



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Caracterização ambiental e simbiótica entre plantas e fungos micorrízicos da região do Pico dos Marins, Serra da Mantiqueira, SP/MG

Isabela Carolina Mota¹, Jean Stefano Gabriel², Rogério Melloni³, Nívea Adriana Dias Pons⁴

¹Universidade Federal de Itajubá – Unifei e-mail: isa.carolina26@hotmail.com (correspondente)

²Graduando em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Itajubá – Unifei e-mail: jeanstefabio@gmail.com

³Universidade Federal de Itajubá – Unifei e-mail: rmelloni@unifei.edu.br

⁴Universidade Federal de Itajubá – Unifei e-mail: npons@unifei.edu.br

Artigo recebido em 25/01/2023 e aceito em 23/04/2023

RESUMO

O Pico dos Marins encontra-se em uma porção elevada da Serra da Mantiqueira, com 2420,7 m, situada entre os municípios de Piquete (SP), Cruzeiro (SP) e Marmelópolis (MG), com forte atração turística regional, principalmente em virtude de suas formações rochosas e vegetação típica. Não há registros sobre a caracterização ambiental da região do Pico dos Marins e tampouco de estudos relacionados à formação simbiótica entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e raízes de plantas, reconhecidamente importante no desenvolvimento vegetativo em condições de estresse. Assim, o objetivo deste estudo, de caráter exploratório, foi realizar a caracterização ambiental da região do Pico dos Marins, abordando aspectos pedológico, hidrológico, geológico, vegetação, altitude, declividade e clima, por meio do uso de ferramentas ofertadas pelo *software* QGIS, além da caracterização simbiótica entre plantas e FMA, coletadas ao longo de uma trilha turística ao Pico dos Marins. As plantas coletadas foram encaminhadas para laboratório e submetidas à determinação da intensidade e porcentagem de colonização micorrízica nas raízes, comprimento de micélio extrarradicular total e número total de esporos na rizosfera dos indivíduos vegetais. Mapas temáticos da região foram criados e propostos, os quais poderão contribuir ao desenvolvimento do turismo local, com utilização por guias, agências de turismo e tomadores de decisão ambiental. Com relação à caracterização microbiológica, foi possível observar a presença de estruturas fúngicas importantes para a formação da simbiose, com taxas médias de intensidade e porcentagem de colonização variando de 84% a 94%, respectivamente, comprovando a estratégia adotada de sobrevivência entre os organismos envolvidos e a necessidade de preservação deste frágil ambiente.

Palavras-chave: geoprocessamento; micorriza; montanha.

Environmental and symbiotic characterization between plants and mycorrhizal fungi from the Pico dos Marins region, Serra da Mantiqueira, SP/MG

ABSTRACT

Pico dos Marins is located in an elevated portion of Serra da Mantiqueira, with 2420.7 m, located between the municipalities of Piquete (SP), Cruzeiro (SP) and Marmelópolis (MG), with a strong regional tourist attraction, mainly in thanks to its rocky formations and typical vegetation. There are no records on the environmental characterization of the Pico dos Marins region, nor on studies related to the symbiotic formation between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant roots, known to be important in vegetative development under stress conditions. Thus, the objective of this exploratory study was to carry out the environmental characterization of the Pico dos Marins region, addressing pedological, hydrological, geological, vegetation, altitude, slope and climate aspects, through the use of tools offered by the QGIS software, in addition to the symbiotic characterization between plants and AMF, collected along a tourist trail to Pico dos Marins. The collected plants were sent to the laboratory and subjected to the determination of the intensity and percentage of mycorrhizal colonization in the roots, total extraradical mycelium length and total number of spores in the rhizosphere of plant individuals. Thematic maps of the region were created and proposed, which could contribute to the development of local tourism, with use by guides, tourism agencies and environmental decision makers. Regarding the microbiological characterization, it was possible to observe the presence of fungal structures important for the formation of symbiosis, with average rates of intensity and percentage of colonization ranging from 84% to 94%, respectively, proving the adopted strategy of survival between the organisms involved. and the need to preserve this fragile environment.

Keywords: Geoprocessing. Mycorrhiza. Mountain.

Introdução

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira, situada no Vale do Paraíba, é uma cadeia montanhosa que se estende pelos estados de Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) (Luca et al., 2022). Um dos pontos mais altos desta cadeia é o Pico dos Marins, com 2420,7 m, cuja região está localizada entre os municípios de Piquete e Cruzeiro, no estado de São Paulo, e Marmelópolis, no estado de Minas Gerais. Sua paisagem é exuberante, com presença de vegetações de diferentes fitofisionomias, que incluem áreas cobertas por gramíneas, formações de arbustos e pequenas árvores (Gonçalves, 2019).

O Pico dos Marins, além de ser um dos pontos mais elevados, dispõe de muitas áreas destinadas à prática do ecoturismo, a qual tem grande importância regional. De forma geral, essa prática, quando devidamente estruturada, consegue integrar diferentes setores econômicos, aumentando o dinamismo regional com a geração de empregos, proporcionando benefícios econômicos, sem comprometer o meio ambiente (Fontoura et al., 2021; Sousa et al., 2022).

São poucos os estudos realizados na região do Pico dos Marins, não existindo uma caracterização ambiental e diagnóstico com oferta de mapas temáticos sobre aspectos pedológicos, geológicos, hidrológicos, entre outros. Isso tem sido um importante problema de pesquisa já que o turismo praticado de forma sustentável funciona como um instrumento de conservação da natureza (Magalhães et al., 2022). Quando existentes, os estudos são pontuais e em formato de monografia, envolvendo levantamentos de fauna e flora locais. Juarez (2011) realizou um inventário da anurofauna nesta região, evidenciando a riqueza de espécies, bem como sua distribuição temporal e espacial. E, recentemente, Gonçalves (2019) fez um levantamento da composição florística e relações fitogeográficas dos campos de altitude do Maciço Marins-Itaquaré, indicando as espécies ameaçadas. Segundo Trovó et al. (2012) uma nova espécie vegetal foi encontrada no Pico dos Marins pertencente à família Eriocaulaceae, uma herbácea que possui folhas dispostas em roseta.

As áreas montanhosas, como a região do Pico dos Marins, são ainda fontes em potencial de estudos envolvendo microrganismos do solo. Dentre estes, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que são organismos biotróficos obrigatórios que promovem a aquisição e transferência de água e nutrientes para as plantas, garantindo maior tolerância ao estresse biótico e

abiótico (Krishna et al. 2010; Fernández et al., 2019; van der Heijden et al., 2015), e se tornando essenciais na composição da comunidade vegetal e funcionamento de um ecossistema (Clavel et al., 2021).

Essa relação simbiótica que existe entre os FMA e as plantas, normalmente, é uma associação mutualística, onde ambos os organismos se interagem e obtêm ganhos nutricionais (Christian e Bever, 2018). Assim, o estabelecimento da simbiose torna-se fundamental para a manutenção e sobrevivência do hospedeiro, principalmente em condições limitantes e, muitas vezes, inóspitas, como na região de estudo, a qual apresenta inverno seco, precipitações limitadas e grande presença de afloramento rochoso na superfície (Pereira et al., 2021).

Segundo Sangwan e Prasanna (2021) e Khalid et al. (2020) os FMA auxiliam as plantas hospedeiras a suportarem diferentes estresses ambientais por diferentes mecanismos nutricionais e bioquímicos. Em regiões montanhosas, os fatores ambientais mudam simultaneamente ao longo do gradiente de elevação, como a temperatura e nutrientes do solo, que usualmente diminuem com o aumento da elevação (Sanchez et al., 2013; Soudzilovskaia et al., 2015; Drollinger et al., 2017; Makarov et al., 2020), com grande impacto negativo na formação de micorriza (Liu et al., 2021). Uma revisão sobre a formação de micorriza ao longo da latitude e elevação, assim como as respostas ante fatores climáticos, edáficos e biogeográficos na Europa pode ser lida em Guillermo Bueno et al. (2017). No Brasil, até o momento, estudos dessa grandeza ainda não foram realizados, apresentando-se como uma fonte de pesquisa ainda latente.

Os FMA desenvolvem relação simbiótica com a maioria das famílias botânicas e são importantes componentes de um ecossistema eficiente (Khalid et al. 2020; Tedersoo e Bahram, 2019). Portanto, para o estudo exploratório, como o presente, em que não se conhecem as relações entre plantas e fungos do solo da região de estudo, a escolha desse tipo de fungo formador de micorriza é o mais indicado.

Nos últimos anos, a vegetação na região do Pico dos Marins tem enfrentado problemas com queimadas e pisoteio de turistas (Aximoff, 2011). Trata-se de um local onde o acesso não é controlado, sem registros do número de pessoas que trafegam, assim como da exploração de recursos naturais, contribuindo para o

desenvolvimento de processos antropogênicos, como erosão, queimadas e comprometimento da biodiversidade. Segundo Gonçalves (2019), existem relatos históricos e confirmados de incêndios na região de estudo, como os de 2013, 2016 e 2018. Estes casos de incêndios afetam diretamente a reprodução das plantas e o seu crescimento, além de interferir na ocorrência de FMA (Heringer e Jacques, 2001). É uma das situações que afetam plantas em diferentes fases de crescimento, promovendo mudanças na composição florística do local (Heringer e Jacques, 2001). Conforme os autores, o fogo pode estressar plantas individuais, consumindo suas reservas que sustentam o crescimento, reduzindo a umidade do solo e a fertilidade.

