared using the Scott-Knott test ($P < 0.05$); furthermore, the data were submitted to principal component and cluster analysis (cluster). The results showed significant

differences between the levels of nutrients analyzed in the CRF soil and in the CRQ soil. The soil of the rupuginous rupestrian field presented higher levels for all the analyzed nutrients, except for S. Similarly, significant differences were observed for the levels of nutrients between the group of species sampled in the CRF and the CRQ, and even among the species sampled in same area. The dissimilarities for nutrient contents between the plants sampled in the different environments and between the different species sampled in the same environment reflect, respectively, the differences between the compositions and nature of the source material of the rupestrian fields of different lithologies and the variability observed for a same rock field area. The results also indicate the need for more in-depth studies regarding the similarities and dissimilarities between rupestrian fields in different lithologies, which underpin preservation strategies to reconcile mining demands with the need to contemplate the characteristic variability of rupestrian fields.

Keywords: Soil-plant relationship. Country vegetation. Nutrition of native plants. Plant ecology.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
MATERIAL E MÉTODOS	15
Local e áreas de estudo	15
Amostragem solo e planta.....	17
Preparo e análise das amostras de solo e planta.....	18
Análises estatística.....	19
RESULTADOS	19
Teores de nutrientes no solo do campo rupestre ferruginoso e no solo do campo rupestre quartzítico	19
Teores de nutrientes nas folhas, nos galhos, na parte aérea e nas raízes de espécies vegetais amostradas em campo rupestre em diferentes litologias	21
DISCUSSÃO	31
CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	33

INTRODUÇÃO GERAL

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma área de aproximadamente 7.000 km², situada na porção centro-oeste do estado de Minas Gerais (CARMO; JACOBI, 2013; JACOBI; CARMO, 2008). Abrange os municípios de Ouro Preto, Mariana, Ponte Nova, Congonhas, Nova Lima, Belo Horizonte, Caeté e Santa Bárbara (REZENDE, 2010). É uma formação que data do Pré-Crambiano; recobre uma importante reserva mineral, principalmente minério de ferro de boa qualidade e de importância econômica mundial, presente na região (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2018; NUNES, 2009; REZENDE et al., 2013; SILVA, 2007; VASCONCELOS, 2011).

Uma marcante característica do QF são as paisagens heterogêneas, conformando um mosaico fitofisionômico, influenciado por fatores abióticos, como a descontinuidade litológica e as variações topográficas e climáticas (JACOBI; CARMO, 2008). Vegetação ruícula, vegetação higrófila e capões de florestas decídua ou semi-decídua são tipos de associações de plantas observados nos CRs (VIANA et al., 2016). Ainda, o QF abriga grande diversidade de minerais (SCHAEFER et al., 2015). Alguns autores a classificam como uma província biogeoquímica, em função dos elevados teores de metais pesados comuns nos solos e na vegetação característicos em alguns ecossistemas que ocorrem no QF (Porto e Silva, 1989; Silva, 2007; Carmo e Jacobi, 2013).

Os Campos Rupestres (CRs) são um dos ecossistemas que ocorrem sobre os afloramentos rochosos do QF (ASSIS; MATTOS, 2016; PEREIRA, 2016; VASCONCELOS, 2011). Comumente, ocorrem na faixa de altitude de 800 a 2.000 m, são ambiente de alta incidência solar e baixa precipitação pluviométrica, possuem solos rasos, arenosos, teores elevados de mateias pesados, baixos teores de nutrientes e de matéria orgânica, baixa capacidade de reter e disponibilizar água às plantas (FERNANDES et al., 2014; LE STRADIC; BUISSON; FERNANDES, 2015; MESSIAS et al., 2013).

Comumente, os CRS apresentam solos pouco desenvolvidos, com Neossolos e Cambissolos predominam na região, sugerindo que os processos pedogenéticos na região é produto de processos erosivos intensos e constantes (BENITES et al., 2003; JACOBI; CARMO, 2008; VARAJÃO et al., 2009). Há variações de substratos nos CRs, formando *microhabitats* para desenvolvimento de plantas (ARAÚJO, 2015; BENITES et al., 2003; CARMO; JACOBI, 2013; JACOBI; CARMO, 2008; MESSIAS, 2011;

MUCINA, 2018; PIFANO et al., 2010). Alguns microhabitats encontrados em CRs foram descritos por Jacobi et al. (2007): superfícies de rochas lisas expostas; fendas ou cavidades temporariamente alagadas; fendas ou cavidades permanentemente alagadas; canga fragmentada; solo raso. Em síntese, as plantas se desenvolvem diretamente sobre a rocha ou em microsítios onde há condições de fixação de raízes e por vezes delgadas camadas de solo (BENITES et al., 2012).

Os CRs apresentam elevado grau de endemismo, sendo referidos na literatura como relíquia florística (CARMO; JACOBI, 2013; JACOBI et al., 2007; REZENDE et al., 2013; VIANA; LOMBARDI, 2007). Esse fato incitou o reconhecimento QF como uma região de “importância biológica extrema” (DRUMMOND et al., 2005) e sua inserção dentro da Reserva da Biosfera da Cadeia do Espinhaço pela UNESCO em 2005 (JACOBI, 2008). As características dos CRs fazem deles ambientes bastante peculiares, por exemplo, no que se refere as condições para crescimento e desenvolvimento de plantas.

Em resposta as condições peculiares, as espécies de plantas que crescem e desenvolvem em CRs podem apresentar respostas fenológicas adaptativas, como capacidade de acumular metais pesados, folhas coreáceas ou suculentas, estruturas de reservas, pilosidades e ecótiops com nanismo ou gigantismo ou ainda apresentarem padrões filogenéticos estratégicos como: (I) floração, frutificação e dispersão anuais coincidente com o período chuvoso, com brotamentos sazonais (chuva); (II) floração na estação chuvosa, com frutificação na época chuvosa e seca, e dispersão na época da seca; (III) floração na estação seca, com frutificação e dispersão na época chuvosa, e; (IV) floração no final da estação chuvosa, frutificação e dispersão na seca).

Em relação a composição florística dos CRs, os resultados encontrados por mostram que as ervas constituem a forma de crescimento mais comum entre as espécies vegetais dos CRs, seguida por arbustos (21 %), subarbustos (20 %), árvores (11 %), trepadeiras (10 %), parasitas e palmeiras (1 %). Quanto as famílias, as Poaceae somaram o maior número de indivíduos (99), seguidos por Orchidaceae (79), Cyperaceae (43), Bromeliaceae (28) e Eriocaulaceae (27).

Embora haja alguma similaridade entre as vegetações de campos rupestres sobre afloramentos ferruginosos e em afloramentos quartzícos, existe importantes diferenças entres estes ambientes, especialmente no que se refere as características

do material de origem dos solos (MESSIAS et al., 2013). Em comparação ao campo rupestre em quartzítico, o solo do campo rupestre ferruginoso apresenta maiores reservas de nutrientes em função da natureza do material de origem (BENITES et al., 2007). Essa reserva de nutrientes é importante do ponto de vista do crescimento de plantas, uma vez que serve de reserva nutricional, potencialmente disponível.

Estudos mostram que existe influência da variabilidade das características dos CRs com a distribuição da vegetação deste ambiente, mesmo em uma mesma área de CR (ATAÍDE; CASTRO; FERNANDES, 2011; BROADLEY et al., 2013; JANSEN; WATANABE; SMETS, 2002; MESSIAS et al., 2013; REEVES et al., 2007; TEIXEIRA; LEMOS FILHO, 1998).

Não obstante sua grande relevância, os CRs estão entre os ecossistemas mais ameaçados dos trópicos e menos estudados de Minas Gerais (JACOBI et al., 2008). A mineração está dentre os fatores que mais ameaçam os CRs (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2018; VASCONCELOS, 2014; YADA et al., 2015). Embora a literatura apresente vários estudos florísticos em campos rupestres, algumas lacunas ainda existem, especialmente sobre as características da vegetação campestre e suas relações com o ambiente.

Diante do exposto, e para contribuir com conhecimentos sobre os solos e a vegetação dos campos rupestres e suas relações, os objetivos deste trabalho foram estabelecer valores de referências para teores de nutrientes em solos e em espécies vegetais em campos rupestres em diferentes litologias no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e áreas de estudo

O estudo foi realizado em áreas de Campos Rupestres no Quadrilátero Ferrífero, na porção centro-oeste do Estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa; na região, predomina o clima temperado quente, com duas estações climáticas bem definidas ao longo do ano: verão úmido e inverno seco, com temperatura média de 22,5 °C e precipitação média acumulada anual de 1602,6 mm distribuída principalmente de outubro a março.