Distúrbios ao longo de uma montanha causam inúmeras interferências bióticas, como alterações na comunidade vegetal, com a predominância de plantas não nativas, onde, mesmo neste caso, os FMA desempenham papel decisivo. Com este objetivo de estudo, Clavel et al. (2021) estudaram três montanhas na Noruega (em altitude entre 609-697 m acima do nível do mar, comprovando que perturbações ambientais em montanhas normalmente desencadeiam um processo de entrada e sobrevivência de plantas não nativas, comandado por FMA diversos, os quais promovem maior colonização, quando comparada a ambientes não perturbados.

Além dos problemas ambientais mencionados, existem outros aspectos que podem afetar diretamente ou indiretamente a formação de micorriza, como a falta de nutrientes no solo, baixa temperatura, baixa luminosidade, quantidade de espécies vegetais ao longo do gradiente de altitude, e outras condições estressantes (Tedersoo e Bahram, 2019; Clavel et al., 2021; Liu et al., 2021). Normalmente, estudos sobre FMA se concentram em ambientes controlados para fins agrícolas, visando produção ou produtividade vegetal (Pereira et al., 2021; Macedo et al., 2022). No entanto, apesar de relativamente raros, estudos exploratórios, de levantamento da simbiose e suas interferências em áreas montanhosas, como o presente, têm sido desenvolvidos por alguns autores, no Brasil.

Nesse sentido, Coutinho et al. (2015) estudaram a variação de FMA ao longo de um gradiente altitudinal (800 a 1400 m de altitude) em solos do complexo rupestre na Serra do Cipó (MG), cujas propriedades do solo influenciaram a variação nas comunidades de FMA. Da mesma forma, Bonfim et al. (2016) analisaram o efeito do ambiente, altitude e sazonalidade na Serra do Mar, Mata Atlântica, 80, 600 e 1000 m de altitude), na

ocorrência e diversidade de FMA. Os autores observaram maior diversidade em grandes altitudes, incomum na Mata Atlântica, sem efeito da sazonalidade. Esse efeito esteve relacionado às mudanças de temperatura, pH e matéria orgânica do solo ao longo da altitude.

Vieira et al. (2019), em pesquisa realizada na Serra das Almas, município de Rio das Contas, no estado da Bahia, estudaram os fatores que influenciavam a distribuição de FMA em três diferentes altitudes em uma floresta tropical (1560 m, 1660 m e 1770 m) e concluíram que os mesmos foram afetados, principalmente, pelas propriedades físicas e químicas do solo, assim como pelas fisionomias vegetais encontradas nas diferentes altitudes.

Portanto, a área de estudo compreende um importante ponto turístico, dentro do bioma Mata Atlântica, de interesse regional e nacional, dominado por belezas naturais, sem acesso controlado de usuários, e com poucos estudos acadêmicos e científicos que possam melhor embasar a gestão ambiental por tomadores de decisão.

A hipótese é de que um estudo exploratório na região do Pico dos Marins permitirá a sua caracterização ambiental, com elaboração de mapas temáticos para diagnóstico de suas condições relacionadas à pedologia, geologia, vegetação, altitude, declividade, clima e hidrografia, por meio do uso de ferramentas ofertadas pelo *software* QGIS. O mapeamento da trilha pode ser utilizado para coordenar e organizar as visitas, além de facilitar a divulgação do seu potencial turístico e científico. Além disso, por meio de amostragens aleatórias de indivíduos vegetais distribuídos ao longo da trilha de estudo, será feita a caracterização microbiológica relacionada à formação de simbiose micorrízica, a qual permitirá discussões sobre a sua presença e importância para a sobrevivência da vegetação na referida região, considerada frágil ante as ações antrópicas advindas de um turismo sem planejamento.

Material e métodos

A metodologia empregada se baseia no método científico, por meio da pesquisa aplicada e quantitativa, com uso do geoprocessamento para a geração de mapas temáticos relacionados à pedologia, geologia, vegetação, altitude, declividade, clima e hidrografia (caracterização ambiental), além de determinações e avaliações radiculares, em laboratório, para a caracterização simbiótica.

Área de estudo

A área de estudo está localizada entre os municípios de Piquete e Cruzeiro, no estado de São Paulo e Marmelópolis, no estado de Minas Gerais, com destaque para a trilha ao Pico dos Marins, como apresentada na Figura 1.

A trilha do Pico dos Marins encontra-se totalmente dentro da Unidade de Conservação (UC) – Área de Proteção Ambiental (APA) Federal da Serra da Mantiqueira, assim como o município de Marmelópolis e cidades circunvizinhas (Figura 2). Os municípios de Cruzeiro e Piquete possuem algumas partes situadas dentro desta APA.

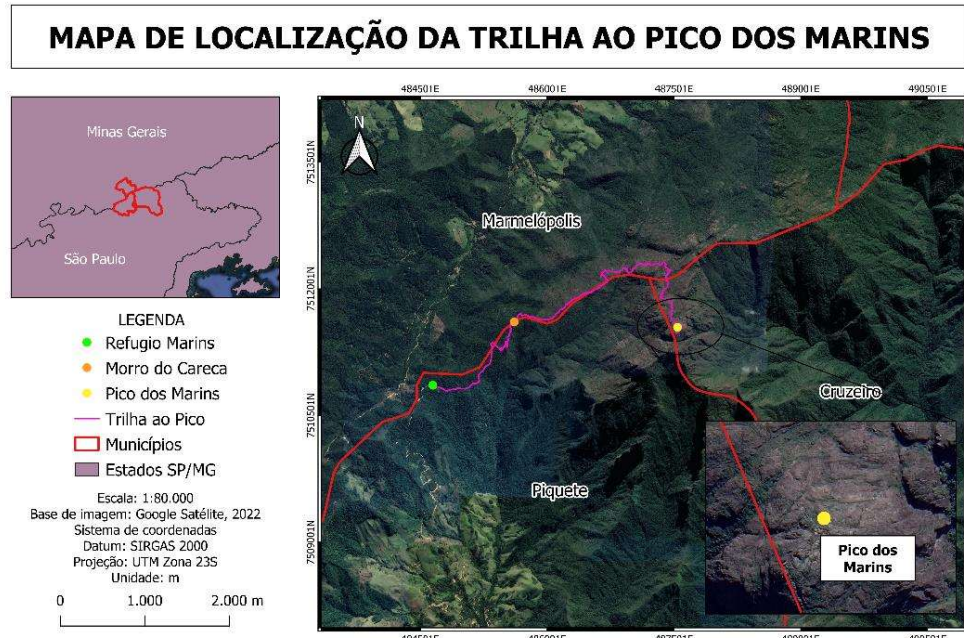


Figura 1. Localização da trilha de acesso ao Pico dos Marins, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

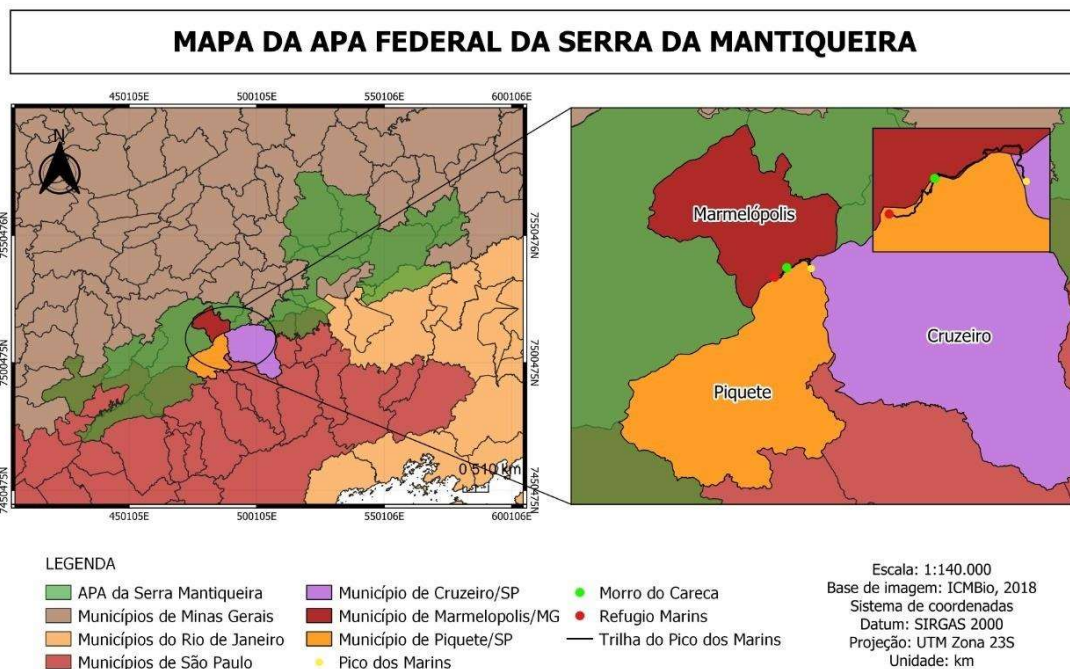


Figura 2. Mapa da Área de Proteção Ambiental (APA) Federal da Serra da Mantiqueira, com destaque para a trilha ao Pico dos Marins, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

Caracterização ambiental

Para a caracterização ambiental da área de estudo, foram utilizadas as ferramentas ofertadas pelo QGIS versão 3.28.1, *software* gratuito que suporta dados matriciais (raster), imagens vetoriais e bancos de dados.

Especificamente, foram elaborados sete mapas temáticos, sendo que cada um aborda um aspecto ambiental distinto, como de pedologia, geologia, vegetação, altitude, declividade, clima e hidrografia.

Para a produção dos mapas temáticos, exceto o mapa de temperatura máxima, mínima e de precipitação, foi utilizada a base gráfica do IBGE. No ambiente do QGIS foram adicionadas imagens orbitais, as quais foram tratadas e selecionada a área de estudo.

Para a caracterização climática, utilizou-se uma série histórica de 30 anos, através dos dados retirados da quinta geração de reanálise atmosférica do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF Reanalysis v5 – ERA5).

Caracterização simbiótica entre FMA-planta

Para o estudo exploratório da caracterização microbiológica relacionada à ocorrência da simbiose FMA-planta, foram feitas coletas aleatórias de indivíduos vegetais em 12 pontos distintos, incluindo raízes e amostras de solo, ao longo da trilha ao Pico dos Marins, conforme apresentado na Figura 3.

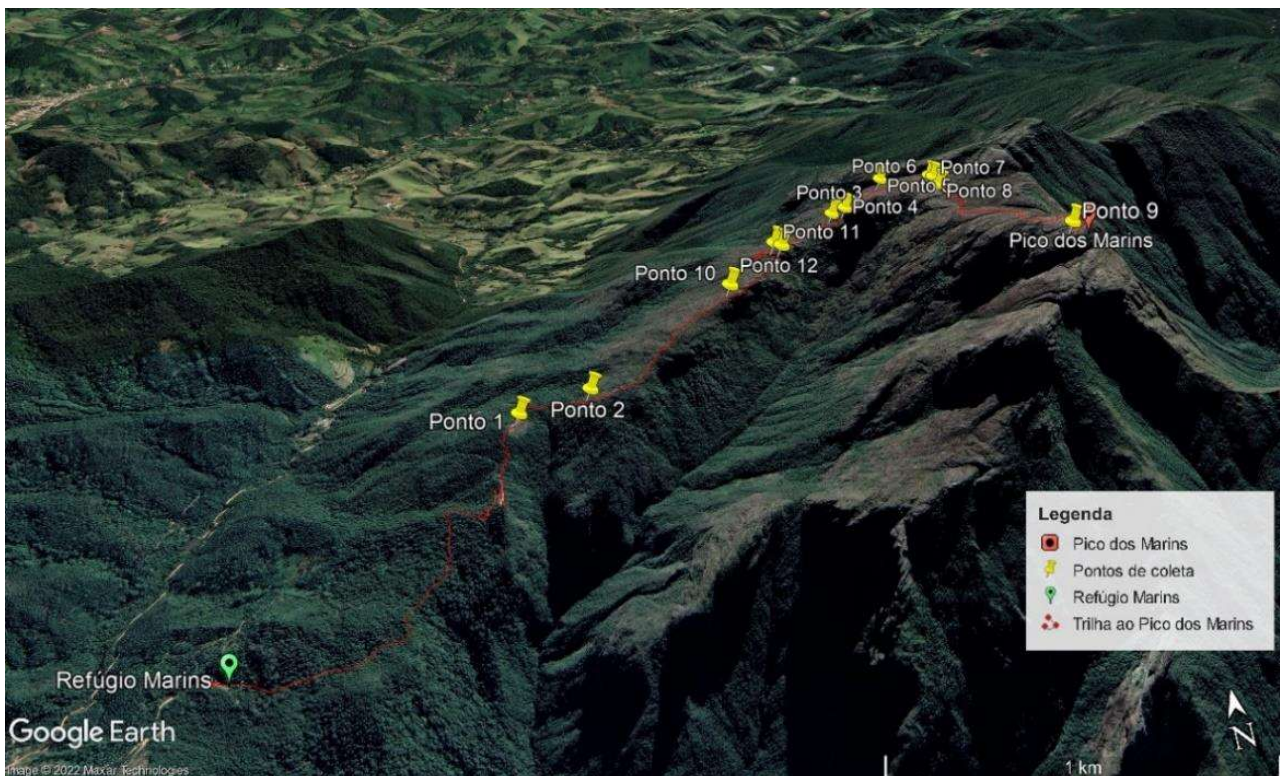


Figura 3. Pontos de coleta aleatória de plantas ao longo da trilha ao Pico dos Marins, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

Todos os indivíduos vegetais foram coletados no início de setembro de 2022. As amostragens foram feitas somente no inverno, por questões de segurança de acesso à trilha de estudo.

A caracterização dos 12 pontos de coleta, com suas respectivas coordenadas e altitudes, são apresentadas na tabela 1, no entanto, os indivíduos vegetais foram coletados conforme critérios pré-estabelecidos, como indicados na tabela 2.

Tabela 1. Coordenadas e altitudes dos pontos coletados de plantas ao longo da trilha ao Pico dos Marins, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

Ponto de coleta	Coordenadas	Altitude (m)	Habitat
1	22° 30' 07" S e 45° 08' 23.6" O	1787	Amostras coletadas ao longo da trilha ao Pico dos Marins, com predominância de vegetações de campos de altitude.
2	22° 30' 05.7" S e 45° 08' 14.6" O	1822	
3	22° 29' 47.6" S e 45° 07' 36.7" O	2129	
4	22° 29' 47.9" S e 45° 07' 35" O	2155	
5	22° 29' 44.3" S e 45° 07' 28.4" O	2206	
6	22° 29' 46.1" S e 45° 07' 22" O	2229	
7	22° 29' 46.7" S e 45° 07' 21.7" O	2230	
8	22° 29' 49.4" S e 45° 07' 22.3" O	2234	
9	22° 30' 11.4" S e 45° 07' 17.5" O	2404	
10	22° 29' 55.9" S e 45° 07' 53.9" O	1899	
11	22° 29' 50" S e 45° 07' 45.8" O	1941	
12	22° 29' 50.9" S e 45° 07' 45.1" O	1944	

Tabela 2. Critérios pré-estabelecidos para coleta dos indivíduos vegetais ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

Critério	Descrição
1	Coletar indivíduos vegetais na interface solo-rocha, e não diretamente no solo
2	Possibilitar coleta de uma quantidade suficiente de amostras de solo e raízes para execução das metodologias de laboratório
3	Coletar indivíduos vegetais com raízes finas
4	Coletar indivíduos vegetais de pequeno porte, preferencialmente de porte herbáceo, que permita a remoção de todo o indivíduo do local de amostragem

Na Figura 4 é apresentado o procedimento de amostragem das plantas ao longo da trilha ao Pico dos Marins. Tais amostras foram cautelosamente coletadas utilizando luva e pá de

jardinagem desinfestada com álcool etílico 70%, e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.



Figura 4. Sequência de fotos detalhando a amostragem de plantas que crescem diretamente entre as rochas, ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

Para identificar a presença de FMA nas raízes de plantas, primeiramente foi realizada a separação da parte aérea da radicular com auxílio de uma tesoura. A parte aérea foi acondicionada de acordo com a metodologia proposta por Peixoto e Maia (2013), onde foram produzidas exsiccatas visando a identificação a nível de família por se tratar de um estudo exploratório.

Em seguida, aplicou-se, inicialmente, o método de clarificação e coloração de raízes proposto por Phillips e Hayman (1970).

Para realizar a quantificação da intensidade de colonização micorrízica das raízes, ou seja, determinar o volume de raiz ocupada por estruturas micorrízicas (arbuscúlos, hifas internas e vesículas), utilizou-se o método proposto por Rheinheimer e Kaminski (1995). Para isso foram dispostos dez segmentos de raízes por planta, já

coloridas, de aproximadamente 1 cm cada, em uma lâmina de microscopia identificada.

Para determinar a porcentagem de colonização micorrízica das raízes, ou seja, para registrar a quantidade de raízes com presença ou ausência das estruturas micorrízicas, utilizou-se o método proposto por Giovannetti e Mosse (1980), utilizando-se uma placa de Petri quadriculada acrescida com lactoglicerol incolor.

Com as amostras de solo rizosférico (solo em contato com as raízes das plantas), quantificaram-se os propágulos de FMA responsáveis pela formação da simbiose: micélio extrarradicular total de FMA, em m g^{-1} de solo seco, pelo método proposto por Melloni e Cardoso (1999), e o número total de esporos de FMA em 50 mL de solo pelo método de Gerdemann e Nicolson (1963).

Como se tratou de estudo exploratório, utilizou-se estatística descritiva, onde cada indivíduo vegetal e respectivo solo rizosférico foram amostrados em função do atendimento a critérios preestabelecidos (

Tabela 2), sem repetições.

Resultados e discussão

Caracterização ambiental

O primeiro mapa temático gerado pelo estudo da região do Pico dos Marins é o hipsométrico e de curvas de nível, apresentado na Figura 5. A classificação hipsométrica e curvas de nível foram representadas através do tratamento do Modelo Digital do Terreno (MDT) disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (DSI, 2008), cujas cores mais escuras do mapa representam uma altitude maior em relação às cores mais claras. O Pico dos Marins se encontra, portanto, sob a altitude mais elevada, entre 2230 e 2470 m.