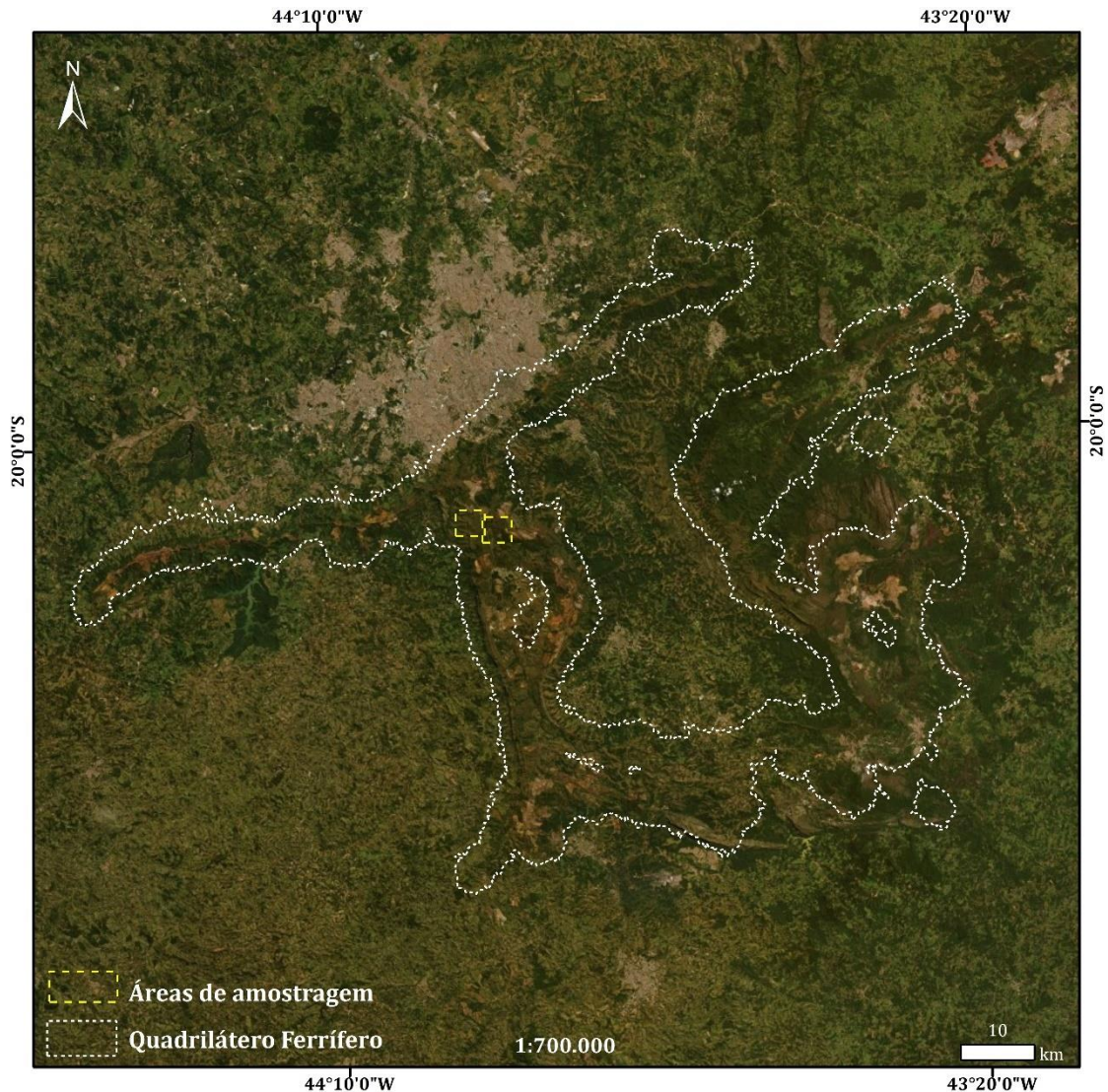


Figura 1. Localização das áreas de campo rupestre ferruginoso e campo rupestre quartzítico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.

Foram selecionados dois fragmentos de CRs em diferentes litologias: campo rupestre ferruginoso (CRF) e campo rupestre quartzítico (CRQ). Os fragmentos estão localizados na região metropolitana da cidade de Belo Horizonte, distantes entre si em aproximadamente 6 km. O CRF está localizado no município de Nova Lima às margens orientais da BR 040, com altitude média de 1282 m (altitude mínima de 1256 e altitude máxima de 1297 m); o CRQ está localizado no município de Brumadinho, na Serra da Calçada, com altitude média de 1459 m (altitude mínima de 1398 e altitude máxima de 11479 m).

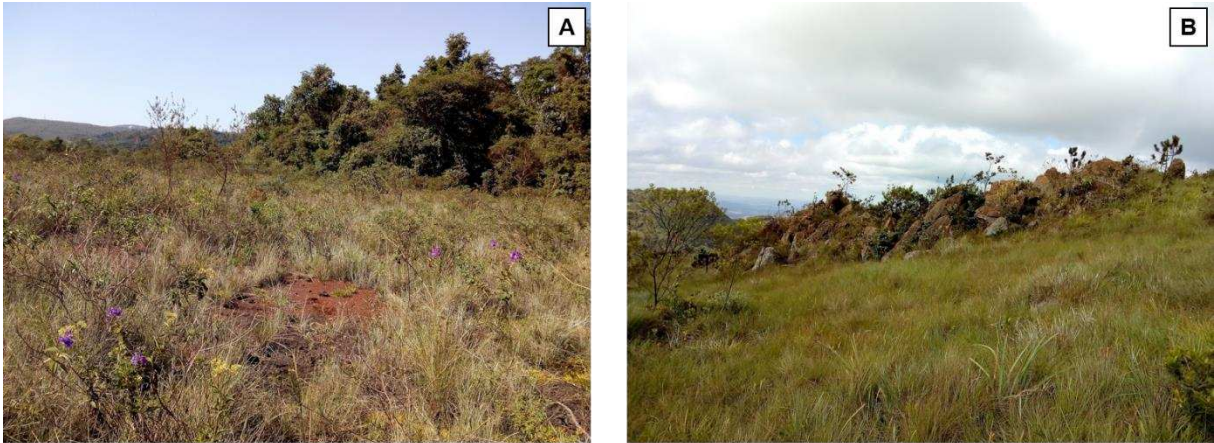


Figura 2. Campo rupestre ferruginoso (A) e campo rupestre quartzítico (B) selecionados pra amostragem de solo e planta.

Amostragem solo e planta

Foram coletadas amostras de dez espécies de plantas, com seis repetições, totalizando 60 amostras de plantas e 60 amostras simples de solo, para cada ambiente. A amostragem ocorreu no período de 21 de janeiro a 1 de fevereiro de 2019. Nos dois ambientes, foram amostrados indivíduos da comunidade vegetal pertencentes aos estratos arbóreo e arbustivo.

As espécies de plantas foram selecionadas em função dos seguintes critérios, em ordem decrescente de prioridade: i. Índice de Valor de Importância (IVI); ii. ocorrência e abundância da espécie nos ambientes no período da amostragem. Para determinar o IVI, foram delimitadas parcelas de 10 m x 10 m (100 m²). Os indivíduos vivos com diâmetro à altura do peito (DAP = 1,30 m do solo) com mais de 5 cm de diâmetro foram inventariados e coletado material para identificação. Essa atividade foi realizada pelo Grupo do Laboratório de Ecologia e Evolução da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) coordenado pelo professor Geraldo Wilson Afonso Fernandes. As cinco espécies com maior IVI identificadas nos dois ambientes foram amostradas; em seguida, para cada ambiente, foram amostradas mais cinco espécie com maior IVI ou espécies vistas com frequência na área. As espécies estudadas aparecem em importantes levantamentos florísticos disponíveis na literatura nacional e internacional (CARMO; JACOBI, 2013; MESSIAS et al., 2013; MORELLATO; SILVEIRA, 2018; MOURÃO; STEHMANN, 2007; VIANA; LOMBARDI, 2007).

Tabela 1. Espécies vegetais, ambiente de amostragem e médias da massa de matéria seca das plantas amostradas no campo rupestre ferruginoso (CRF) e no campo rupestre quartzítico (CRQ).