As curvas mestras e intermediárias foram geradas para facilitar a leitura do mapa, visto que as curvas mais escuras representam as curvas mestras, com os valores de altitude, e as quatro curvas entre as curvas mestras são as intermediárias

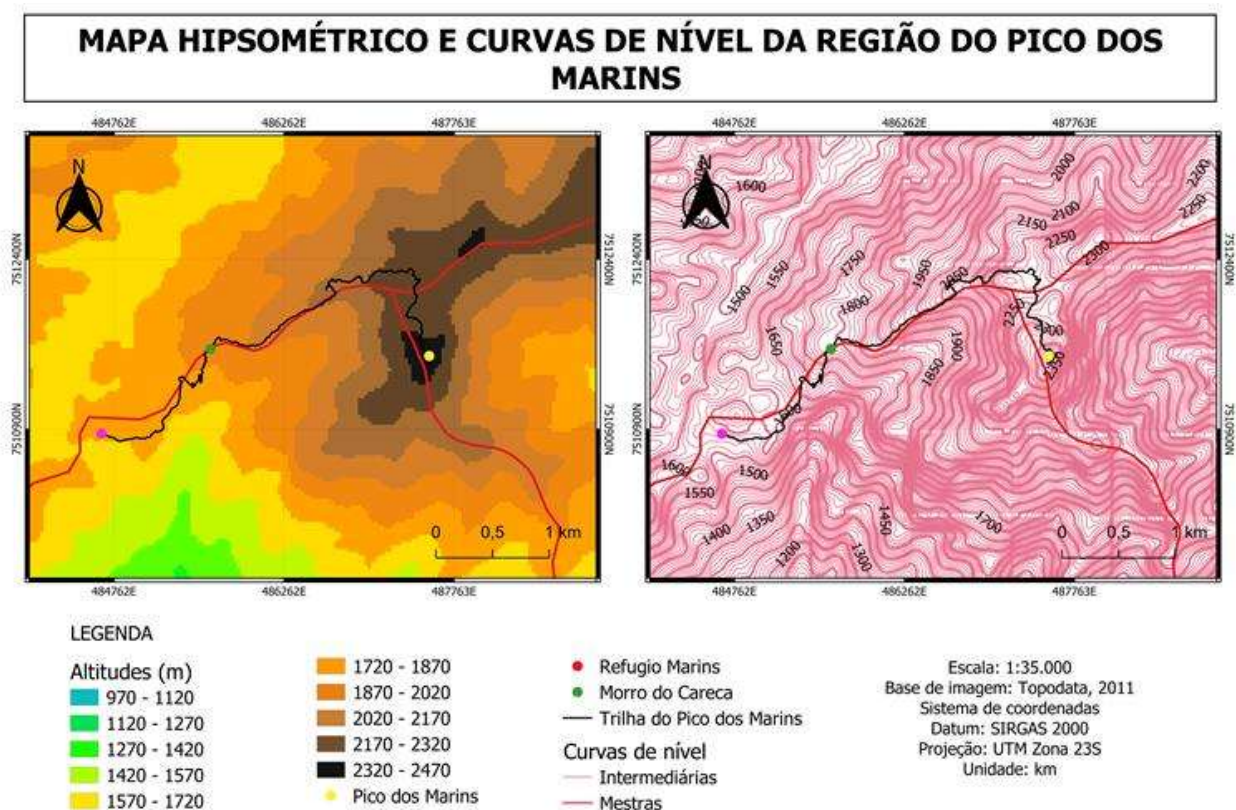


Figura 5. Mapa hipsométrico e curvas de nível da região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

A classificação da vegetação de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é mostrada na Figura 6. O Pico

dos Marins encontra-se em área de Refúgio Vegetacional Alto-Montana. Esta área possui uma vegetação com diferentes fitofisionomias das

vegetações regionais dominantes em alguns locais específicos, por exemplo, em gradientes de altitude acima de 1200 m (Tramuja, 2000).

De maneira geral, a vegetação nos Marins é classificada como Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, pertencente ao bioma Mata Atlântica, Refúgio Vegetacional Alto-Montana, cuja vegetações são classificadas como Floresta Ombrófila Mista e campos de altitude. Segundo Gonçalves (2019) na região dos Marins, as famílias das espécies vegetais predominantes são Asteraceae, Melastomataceae, Cyperaceae, Orchidaceae, Myrtaceae, Poaceae e Rubiaceae.

Historicamente, a Mata Atlântica é marcada por uma ocupação intensiva que tem culminado no comprometimento dos seus recursos naturais, principalmente de sua cobertura vegetal. Nessa perspectiva, estudos que incentivam ou promovam metodologias de avaliação e

recuperação da vegetação devem ser incentivados, como aquele feito por Sousa et al. (2022), em Ibiúna (SP). Preservar a sustentabilidade da vegetação é possibilitar condições fundamentais para a sobrevivência das espécies de fauna e flora, e auxiliar efetivamente a gestão e planejamento das atividades de turismo.

Uma revisão sistemática desenvolvida por De Vecchi et al. (2022) evidenciou que o bioma Mata Atlântica tem sido o mais estudado de acordo com os artigos utilizados por aquela pesquisa, entre 2009 e 2019. Além disso, evidenciou-se que as “Trilhas Interpretativas Ecológicas” servem de instrumento relevante para a Educação Ambiental e como um meio de aprimorar a relação do ser humano com a natureza, elevando seus conhecimentos sobre a biodiversidade desse bioma tão degradado ao longo do tempo.

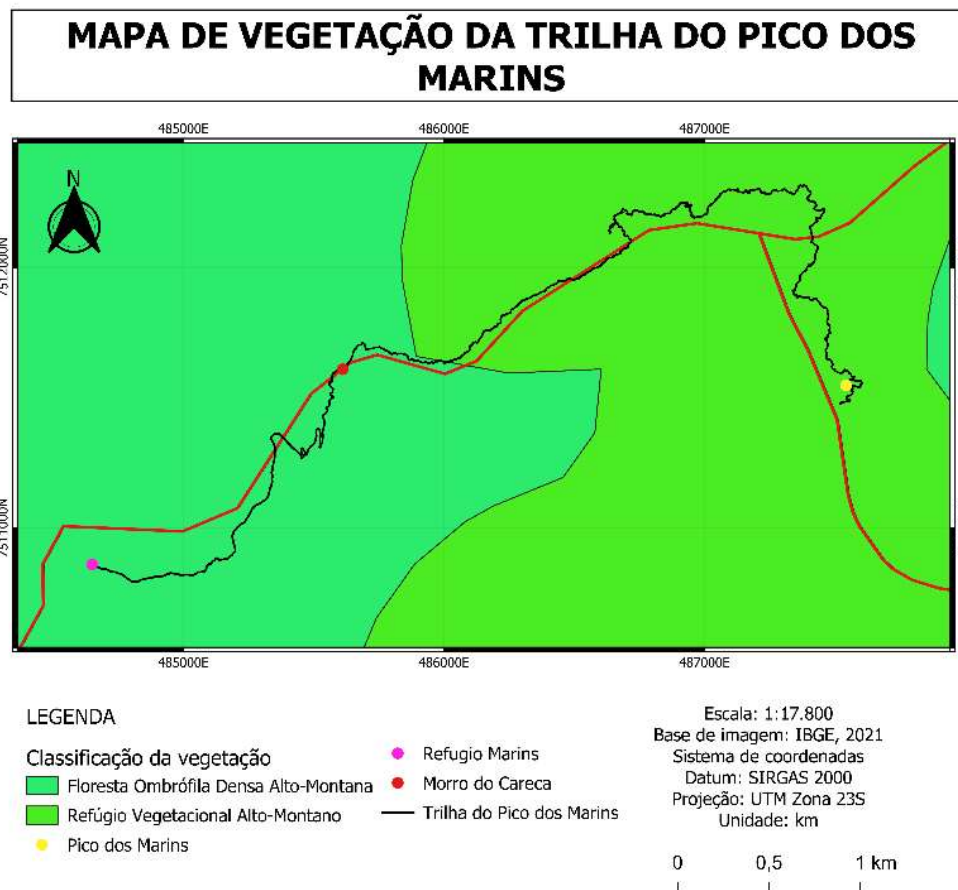


Figura 6. Classificação da vegetação da região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

Já o mapa geológico da região da trilha do Pico dos Marins é mostrado na Figura 7. Os campos de altitude ocorrem, como se percebe, sobre embasamentos rochosos, como nos trechos mais elevados na região do Pico dos Marins. A vegetação desta área é desenvolvida sobre o

Granito Marins, de formato elipsoidal, de caráter cálcio-alcálico de alto teor de potássio (K), que intrude gnaisses paraderivados e ortoderivados (Gonçalves, 2019).

Ademais, a região do Pico dos Marins aflora o complexo Varginha-Guaxupé, uma

unidade ortognaisses migmatítica intermediária,
cuja composição abrange biotita-hornblenda

nebulito de composições grano-diorítica, granítica,
sienítica e monzo-nítica (Venancio e Borda, 2022).

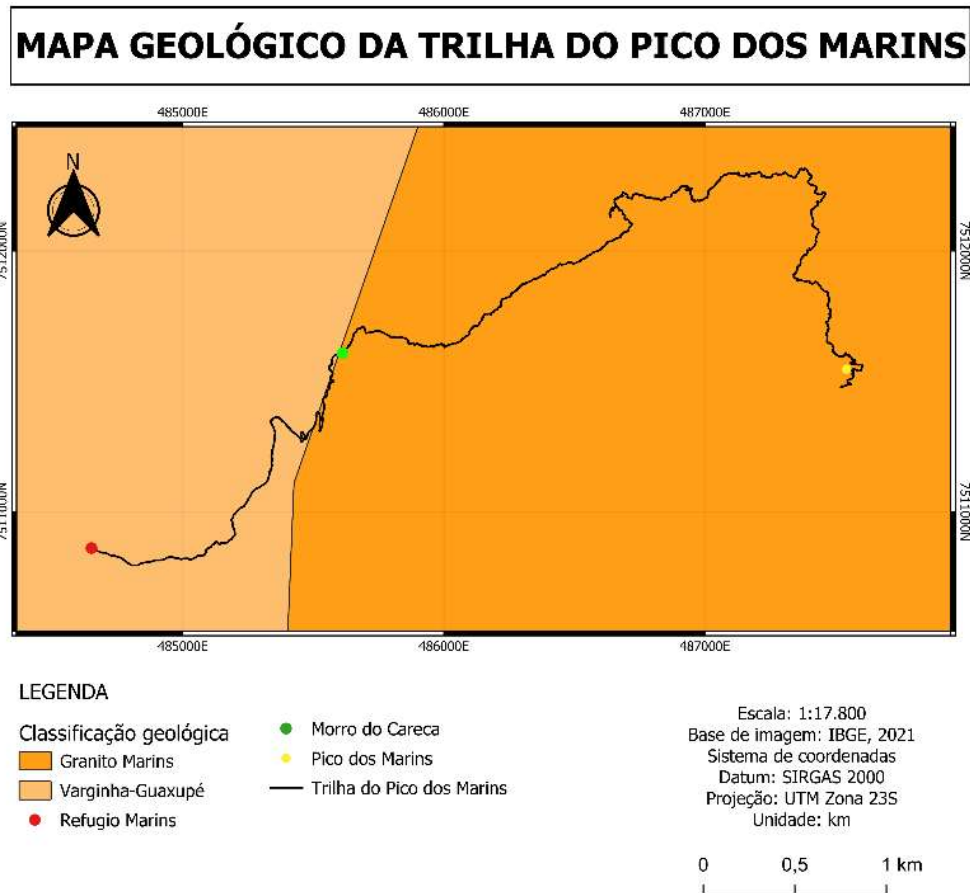


Figura 7. Mapa geológico da região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

O mapa pedológico, apresentado na Figura 8, mostra os grandes grupos de solos que predominam a região da trilha do Pico dos Marins. A região de estudo, segundo dados do IBGE (2021), e não confirmados em campo, possui solos da ordem Latossolo e Cambissolo, de baixa fertilidade e distróficos na maior parte (Embrapa, 2018). A trilha ao Pico dos Marins percorre, portanto, esses dois tipos de solo, naquela sequência, com grande variação na vegetação (Figura 6).

Conhecer o tipo de solo é fundamental para previsão e susceptibilidade à erosão em relevos declivosos, o que tem sido fortemente estudado por outros autores, em outras trilhas ecológicas (Macedo et al., 2021; Magalhães et al., 2022). Neste sentido, Cambissolos associados à alta declividade tendem a promover sulcos de erosão, exposição de raízes e compactação, principalmente em função de sua pequena espessura de perfil e baixa fertilidade natural.

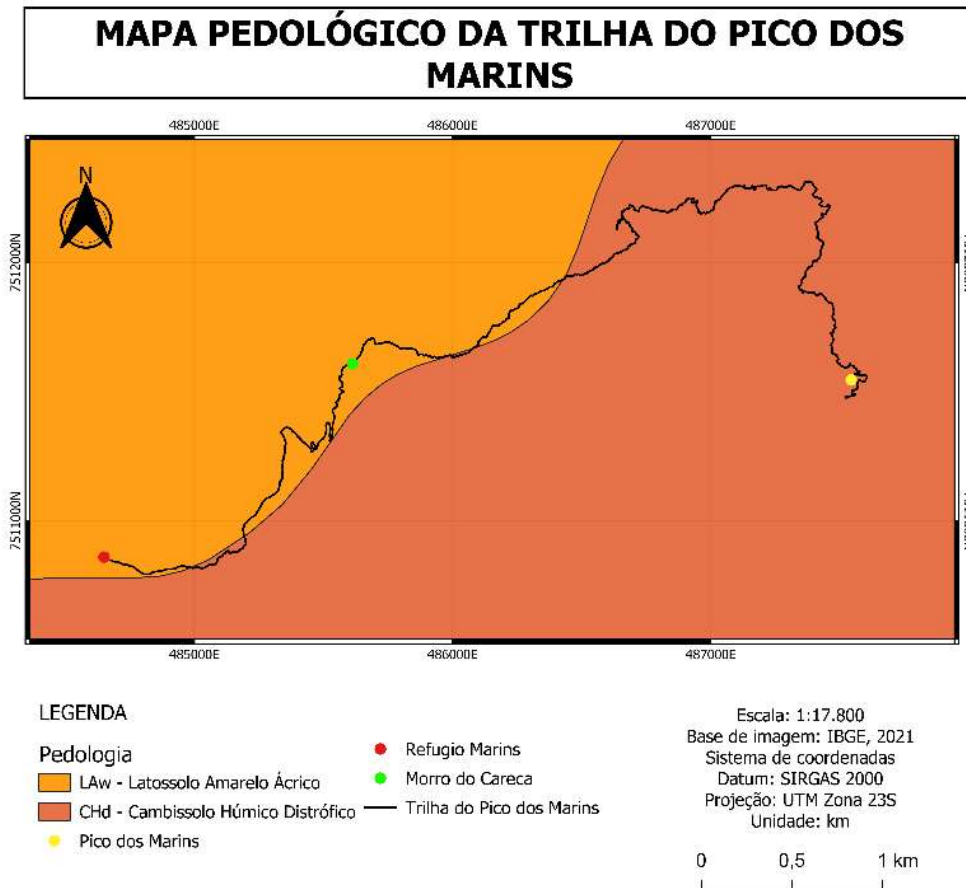


Figura 8. Mapa pedológico da região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

O mapa de declividade ao longo da trilha ao Pico dos Marins é indicado na Figura 9. Observa-se que a trilha se encontra em altas declividades, sendo caracterizada como fortemente ondulada (20-45%) e montanhosa (45-75%), o que exige grande esforço físico para a sua realização.

Magalhães et al. (2022) definiram, em seu trabalho de caracterização ambiental da trilha do Parque Estadual Forno Grande, em Castelo (ES), que trilhas entre 10 e 30° (entre 18 e 58%) de declividade tendem a apresentar nível médio de dificuldade. Portanto, na trilha dos Marins, ora em destaque, em relevo montanhoso, a dificuldade e grau de esforço seriam maiores.

Macedo et al. (2021) também concluíram, no Parque Natural Municipal Luís Roberto Correia Sampaio, Barbalha (CE), que áreas com declividade acima de 30%, como o observado no presente estudo, estão fortemente sujeitas a processos erosivos, compondo o que se chama de classe de fragilidade muito alta. Os autores salientaram, ainda, que estudos que abordam o fator declividade têm sido muito aplicados em levantamentos de escoamento superficial como potencial de erosão, estimativas de perda de solo em determinadas áreas, previsão do desencadeamento de feições erosivas, entre outras aplicações.

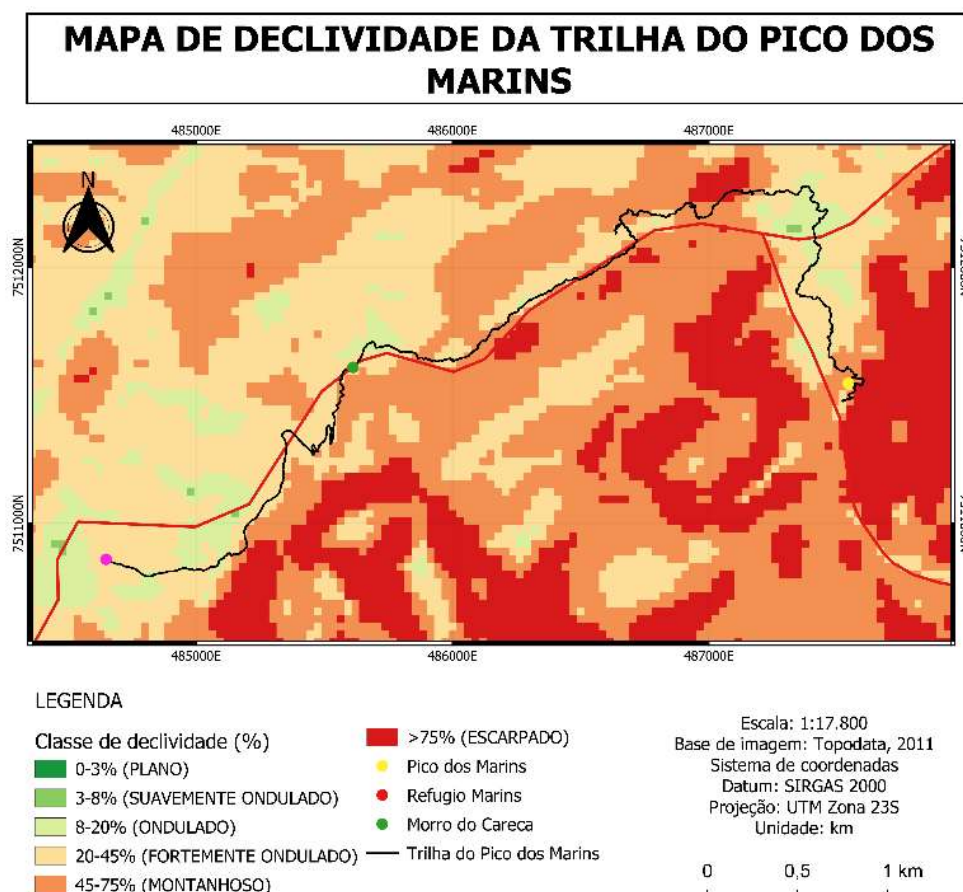


Figura 9. Mapa de declividade da região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região de estudo é do tipo Cwb – caracterizado como subtropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco, apresentando médias anuais abaixo de 22 °C e temperaturas baixas durante o inverno.