Espécie	Ambiente de amostragem	Matéria seca (g)
Espécies amostradas no CRF		
<i>Lychnophora pinaster</i>	CRF	258,88
<i>Mimosa aurivillus</i>	CRF	214,25
<i>Mimosa calodendron</i>	CRF	137,45
<i>Stachytarpheta glabra</i>	CRF	30,24
<i>Vellozia graminea</i>	CRF	33,14
Espécies amostradas no CRQ		
<i>Axonopus pressus</i>	CRQ	8,86
<i>Echinolaena inflexa</i>	CRQ	6,96
<i>Paepalanthus elongatus</i>	CRQ	96,92
<i>Peixotoa tomentosa</i>	CRQ	171,49
<i>Vellozia compacta</i>	CRQ	63,87
Espécies coletadas nos dois ambientes		
<i>Actinocephalus polyanthus</i>	CRF	11,86
	CRQ	13,09
<i>Cinnamomum quadrangulum</i>	CRF	55,07
	CRQ	314,26
<i>Leandra aurea</i>	CRF	41,61
	CRQ	93,18
<i>Microlicia martiana</i>	CRF	12,13
	CRQ	20,31
<i>Tibouchina heteromalla</i>	CRF	102,79

Para coleta das amostras de plantas nos dois ambientes foram padronizados aspectos como: números de folhas, estágio fenológico, plantas visualmente saudáveis, sem sintomas de deficiência nutricionais nem ataques de pragas. Após coletadas, as amostras de plantas foram colocadas em sacolas de papel, identificadas e armazenadas em câmara refrigerada a 17 °C. Amostras simples de aproximadamente 500 g de solo foram coletadas nos mesmos pontos das plantas amostradas, na profundidade de 0-5 cm; o solo aderido às raízes foi coletado e considerado como parte da amostra.

Preparo e análise das amostras de solo e planta

As plantas amostradas foram separadas em folhas, galhos, raízes ou parte aérea e raízes, em função das suas características morfológicas. As amostras foram lavadas em água corrente, mergulhadas três vezes durante aproximadamente 5 s em solução de HCl 0,01 mol L⁻¹ e então lavadas em água deionizada corrente. Em

seguida, foram pré-secas ao ar sobre papel toalha em bancada durante 2 h e, em seguida, levadas para estufa de circulação e renovação forçada de ar a 65 °C durante 72 h ou até atingir peso constante; foram pesadas para determinação da massa de matéria seca e passadas através de micro moinho de facas do tipo Willey e armazenadas em frasco de vidro. O material vegetal passou por digestão nítrico-perclórica na proporção 3:1 (volume:volume) de acordo com a metodologia descrita em EMBRAPA (2009). Nos extratos, foram determinados os teores de P, S, K, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Mn e Cu por espectrometria de emissão óptica em plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

As amostras de solo foram secas ao ar e a sombra durante 72 h e passadas através de malha de 2 mm, para obter a terra fina seca ao ar (TFSA). Foram determinados os teores de macro e micronutrientes extraídos com solução extratora água régia, de acordo com as metodologias 3050B (1996) e 3051A (2007). Foram determinados os teores de P, S, K, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Mn, Cu por ICP-OES.

Análises estatística

As médias para os teores dos nutrientes na vegetação e no solo dos CRs foram comparados por meio do teste de Skott-Knott com nível de significância de 5 %, para verificar diferenças entre os teores de nutrientes nas folhas, nos galhos, na parte aérea e nas raízes nas diferentes espécies e nas plantas amostradas no campo ferruginoso e no campo quartzíco.

Os resultados dos teores de nutrientes nas folhas, nos galhos, na parte aérea e nas raízes foram submetidos análise de componentes principais e análise de agrupamento (*cluster*), identificar grupos de espécies a partir dos teores dos nutrientes nos tecidos.

As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2019).

RESULTADOS

Teores de nutrientes nos solos

Os teores de P, S, Ca, Fe, Zn, Mn e B foram significativamente diferentes entre o solo do CRF e CRQ ($P > 0,05$) (Tabela 2). O solo do CRF apresentou teores de P = 20,7; Ca = 2,3; Fe = 22,3; Zn = 6,3; Mn = 12,9 e B = 5,0 vezes maior em comparação

ao solo do CRQ. Enquanto o solo do CRQ apresenta teor de S = 1,03 vez maior, em comparação ao solo do CRF.

A ordem decrescente para os teores dos nutrientes no solo do CRF foi de Fe > P > Mn > Ca > K > S > Zn > B > Cu; para os teores dos nutrientes no solo do CRQ foi Fe > K > Ca > S > Mn > P > Zn > B > Cu. No solo dos dois ambientes, Fe foi o nutriente que apresentou maior teor, e Zn, B e Cu, respectivamente foram os que apresentaram menores teores, em comparação a todos os nutrientes analisados.

Tabela 2. Médias, P valor e Coeficiente de Variação (CV, %) para os teores de nutrientes no solo de Campo Rupestre Ferruginoso (CRF) e Campo Rupestre Quartzítico (CRQ).

Ambiente	P	S	K	Ca	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----								
CRF	1367,88 a	227,85 b	291,78 a	753,78 a	187201,85 a	106,09 a	879,14 a	7,28 a	50,04 a
CRQ	66,22 b	234,12 a	465,59 a	321,73 b	8387,86 b	16,96 b	68,41 b	7,45 a	10,10 b
P valor	0,000	0,026	0,059	0,051	0,000	0,000	0,000	0,526	0,000
CV (%)	28,02	2,51	50,89	28,08	13,83	24,99	39,17	7,85	26,14

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem estatisticamente entre si (P > 0,05) pelo teste de Skott-Knott.

A ACP para os teores de nutrientes no solo do CRF e CRQ evidenciou as diferenças nutricionais entre os solos (Figura 1). A variável CP1 explicou 57,8 % da variabilidade dos dados, e separou os solos em função do ambiente. A análise de cluster mostrou que não há similaridade entre os ambientes, em relação as características nutricionais, confirmando os resultados para os testes de médias. Os teores de P, Ca, Fe, Mn, Zn e B se mostraram mais associados ao campo ferruginoso, e S, K e Cu se mostraram mais associados ao ambiente quartzítico. A distribuição espacial dos pontos referentes as amostras coletadas no solo do CRF indicam maior variabilidade para os teores de nutrientes, em relação ao CRQ.

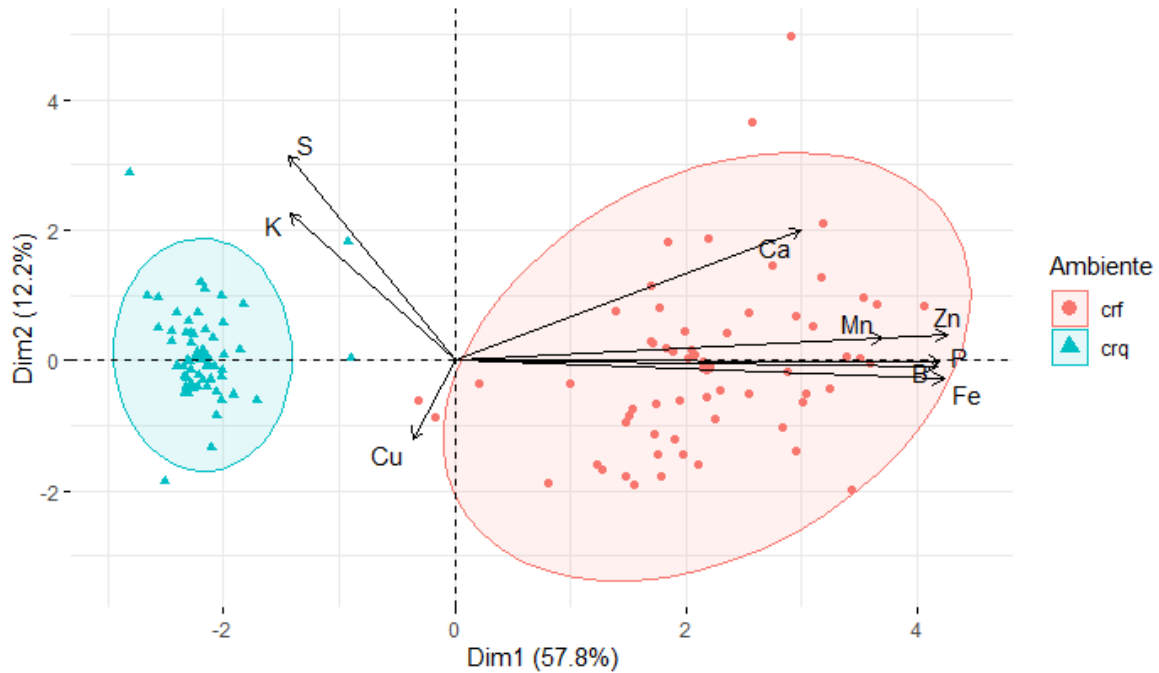


Figura 1. Análise de componentes principais para os teores de nutrientes no solo do campo rupestre ferruginoso (crf) e no solo do campo rupestre quartzítico (crq).