Na Figura 10 podem ser visualizados os valores de temperatura máxima, mínima e de

precipitação, no período de inverno, nas proximidades do Pico dos Marins. Neste período de estudo, a temperatura na região de estudo foi baixa, com temperatura máxima em torno de 22,2°C e temperatura mínima em torno de 13°C. Com relação à precipitação, no período de inverno, evidenciam-se baixos valores, em torno de 12 mm.

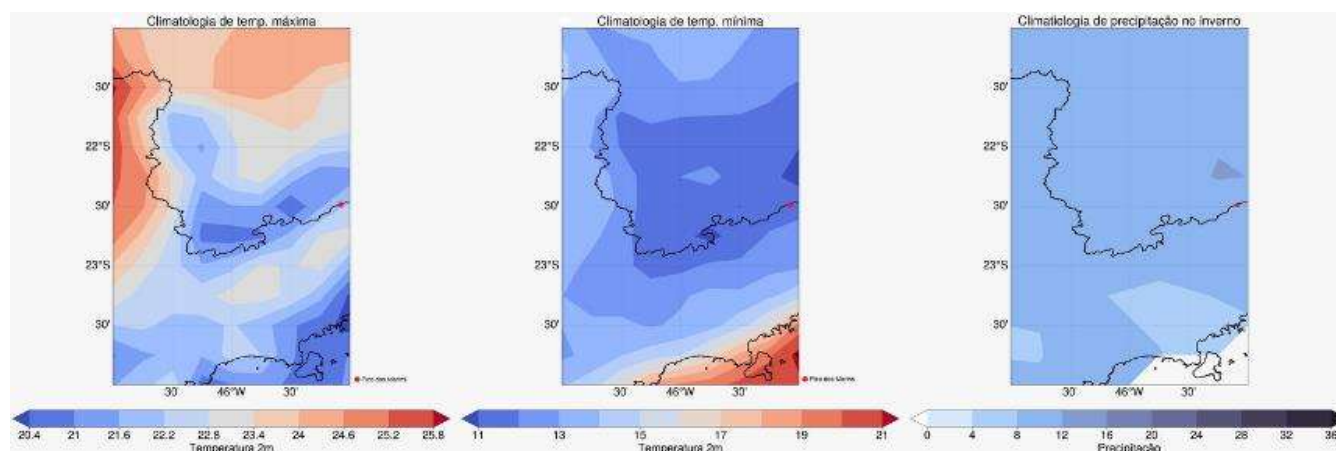


Figura 10. Temperatura máxima, mínima e precipitação, no período de inverno, na região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

O mapa de hidrografia (Figura 11) mostra nascentes e cursos d'água próximos à trilha ao Pico dos Marins em diferentes faixas de altitudes. No entanto, visitas *in situ* são essenciais para confirmação dos pontos e estudos de potencialidades de utilização de água pelos turistas e tomadores de decisão para uso da área.

Estudos hidrológicos são fundamentais para acesso à disponibilidade hídrica, não somente

para o funcionamento de ecossistemas como as trilhas ecológicas, mas também para os usuários do turismo. Para isso, vários estudos têm demonstrado a importância da aplicação de diferentes modelos, com forte ação na gestão de trilhas ecológicas e, sobretudo, na previsão de desastres naturais (Campagnolo et al., 2021).

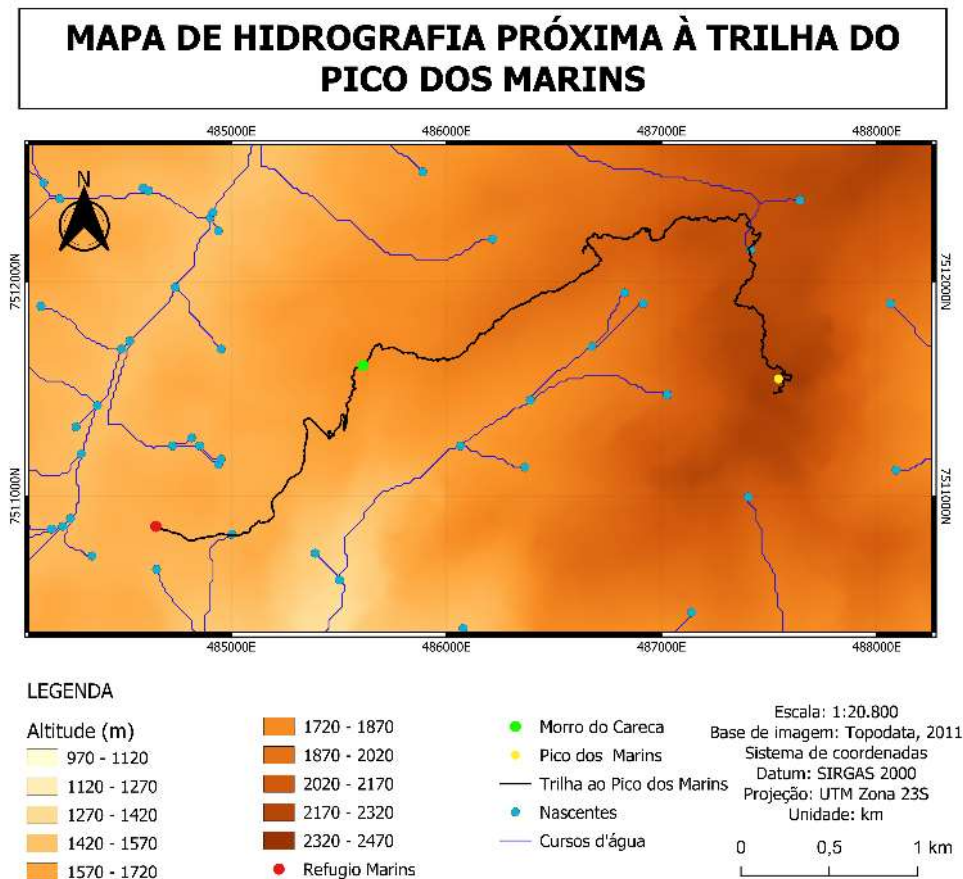


Figura 11. Mapa de hidrografia da região do Pico dos Marins, com destaque para a trilha de estudo, entre os municípios de Marmelópolis (MG), Piquete (SP) e Cruzeiro (SP).

Caracterização simbiótica entre FMA-planta

Os 12 indivíduos vegetais amostrados foram classificados, a nível de família, em função do caráter exploratório, do tamanho do material vegetal coletado e da ausência de estruturas reprodutivas na época amostrada (Tabela 3). A fitofisionomia vegetal encontrada na região do Pico dos Marins é de um platô extenso, formado por um mosaico de arbustos. Nos platôs costumam-se encontrar espécies da família Asteraceae, que se encontram em grande abundância nas áreas montanhosas da América do Sul, diversos representantes da espécie Melastomataceae, além de espécies da família Myrtaceae introduzidas em

uma matriz de gramíneas, com algumas espécies esparsas de pteridófitas (Gonçalves, 2019).

A diversidade das espécies Velloziaceae é encontrada, especialmente, no campo rupestre, que é um dos grupos de plantas vasculares mais abundantes em espécies na região mencionada (Cabral et al., 2022). Sobre o afloramento rochoso, comum na região do Pico dos Marins, encontram-se espécies epilíticas, como as Bromeliaceae, que possuem hábitos terrestres, epilíticos e epífitos, e as espécies da família Rubiaceae, comumente encontradas como arbustos nas regiões tropicais e subtropicais (García et al., 2022; Varani et al., 2022).

Tabela 3. Família de cada espécie vegetal coletada ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

Ponto coletado	Famílias
1	Rubiaceae
2	Velloziaceae
3	Asteraceae
4	Não identificada
5	Bromeliaceae
6	Não identificada
7	Melastomataceae
8	Myrtaceae
9	Asteraceae
10	Asteraceae
11	Myrtaceae
12	Asteraceae

Os resultados do estudo da simbiose entre FMA-planta, na interface solo-rocha, possibilitaram afirmar a alta taxa de colonização

micorrízica, conforme pode ser observada pela intensidade e porcentagem de colonização micorrízica, respectivamente, nas Figura 12 e 13.

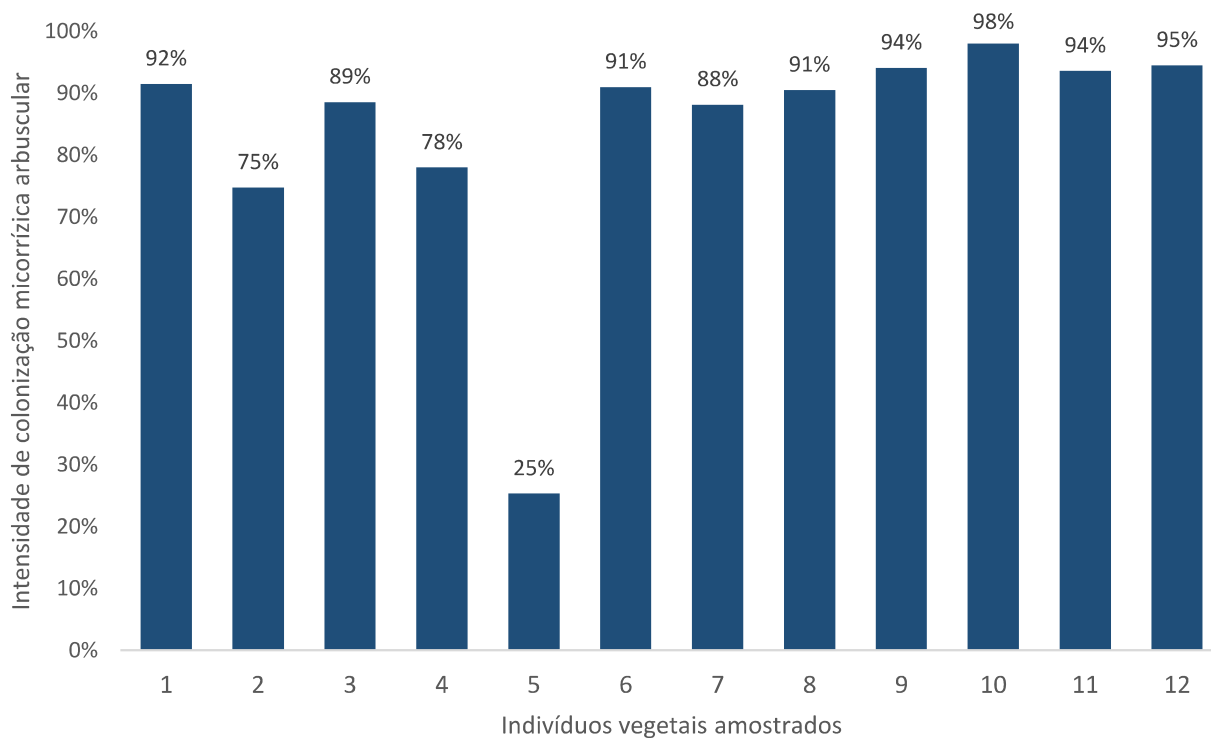


Figura 12. Intensidade de colonização micorrízica (%) em amostras de raízes coletadas ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

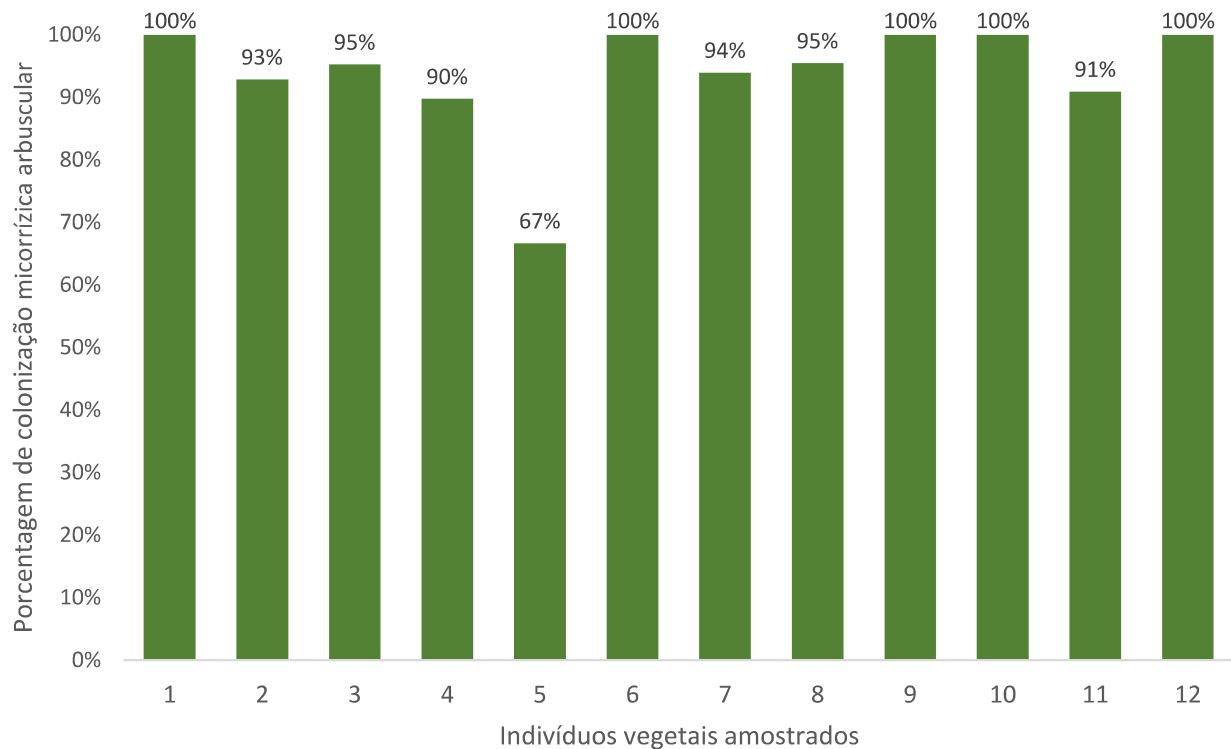


Figura 13. Porcentagem de colonização micorrízica em amostras de raízes coletadas ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

Observa-se que todos os indivíduos vegetais analisados formaram simbiose micorrízica, com alguns alcançando elevados valores, sendo em média 84% para intensidade (Figura 12) e 94% para porcentagem de colonização micorrízica (Figura 13).

Este foi o primeiro registro de formação micorrízica arbuscular entre plantas de diversas famílias (Tabela 3) nesta região de estudo. Na Figura 14 é possível visualizar as principais estruturas micorrízicas encontradas internamente, nas amostras de raízes coletadas ao longo da trilha, sob microscópio óptico.

A formação da simbiose, mesmo em condições ambientais estressantes como as observadas na região de estudo (temperatura, baixa quantidade de solo, altitude) mostra que existe uma associação mutualística entre FMA-planta, de forma que, teoricamente, ambos se beneficiam da relação.

Análises de FMA em gradiente de altitude também foram realizadas na Serra do Cipó, que faz parte da Cadeia do Espinhaço/MG (Coutinho et al., 2015), e na Serra do Mar/SP (Bonfim et al., 2016).

Os dados mostraram que essas áreas abrigam uma grande diversidade de FMA.

Ademais, Coutinho (2016) relata que a heterogeneidade ambiental associada à altitude e às características do solo, são determinantes nas variações espaciais das espécies de FMA. Assim, fatores abióticos devem ser considerados, preferencialmente as variações do solo e outras associadas com a altitude, como temperatura, precipitação e umidade (Soudzilovskaia et al., 2015; Drollinger et al., 2017; Makarov et al., 2020).

No presente estudo, não foram realizadas análises de fertilidade dos solos rizosféricos amostrados em função do caráter exploratório e dos critérios estabelecidos (Tabela 3) relacionados ao posicionamento da planta na interface solo-rocha. Dessa forma, reduziu-se, ao mínimo, a quantidade de amostra de solo coletada, a qual foi direcionada exclusivamente à determinação dos propágulos de FMA (micélio extrarradicular total e número total de esporos).

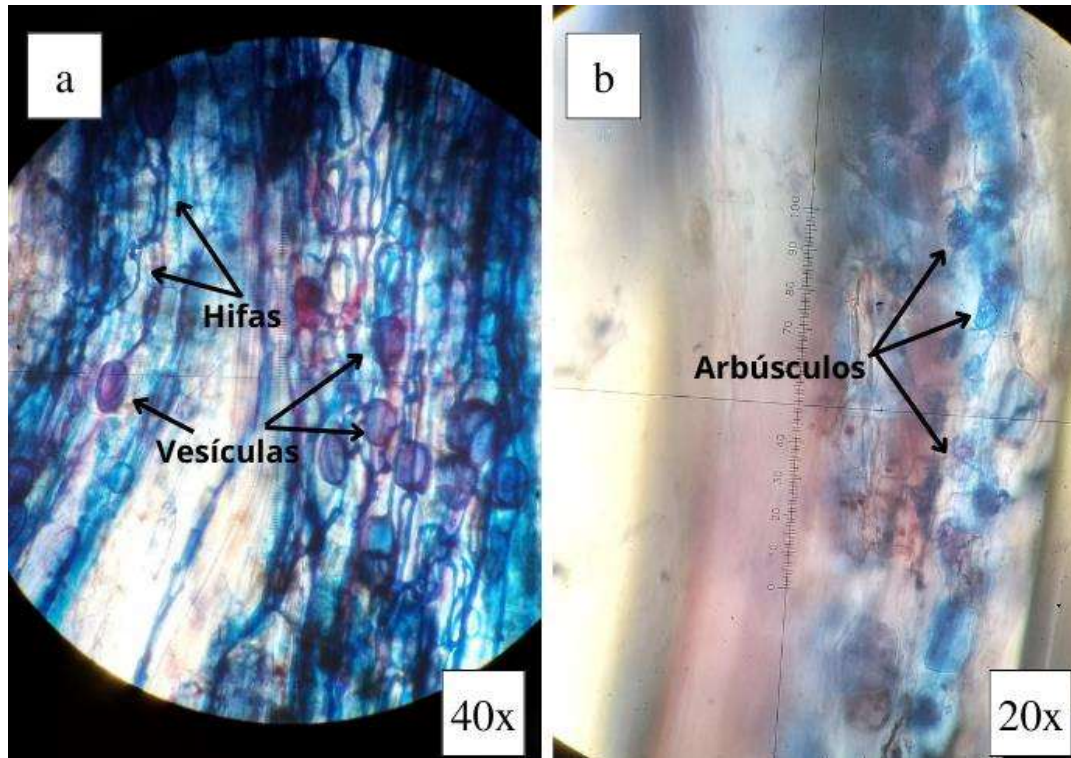


Figura 14. Visualização microscópica de raízes colonizadas por FMA, coletadas na região do Pico dos Marins. (a) hifas e vesículas, (b) arbúsculos.