A distribuição espacial dos pontos referentes as amostras de solo coletadas no campo ferruginoso e no campo quartzítico se mostrou associada a variável CP2. A variável PC2 explicou 12,2 % da variância dos dados, evidenciado a variabilidade dos ambientes em relação aos teores de nutrientes, com pontos distribuídos acima e abaixo do vetor desta variável. Somadas, as variáveis CP1 e CP2 sumarizaram 70 % da explicação da variância para os teores de nutrientes no solo do CRF e do CRQ.

Teores de nutrientes nas folhas, nos galhos, na parte aérea e nas raízes de espécies vegetais amostradas em campo rupestre em diferentes litologias

Houve diferença significativa entre os teores de foliares de Zn, Mn, Cu, B para *Cinnamomum quardangulum*; K, Ca, Cu para *Leandra aurea*; K e Ca para *Tibouchina heteromalla* amostradas em CRF e CRQ (Tabela 3). *C. quadrangulum* apresentou teores de Zn = 3,19; Mn = 8,16; B = 1,86 vezes maior no CRF em relação ao CRQ, e maior teor foliar de Cu nas plantas do CRQ. *L. aurea* apresentou maiores teores foliares de S, Mg e B, sem diferença significativa entre os dois ambientes de amostragem, e teores de K = 1,79; Ca = 1,46; Cu = 3,12 vezes maior nas folhas amostradas no CRF em relação ao CRQ. *T. heteromalla* apresentou teor de Ca = 2,89

e K = 1,55 vezes maior nas folhas amostradas no CRF e CRQ, respectivamente. As espécies *L. pinaster* e *S. Glabra* (CRF) apresentaram maiores teores foliares de S, Mg, Mn e de S, respectivamente, estatisticamente semelhantes aos encontrados em *L. aurea* amostradas em CRF e CRQ e *C. quadrangulum* amostrada em CRF. *Mimosa calodendron* apresentou menores teores de S, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu e B. Os teores de P e de Fe não apresentaram diferenças significativas entre as espécies estudadas.

Houve diferenças significativas entre os teores nos galhos para as espécies. Os teores de Ca, Fe, Zn para *C. quadrangulum*; S, k, Mg, Zn, Cu, B para *L. aurea*; Ca e Mn para *T. heteromalla* apresentaram diferenças significativas entres os ambientes de amostragem (Tabela 3). Os teores de S, Mg, Z foram maiores nos galhos de *L. aurea* no CRF, na ordem de 1,49; 2,02; 1,33 vezes, e os teores de K, Cu, B foram maiores nos galhos de *L. aurea* amostrada no CRQ, respectivamente. *T. heteromalla* amostrada no CRF apresentou teores de Ca = 1,72 e Mn = 3,5 maiores em comparação com *T. heteromalla* no CRQ; o teor de B não apresentou diferença significativa entre para esta espécie comparando os dois ambientes. Os teores de Fe e Zn em *C. quadrangulum* CRF foram 3,03 e 1,33 vezes maiores, respectivamente, quando comparados com *C. quadrangulum* CRQ. Para *L. pinaster* CRF e *P. tomentosa* CRQ, os teores de Cu foram semelhantes aos observados para *C. quadrangulum*; *S. glabra* amostrada no CRF apresentou teor de Mn estatisticamente igual ao encontrado em *T. heteromalla* CRF. As diferenças para os teores de P não foram significativas entre as espécies.

Os teores de P, S, K, Mg na parte aérea de *Actinocephalus polyanthus* e S, Ca, Mg, Mn, B, Cu na parte aérea de *Microlícia martiana* apresentaram diferenças significativas entre os ambientes de amostragem (Tabela 4). Em *A. polyanthus* no CRF foram encontrados teores de P = 1,22; S = 1,24; Mg = 1,37 maior em relação a mesma espécie no ambiente CRQ; *A. polyanthus* amostrada no CRQ mostrou teor de K na ordem de 1,56 maior em relação a mesma espécie no CRF. Para *M. martiana* CRF os teores de S = 1,49; Ca = 2,27; Mg = 1,55; Mn = 1,89 e B = 1,33 vezes maiores em relação a mesma espécie no CRQ; os teores de Zn, Mn e Cu não apresentaram diferença significativa entre as espécies nas duas áreas.

Vellozia graminea e *Echinolaena inflexa* apresentaram teores de P iguais, semelhantes ao encontrado para *A. polyanthus* no CRF.

Mimosa aurivullus, *V. graminea*, *M. martiana* amostradas no CRF, e *Axonopus pressus*, *E. inflexa*, *Paepalanthus elongatus*, *V. compacta* amostradas no CRQ

apresentaram teores de Zn, Mn e Cu semelhantes. As espécies *M. martiana* e *V. graminea* apresentaram os maiores teores de B.

Os teores de Cu, Fe, B, P em *A. polyanthus* foram 2,34; 4,54; 10,2; 1,66, vezes maiores nas raízes das plantas amostradas no CRF em relação ao CRQ (Tabela 5), respectivamente. Para *C. quadrangulum* no CRF foram encontrados teores de P = 2,68; S = 2,36; Mg = 2,65; Fe = 4,3; Mn = 5,12; Cu = 1,9; B = 14,0 vezes maior que o encontrado em *C. quadrangulum* no CRQ; o teor de K foi 1,66 vezes maior *C. quadrangulum* no CRQ. *L. aurea* no CRF apresentou teores de Cu = 1,56; Mn = 6,57; Fe = 12,02; B = 11,67; P = 4,14 vezes maior em comparação ao CRQ. Os teores de Fe, Mg, B e S foram, respectivamente, 3,64; 1,07; 2,27; 2,51 vezes maiores em *M. martiana* no CRF, e o teor de K foi 1,21 vez maior em *M. martiana* no CRQ. A espécie *T. heteromalla* no CRF apresentou teores de S = 1,48 e Mn = 3,89 maior, e o teor de K em *T. heteromalla* no CRQ foi 1,39 vez maior; o teor de Mg não apresentou diferença significativa para esta espécie ns dois ambientes. Os teores de Cu em *M. aurivillus* e de P, Fe, B em *V. graminea* amostradas em CRF foram semelhantes aos observados para *A. polyanthus*, *C. quadrangulum* e *M. martiana* também amostradas no ambiente CRF. Os teores de Zn não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes de amostragem.

As médias dos coeficientes de variação (CV, %) para os teores dos nutrientes no tecido vegetal decresceram na seguinte ordem: raízes > folhas > galhos > parte aérea.

De maneira geral Fe, Zn e Mn foram os nutrientes com maior teores e S, K e Mg foram os que apresentaram menores teores nas folhas, galhos e parte aérea das plantas. Nas raízes, Zn, Ca e B foram os três nutrientes de maiores teores nas, e S, K e Mg foram os que apresentaram menores teores.

Considerando a média dos teores dos nutrientes nos diferentes compartimentos, a ordem decrescente para os teores dos nutrientes foi Fe > Zn > Mg > B > Mn > K > P > Cu > Ca > S nas folhas; Fe > Mn > Ca > B > P > Mg > Zn > K > Cu > S nos galhos; Fe > Cu > Mn > B > P > Zn > Ca > Mg > K > S na parte aérea; Zn > Ca > B > Mn > Fe > Cu > P > Mg > K > S nas raízes.

Com exceção para as raízes, e semelhante aos solos, Fe foi o nutriente que apresentou maiores teores nas folhas, galhos e parte aérea das espécies estudadas.

Tabela 3. Médias, P valor e Coeficiente de Variação (CV, %) para os teores de nutrientes em folhas de espécies de vegetais de campo rupestre ferruginoso e campo rupestre quartzítico.

Espécie	P	S	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Campo Rupestre Ferruginoso										
<i>Cinnamomum quadrangulum</i>	8,23 a	2,61 b	128,41 c	164,09 c	33,42 b	47,68 a	1,88 a	43,12 a	0,27 c	0,39 a
<i>Leandra aurea</i>	11,5 a	3,89 a	219,87 b	150,02 c	78,64 a	22,05 a	0,36 b	9,66 c	0,26 c	0,47 a
<i>Lychnophora pinaster</i>	11,7 a	3,67 a	252,77 b	115,76 d	66,23 a	54,11 a	0,80 b	38,92 a	0,52 b	0,50 a
<i>Mimosa calodendron</i>	7,12 a	2,28 b	48,45 c	49,10 e	30,43 b	38,20 a	0,28 b	10,40 c	0,25 c	0,08 b
<i>Stachytarpheta glabra</i>	14,3 a	3,14 a	96,58 c	107,13 d	41,16 b	27,77 a	0,51 b	26,27 b	0,44 b	0,28 b
<i>Tibouchina heteromalla</i>	16,1 a	2,81 b	150,26 c	272,97 a	35,79 b	33,97 a	0,61 b	10,60 c	0,39 b	0,15 b
Campo Rupestre Quartzítico										
<i>Cinnamomum quadrangulum</i>	12,4 a	2,01 b	144,66 c	173,09 c	26,59 b	30,02 a	0,59 b	5,06 c	0,45 b	0,21 b
<i>Leandra aurea</i>	14,7 a	3,55 a	392,64 a	218,67 b	58,00 a	15,70 a	0,83 b	20,47 c	0,81 a	0,57 a
<i>Peixotoa tomentosa</i>	11,9 a	2,46 b	280,30 b	169,33 c	36,02 b	14,87 a	0,47 b	7,34 c	0,55 b	0,36 a
<i>Tibouchina heteromalla</i>	10,7 a	1,86 b	231,85 b	94,40 d	23,35 b	16,17 a	0,45 b	7,80 c	0,47 b	0,22 b
P valor	0,0267	0,000	0,000	0,000	0,001	0,225	0,000	0,000	0,000	0,000
CV (%)	37,48	25,55	43,41	29,4	52,49	94,68	54,3	48,09	36,91	50,24

Tabela 4. Médias, P valor e Coeficiente de Variação (CV, %) para os teores de nutrientes em galhos de espécies de vegetais de campo rupestre ferruginoso e campo rupestre quartzítico.

Espécie	P	S	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Campo Rupestre Ferruginoso										
<i>Cinnamomum quadrangulum</i>	4,55 a	16,95 c	80,62 c	50,68 c	146,73 b	96,33 a	1,01 a	9,49 b	0,29 b	0,14 b
<i>Leandra aurea</i>	4,75 a	38,71 a	119,83 b	72,12 c	476,94 a	18,60 c	0,88 a	3,61 b	0,28 b	0,13 b
<i>Lychnophora pinaster</i>	3,78 a	15,66 c	82,67 c	74,18 c	138,79 b	26,16 c	0,55 b	8,93 b	0,37 a	0,14 b
<i>Mimosa calodendron</i>	3,75 a	18,63 c	26,64 d	67,76 c	168,68 b	45,53 b	0,41 b	4,62 b	0,22 b	0,08 b
<i>Stachytarpheta glabra</i>	3,22 a	16,83 c	65,42 c	44,73 c	150,89 b	8,61 c	0,57 b	18,24 a	0,22 b	0,14 b
<i>Tibouchina heteromalla</i>	5,09 a	18,78 c	59,21 c	325,48 a	167,32 b	47,76 b	0,31 b	21,06 a	0,22 b	0,20 a
Campo Rupestre Quartzítico										
<i>Cinnamomum quadrangulum</i>	2,33 a	11,61 c	114,55 b	76,10 c	84,05 b	31,76 b	0,66 b	3,20 b	0,20 b	0,09 b
<i>Leandra aurea</i>	5,44 a	25,99 b	188,60 a	65,39 c	236,54 b	18,02 c	0,66 b	4,92 b	0,44 a	0,19 a
<i>Peixotoa tomentosa</i>	0,36 a	16,24 c	69,88 c	132,05 c	135,39 b	11,47 c	0,69 b	4,08 b	0,33 a	0,10 b
<i>Tibouchina heteromalla</i>	3,96 a	17,11 c	93,12 c	189,42 b	114,72 b	4,61 c	0,48 b	6,01 b	0,20 b	0,18 a
P valor	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
CV (%)	39,39	23,78	35,6	50,76	36,48	79,06	36,46	61,51	33,09	42,97

Tabela 5. Médias, P valor e Coeficiente de Variação (CV, %) para os teores de nutrientes na parte aérea (folhas e galhos) de espécies de vegetais de campo rupestre ferruginoso e campo rupestre quartzítico.

Espécie	P	S	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Campo Rupestre Ferruginoso										
<i>Actinocephalus polyanthus</i>	8,13 a	43,29 a	92,36 b	20,80 b	46,30 a	117,21 c	1,26 a	7,43 a	0,28 a	0,16 c
<i>Microlicia martiana</i>	6,74 b	19,94 d	51,85 c	75,80 a	16,47 d	16,63 c	0,51 b	6,98 a	0,15 b	0,31 a
<i>Mimosa aurivillus</i>	5,16 b	23,42 d	74,73 b	33,30 b	19,77 d	250,81 b	1,03 a	7,57 a	0,15 b	0,15 c
<i>Vellozia graminea</i>	9,69 a	13,85 e	56,01 c	38,43 b	10,54 e	421,66 a	1,26 a	9,12 a	0,30 a	0,26 a
Campo Rupestre Quartzítico										
<i>Actinocephalus polyanthus</i>	6,64 b	34,90 b	143,43 a	23,26 b	33,68 b	16,29 c	1,24 a	7,05 a	0,29 a	0,15 c
<i>Axonopus pressus</i>	7,13 b	24,00 d	76,51 b	27,96 b	19,71 d	35,20 c	1,52 a	5,13 b	0,28 a	0,11 c
<i>Echinolaena inflexa</i>	9,19 a	30,20 c	154,33 a	25,68 b	26,16 c	4,45 c	1,13 a	3,91 b	0,17 b	0,09 d
<i>Microlicia martiana</i>	6,01 b	16,17 e	59,14 c	33,42 b	12,76 e	10,24 c	0,59 b	4,00 b	0,23 a	0,20 b
<i>Paepalanthus elongatus</i>	3,78 b	14,96 e	41,43 c	27,29 b	9,09 e	62,50 c	1,13 a	5,28 b	0,17 b	0,05 d
<i>Vellozia compacta</i>	6,30 b	13,80 e	75,90 b	86,85 a	10,17 e	51,30 c	1,18 a	7,90 a	0,16 b	0,15 c
P valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,002	0,000
CV (%)	28,87	16,67	21,92	28,36	22,8	61,44	28,52	38,61	38,63	38,0

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem estatisticamente entre si ($P > 0,05$) pelo teste de Skott-Knott.

Tabela 6. Médias, P valor e Coeficiente de Variação (CV, %) para os teores de nutrientes nas raízes de espécies de vegetais de campo rupestre ferruginoso e campo rupestre quartzítico.

Espécie	Cu	Mn	Zn	Fe	Mg	Ca	B	K	S	P
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Amostradas no Campo Rupestre Ferruginoso (CRF)										
<i>Lychnophora pinaster</i>	2,77 c	6,16 b	0,45 a	81,15 c	10,97 c	69,10 c	0,13 c	69,43 c	12,19 d	3,49 c
<i>Mimosa aurivillus</i>	4,47 a	3,10 c	0,29 a	157,17 b	28,89 a	35,19 c	0,16 c	114,71 b	27,78 b	6,23 b
<i>Mimosa calodendron</i>	2,32 c	4,17 c	0,32 a	79,22 c	21,42 b	52,40 c	0,12 c	26,00 e	29,60 b	4,73 c
<i>Stachytarpheta glabra</i>	2,86 b	7,83 b	0,87 a	81,00 c	12,85 b	21,08 c	0,23 b	42,54 d	13,34 d	4,49 c
<i>Vellozia graminea</i>	3,12 b	7,11 b	0,68 a	746,15 a	4,20 c	13,56 c	0,50 a	9,79 e	8,59 d	9,68 a
Amostradas no Campo Rupestre Quartzítico (CRQ)										
<i>Axonopus pressus</i>	2,27 c	2,09 c	0,64 a	57,97 c	8,64 c	14,90 c	0,10 c	35,85 e	15,67 c	3,700 c
<i>Echinolaena inflexa</i>	1,69 c	1,48 c	0,17 a	43,97 c	7,18 c	35,43 c	0,07 c	55,02 d	11,24 d	2,551 c
<i>Paepalanthus elongatus</i>	1,58 c	3,51 c	0,44 a	56,69 c	6,85 c	7,77 c	0,09 c	51,52 d	12,41 d	4,149 c
<i>Peixotoa tomentosa</i>	1,63 c	1,46 c	0,29 a	43,99 c	14,65 b	147,75 b	0,04 c	72,89 c	18,74 c	9,24 a
<i>Vellozia compacta</i>	2,97 b	3,10 c	0,32 a	44,17 c	18,64 b	29,86 c	0,07 c	150,67 a	44,03 a	5,59 b
Amostradas nos dois ambientes										
<i>Actinocephalus polyanthus</i> ¹	6,10 a	4,04 c	0,41 a	625,71 a	8,00 c	10,48 c	0,51 a	8,55 e	10,85 d	6,59 b
<i>Actinocephalus polyanthus</i> ²	2,51 c	2,47 c	0,26 a	137,87 b	9,49 c	6,10 c	0,05 c	34,47 e	12,13 d	3,96 c
<i>Cinnamomum quadrangulum</i> ¹	3,31 b	7,42 b	0,83 a	190,17 b	16,32 b	45,46 c	0,28 b	60,64 c	20,51 c	5,96 b
<i>Cinnamomum quadrangulum</i> ²	1,74 c	1,45 c	0,31 a	44,25 c	6,15 c	35,76 c	0,02 c	100,71 b	8,69 d	2,22 c
<i>Leandra aurea</i> ¹	3,31 b	5,87 b	0,35 a	657,44 a	5,51 c	16,08 c	0,35 b	15,71 e	12,86 d	6,96 b
<i>Leandra aurea</i> ²	2,12 c	0,88 c	0,32 a	57,68 c	3,75 c	8,63 c	0,03 c	15,33 e	5,27 d	1,68 c
<i>Microlicia martiana</i> ¹	2,67 c	1,93 c	1,53 a	175,42 b	11,36 b	17,26 c	0,25 b	17,93 e	15,77 c	3,22 c
<i>Microlicia martiana</i> ²	2,05 c	2,08 c	0,18 a	44,51 c	10,61 c	58,03 c	0,11 c	45,01 d	13,03 d	4,26 c
<i>Tibouchina heteromalla</i> ¹	2,12 c	15,36 a	0,17 a	23,58 c	17,97 b	348,51 a	0,13 c	42,83 d	19,99 c	4,78 c
<i>Tibouchina heteromalla</i> ²	1,72 c	3,95 c	0,16 a	43,98 c	13,93 b	330,02 a	0,08 c	63,39 c	14,34 d	3,52 c
P valor	0,000	0,000	0,325	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CV %	55,12	67,07	171,23	62,09	41,10	80,73	74,63	37,80	30,84	46,91

¹Amostrada no campo rupestre ferruginoso; ²Amostrada no campo rupestre quartzítico.

A análise de componentes principais (PCA) dos teores de nutrientes nas folhas mostrou que as duas primeiras CPs sumarizou 51,1 % da variância dos teores dos nutrientes nas folhas. A análise de agrupamento (*cluster*) para os teores de nutrientes nas folhas mostrou segregação para *C. quadrangulum* amostrada no CRF em relação *C. quadrangulum* amostrada no CRQ e as demais espécies. Os agrupamentos para *C. quadrangulum* no campo quartzítico, e para *L. aurea* e *T. heteromalla* amostradas no CRF e CRQ estão espacialmente sobrepostos, indicando semelhança para as características nutritivo entre as espécies.

Para os teores de nutrientes nos galhos, a ACP mostrou tendência de formação de grupos distintos entre diferentes espécies e entre as mesmas espécies amostras no CRF e no CRQ. A CP1 explicou 33,7 % da variância dos dados e separou em grupos as espécies *L. aurea* amostrada no CRQ, *C. quadrangulum* amostrada no CRF, *T. heteromalla* amostrada no CRQ de *L. aurea* amostrada no CRF, *C. quadrangulum* no CRQ e *T. heteromalla* amostrada no CRF. A CP2 explicou 23,8 % da variância dos dados; separou em grupos as espécies *L. aurea* e *C. quadrangulum* amostradas no CRQ e *C. quadrangulum* amostrada no CRF da espécie *L. aurea* amostrada no CRF. Os agrupamentos formados para *L. aurea* e *T. heteromalla* amostradas no CRQ estão associados ao longo do CP2.

Para os teores de nutrientes na parte aérea, a ACP mostrou que a redução dos dados para as duas variáveis PC resume 59,8 % da variância dos dados (Figura 2). A CP1 separou a espécie *A. polyanthus* amostrada no CRF da *A. polyanthus* amostrada no CRQ; a CP2 separou as duas espécies, *A. polyanthus* e *M. martiana*, em dois grupos, evidenciando as diferenças mostradas no teste de médias.

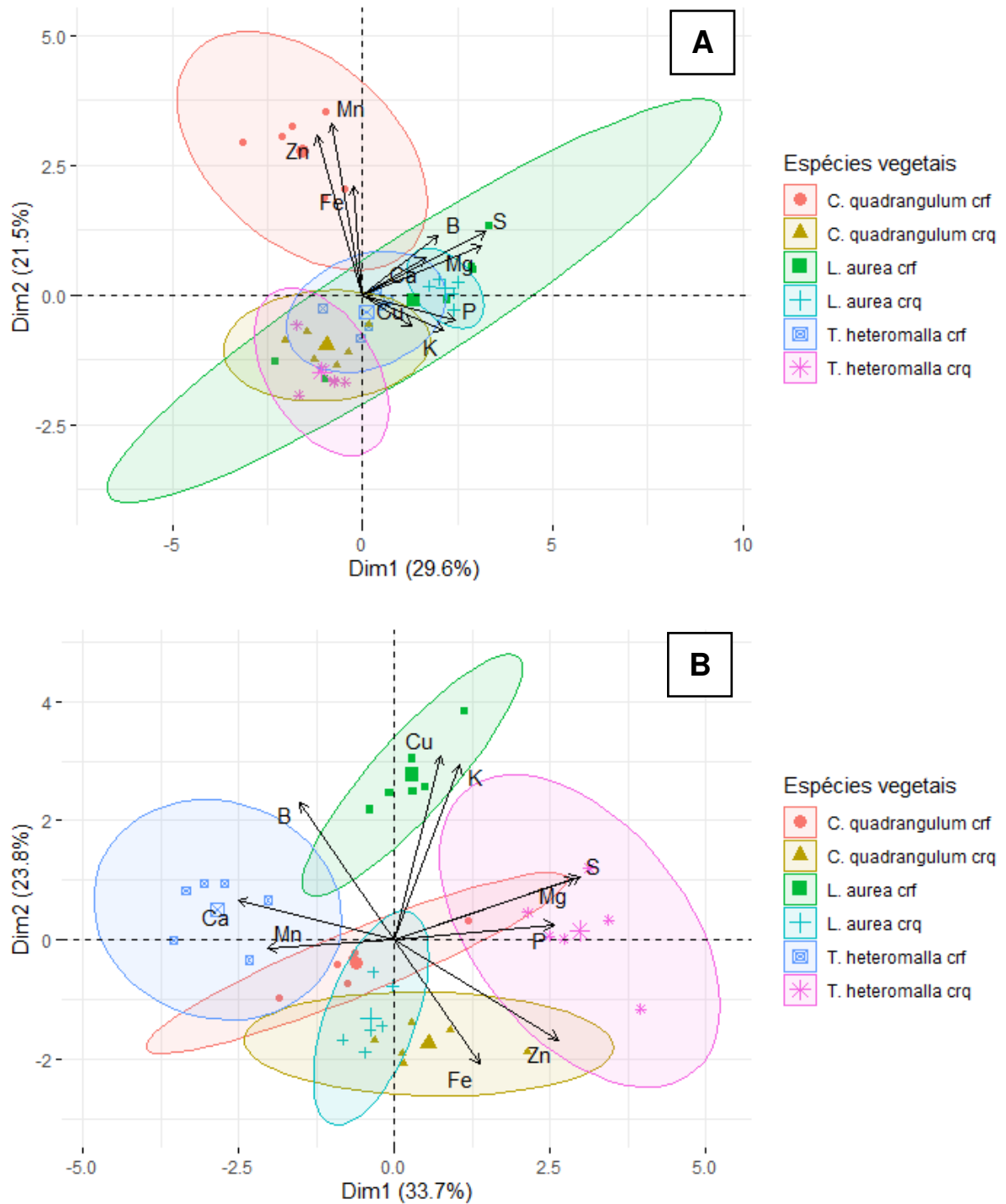


Figura 2. Análise de componentes principais para os teores de macro e micronutrientes nas folhas (A) e galhos (B) de *Cinnamomum quadrangulum*, *Leandra aurea* e *Tibouchina heteromalla* amostradas em campo rupestre ferruginoso (crf) e campo rupestre quartzítico (crq).

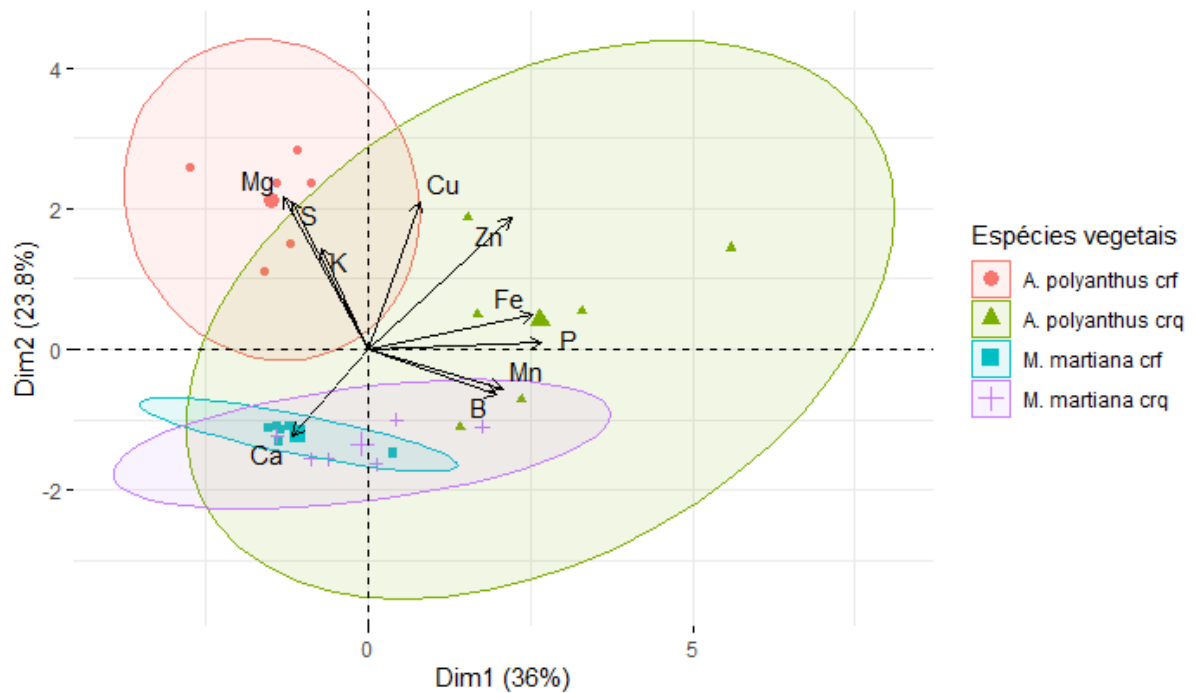


Figura 3. Análise de componentes principais para os teores de macro e micronutrientes na parte aérea de *Actinocephalus polyanthus* e *Microlicia martiana* amostradas em campo rupestre ferruginoso (crf) e campo rupestre quartzítico (crq).

A ACP para os teores de nutrientes nas raízes mostrou sobreposição entre os agrupamentos, indicando semelhanças entre as características nutricionais das raízes entre as espécies, independente do ambiente de amostragem (Figura 4). A PC2 evidenciou diferenças entre os teores de nutrientes em *C. quadrangulum* amostradas no campo ferruginoso e no campo quartzítico. As variáveis PC1 e PC2, somadas, sumarizam 58,4 % da variância dos dados.

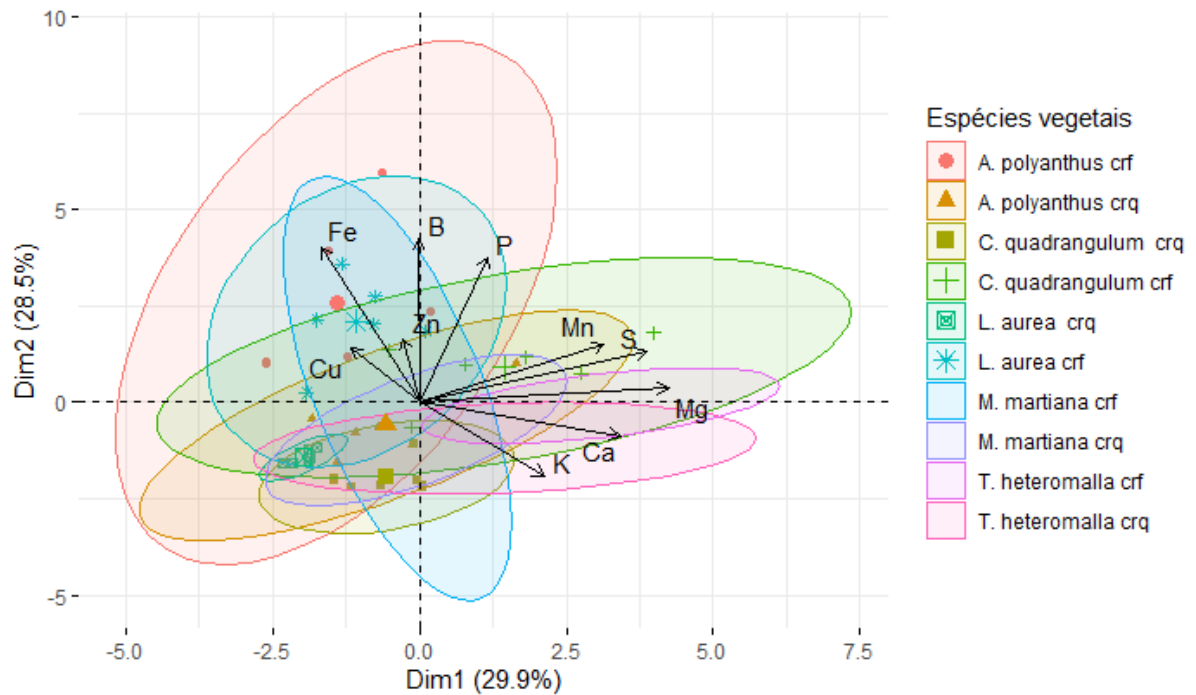


Figura 4. Análise de componentes principais para os teores de macro e micronutrientes nas folhas (A) e galhos (B) de *Cinnamomum quadrangulum*, *Leandra aurea*, *Tibouchina heteromalla*, *Actinocephalus polyanthus* e *Microlicia martiana* amostradas em campo rupestre ferruginoso (crf) e campo rupestre quartzítico (crq).

Para os teores de nutrientes nas folhas, nos galhos, na parte aérea e nas raízes das espécies vegetais amostradas, a redução da dimensão às duas primeiras variáveis CPs sumarizou mais que 50 % da informação contida no conjunto de dados. A análise de agrupamento (cluster) evidenciou a formação de alguns grupos de espécies distintos, em relação aos teores de nutrientes nos tecidos, especialmente nas folhas, galhos e parte aérea.

DISCUSSÃO

Os elevados teores de Fe encontrados nas plantas dos dois ambientes, especialmente no campo ferruginoso, podem refletir as elevadas concentrações de Fe nos solos dos campo rupestres (CARMO; JACOBI, 2013). Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que, para os dois ambientes, Fe foi o nutriente que apresentou maiores teores, mostrando que independente da litologia, os solos dos CRs ricos em Fe.

Os teores mais elevados de nutrientes no solo dom campo ferruginoso, especialmente P, Ca, Zn, Mn, B, em detrimento ao solo do campo quartzítico,

representam importantes reservas nutricionais que podem ser mais ou menos disponibilizados às plantas, ao longo do tempo (BENITES et al., 2007).

Os resultados encontrados para os teores de nutrientes no solos do CRF, em relação ao CRQ confirmam os resultados encontrados por (BENITES et al., 2012). Contudo, estes autores ressaltam que o ambiente quartzítico tendem a ser mais pobres em carbono e nutrientes. Ainda, estes autores sugerem que os teores mais baixos de nutrientes, em relação a outros ecossistemas, se devem as perdas por lixiviação, influenciada pela baixa espessura do solo, e a pobreza natural do material de origem dos solos, notadamente nas áreas de quartzito.

Embora os aspectos nutricionais das espécies nativas seja comumente negligenciado em estudos ecológicos, são de grande relevância (HARIDASAN, 2000, 2008). Os resultados deste trabalho evidenciam as diferenças entre os substratos de campos rupestres e diferentes litologias (Tabela 2; Figura 1). Sugere ainda que estas diferenças refletem em dissimilaridades nas características nutricionais da vegetação, especialmente em relação aos teores de nutrientes nas folhas, galhos e parte aérea das plantas (Tabelas 3, 4 e 5; Figura 2 A e B; Figura 3).

No contexto da preservação ambiental, esses resultados assumem importância prática, por exemplo, nos projetos de Área Mínimas de Canga. Esses projetos têm como objetivo definir tamanhos mínimos de áreas de canga em campos rupestres para serem preservadas (BEZERRA, 2017; MARTINS et al., 2018). Em essência, esses projetos buscam conhecer a variabilidade fitofisionômica dos campos rupestres nestes fragmentos minimamente delimitados. Contudo, em projetos e relatórios disponíveis, aspectos nutricionais do solo e, especialmente, da vegetação, não são contemplados.

A variabilidade nos teores dos nutrientes nos campos rupestres, ainda, pode ser explicada em função dos diferentes padrões fenológicos observados nestes ecossistemas. Em estudo realizado em campos rupestres na Serra do Cipó, região sul da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Belo et al. (2013) identificaram pelo menos quatro estratégias fenológicas baseadas em combinações de padrões fenológicos reprodutivos, vegetativos e sazonalidade.

Nesse sentido, Benites et al. (2007) sugerem que os estratégias de adaptação fisiológica e morfológica, por parte da vegetação, podem surgir, com respostas as condições peculiares sob as quais se desenvolvem. Esse fato pode explicar as diferenças nutricionais encontradas para as espécies *A. polyanthus*, *C. quadrangulum*,

L. aurea, *M. martiana* e *T. heteromalla* amostradas nos dois ambientes, e enyre as demais espécies amostradas no CRF e no CRQ. Os diferentes padrões de desenvolvimento da vegetação, relatados na literatura por (BELO et al., 2013), os diferentes microhabitats e características contrastantes da vegetação (JACOBI et al., 2007; PORTO; SILVA, 1989; TEIXEIRA; LEMOS FILHO, 1998; VIANA; LOMBARDI, 2007) podem influenciar o estado de nutrientes (FONTES, 2016) das plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo do campo rupestre ferruginoso apresentou teores mais elevados para a maioria dos nutrientes analisados, em detrimento ao solo do campo quartzítico. Semelhantemente, de maneira geral, as plantas amostradas no campo ferruginoso apresentam teores mais elevados para S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e B nas folhas; P, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e B nos galhos; P, S, Ca, Mg, Fe, Mn e B na parte aérea; e P, S, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu e B nas raízes, em comparação as plantas amostrada no campo quartzítico. Esses resultados indicam uma associação entre o estado de nutrientes das plantas e do solo.

As dissimilaridades observadas entre os teores de nutrientes nos solos e na vegetação dos campos rupestres em diferentes litologias, alerta para a necessidade de aprofundar estudos, por exemplo, para identificar estratégias de aquisição e utilização de nutrientes.

As diferenças nutricionais observadas entre as espécies podem ser devidas, também, as diferenças de estratégias fenotípicas, relatadas na literatura.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro**. 1. ed. Brasília: ANM, 2018. v. 1

ARAÚJO, L. C. **Restauração ecológica de campos rupestres ferruginoso em pilha de estéril**. [s.l.] Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2015.

ASSIS, M. V.; MATTOS, E. A. DE. Vulnerabilidade da vegetação de campos de

altitude às mudanças climáticas. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 2, p. 162–174, 2016.

ATAÍDE, E. S.; CASTRO, P. DE T. A.; FERNANDES, G. W. Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no Complexo Minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1265–1275, 2011.

BELO, R. M. et al. Fenologia reprodutiva e vegetativa de arbustos endêmicos de campo rupestre na Serra do Cipó, Sudeste do Brasil. **Rodriguesia**, v. 64, n. 4, p. 817–828, 2013.

BENITES, V. DE M. et al. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da mantiqueira e do espinhaço. **Floresta e Ambiente**, v. 10, p. 76–85, 2003.

BENITES, V. DE M. C. A. N. M. E. DE S. S. C. E. K. J. C. et al. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da mantiqueira e do espinhaço. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 1, p. 76–85, 29 jun. 2012.

BENITES, V. M. et al. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. ii, p. 569–577, 2007.

BEZERRA, L. (ORG). . **Plano de Pesquisa Geossistemas Ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás**. Brasília: ICMBIO, 2017.

BROADLEY, M. R. et al. Phylogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms. **New Phytologist**, v. 152, n. 1, p. 9–27, 2013.

CARMO, F. F. DO; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. **Rodriguesia**, v. 64, n. 3, p. 527–541, 2013.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2^a ed. Brasília: Embrapa, 2009.

FERNANDES, G. W. et al. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. **Natureza e Conservação**, v. 12, n. 2, p. 162–165, 2014.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2016.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. **R. Bras. Fisiol. Veg**, v. 12, p. 54–64, 2000.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 183–195, 2008.

JACOBI, C. M. et al. Plant communities on ironstone outcrops: A diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 2185–2200, 2007.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. DO. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1–2, p. 25–33, 2008.

JANSEN, S.; WATANABE, T.; SMETS, E. Aluminium accumulation in leaves of 127 species in Melastomataceae, with comments on the order Myrtales. **Annals of Botany**, v. 90, n. 1, p. 53–64, 2002.

LE STRADIC, S.; BUISSON, E.; FERNANDES, G. W. Vegetation Composition and Structure of Some Neotropical Mountain Grasslands in Brazil. **Journal Mountain Science**, v. 12, n. 2, p. 864–877, 2015.

MARTINS, F. D. et al. **Projeto Cenários: Conservação de campos ferruginosos diante da mineração em Carajás**. 1. ed. Tubarão (SC): Copiart, 2018.

MESSIAS, M. C. T. B. Fatores Ambientais Condicionantes da Diversidade Florística em Campos Rupestres Quartizíticos e Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Departamento de Geologia**, v. 27, n. ISSN 85-230-0108-6, p. 139, 2011.

- MESSIAS, M. C. T. B. et al. Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. **Folia Geobotanica**, v. 48, n. 4, p. 509–521, 2013.
- MORELLATO, L. P. C.; SILVEIRA, F. A. O. Plant life in campo rupestre: New lessons from an ancient biodiversity hotspot. **Flora**, v. 238, n. 2018, p. 1–10, 2018.
- MOURÃO, A.; STEHMANN, J. R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, p. 775–786, 2007.
- MUCINA, L. Vegetation of Brazilian campos rupestres on siliceous substrates and their global analogues. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 238, 2018.
- NUNES, J. A. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradientes fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, Flona de Carajás -Pará.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- PEREIRA, A. F. S. **Florística, fitossociologia e relação solo vegetação no complexo rupestre do Quadrilátero Ferrífero, MG.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- PIFANO, D. S. et al. Floristic and phytophysiological characterization of the Serra do Condado, Minas Gerais, Brazil. **Caracterização florística e fitofisionômica da Serra do condado, Minas Gerais, Brasil**, v. 10, n. 1, p. 55–71, 2010.
- PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. DA. Tipos de vegetação metalófila em áreas da serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, n. 2, p. 13–21, 1989.
- REEVES, R. D. et al. The flora and biogeochemistry of the ultramafic soils of Goiás state, Brazil. **Plant and Soil**, v. 293, n. 1–2, p. 107–119, 2007.

REZENDE, L. A. L. **Reabilitação De Campos Ferruginosos Degradados Pela Atividade Minerária No Quadrilátero Ferrífero**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2010.

REZENDE, L. L. et al. Restoration of Ironstones Outcrops Degraded By Iron Mining Activity in Minas Gerais State-Brazil. **Journal American Society of Mining and Reclamation**, v. 2, n. 1, p. 151–159, 2013.

SCHAEFER, C. E. et al. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. p. 77–102, 2015.

SILVA, F. R. a Paisagem Do Quadrilátero Ferrífero , Mg : Potencial Para O Uso Turístico Da Sua Geologia E Geomorfologia. 2007.

TEIXEIRA, W. A.; LEMOS FILHO, J. P. Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 22, p. 381–387, 1998.

VARAJÃO, C. A. C. et al. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (^{10}Be) e da pedogênese. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 1409–1425, 2009.

VASCONCELOS, M. F. DE. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil? **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 2, p. 241–246, 2011.

VASCONCELOS, V. V. Campos De Altitude, Campos Rupestres E Aplicação Da Lei Da Mata Atlântica: Estudo Prospectivo Para O Estado De Minas Gerais. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 110, 2014.

VIANA, P. L. et al. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: História, área de estudos e metodologia. **Rodriguesia**, v. 67, n. 5, p. 1107–1124, 2016.

VIANA, P. L.; LOMBARDI, J. A. Florística e caracterização dos campos rupestres

sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 1, p. 157–177, 2007.

YADA, M. M. et al. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema Amazônico. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 3, p. 714–724, 2015.