Além disso, apesar de não quantificada, observou-se variação na frequência de estruturas fúngicas nas raízes das diferentes plantas e famílias coletadas, ora com maior presença de vesículas e hifas e ora com maior quantidade de arbúsculos em vez de vesículas. Os arbúsculos são estruturas fúngicas que predominam em infecções jovens devido a sua duração ser muito curta; em contrapartida, as vesículas são mais comuns em simbioses tardias (Evert e Eichhorn, 2014). Logo, isso indica que a maioria das plantas coletadas ao longo da trilha (pontos 3 a 12) possui uma relação simbiótica mais antiga e duradoura, enquanto os indivíduos coletados nos pontos 1 e 2 (pertencentes à família Rubiaceae e Velloziaceae, respectivamente) apresentaram infecções mais recentes e incipientes de FMA. Tal observação pode ser melhor explorada em estudos posteriores, com novas especificidades de pesquisa.

Outros resultados indicam que em altas temperaturas (período de verão) a intensidade de vesículas tende a ser baixa, pois a atividade da planta hospedeira e do fungo acabam sendo altas (Back et al., 2017). Como a coleta das raízes ocorreu em período de inverno, provavelmente os FMA estavam em fase de acúmulo de reservas. Essa, talvez, seja uma explicação para a quantidade

elevada de vesículas observadas em plantas (pontos 3 a 12) na área de estudo.

Observou-se que as raízes coletadas de um indivíduo da família Bromeliaceae (ponto 5) apresentaram menor colonização por FMA quando comparadas às demais, com intensidade e porcentagem de colonização micorrízica de, respectivamente, 25% e 67% (Figura 12 e Figura 13). Algumas espécies de plantas de altitudes elevadas não possuem alta capacidade de associar-se com fungos devido às características do próprio fungo ou da própria planta hospedeira (Schmidt et al., 2008). A planta e o fungo são influenciados por suas próprias necessidades e as do parceiro, e esse talvez tenha sido o caso. Possivelmente, a espécie da família supracitada já apresenta capacidade parcial de adaptação a ambientes estressantes, pelo próprio processo evolutivo de absorção e eficiência de uso de água e nutrientes (Santos e Nievola, 2011).

Em função da baixa quantidade coletada de solo rizosférico na interface solo-rocha, não foi possível quantificar esporos e micélio extrarradicular total em algumas amostras, cujos resultados estão apresentados nas Figura 15 e 16Figura 16, respectivamente.

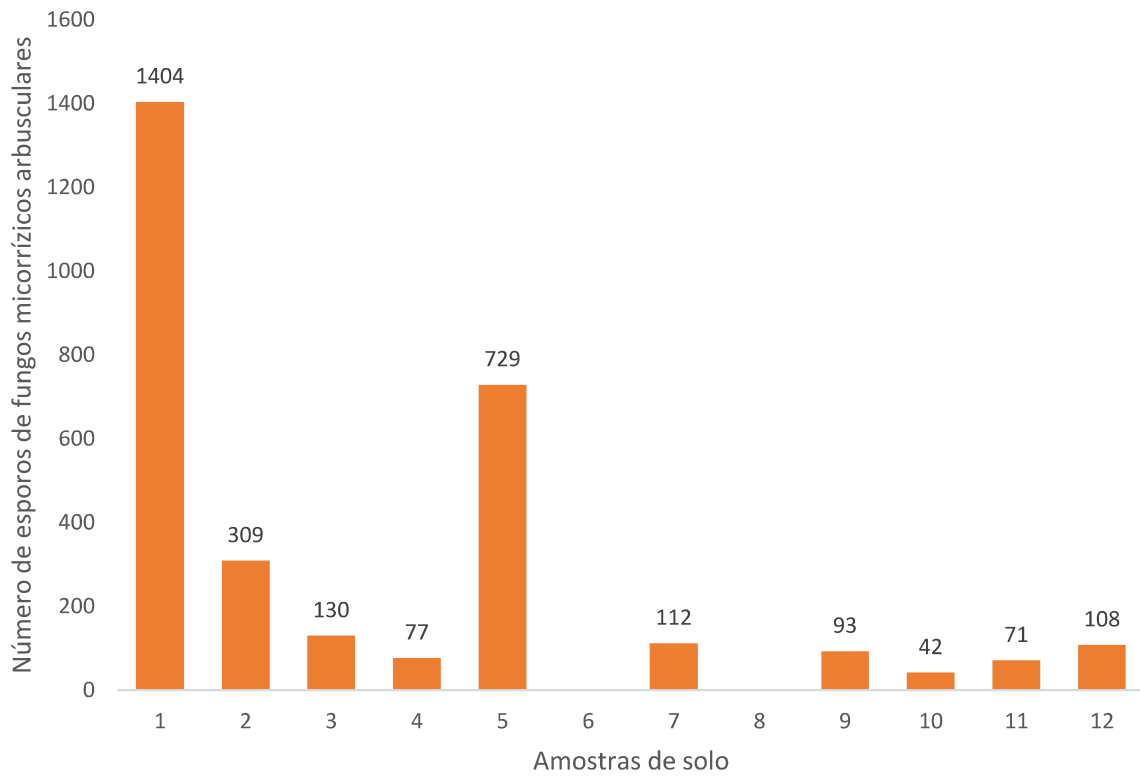


Figura 15. Número de esporos de FMA (por 50 mL de solo rizosférico) encontrado nas amostras de solo rizosférico coletadas ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

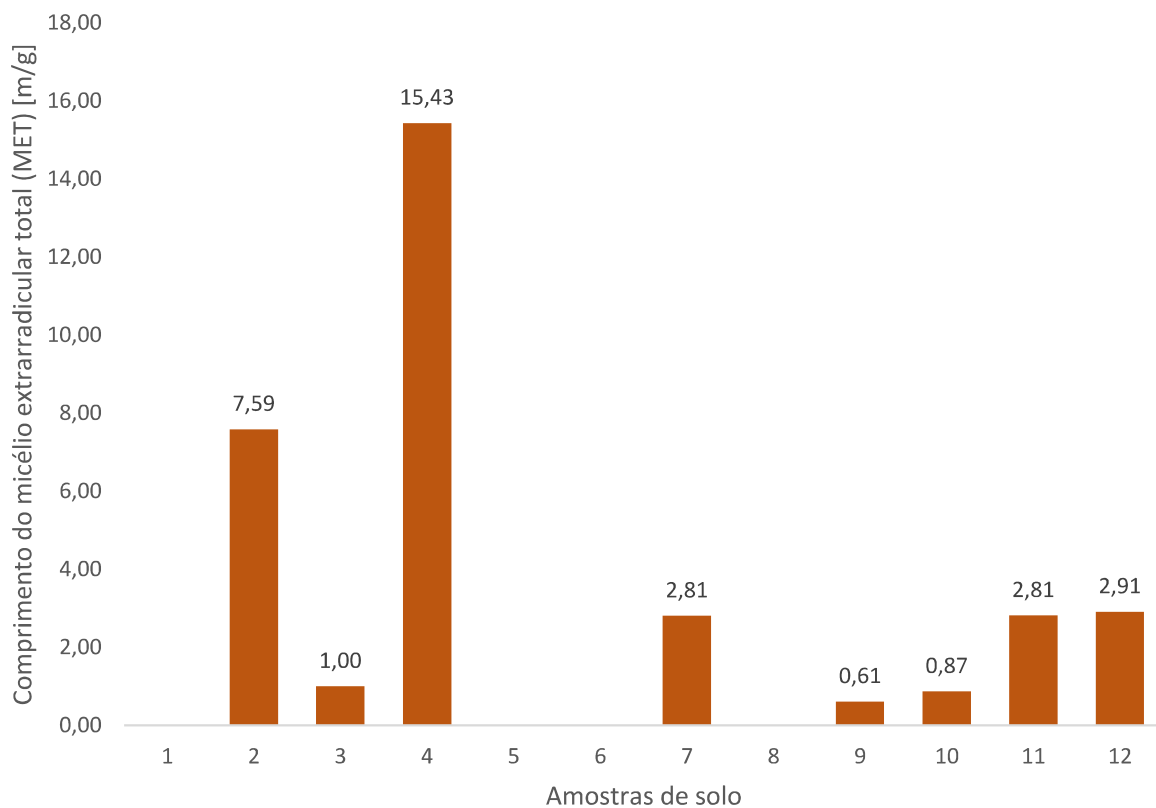


Figura 16. Comprimento de micélio extrarradicular total (MET), em m/g de solo rizosférico, coletado ao longo da trilha ao Pico dos Marins.

Nota-se que as amostras de solo 6 e 8 (Figura 15) não apresentaram quantidade volumétrica de solo suficiente para a análise do número total de esporos, sendo desconsideradas desta análise. Da mesma forma, as amostras de solo 1, 5, 6 e 8 (Figura 16) não foram suficientes para a determinação do micélio.

De maneira geral, o número de esporos não apresentou nenhum padrão de distribuição com a altitude. As amostras 1 e 5, que pertencem às plantas das famílias Rubiaceae e Bromeliaceae, apresentaram os maiores valores de esporos, com 1404 e 729, respectivamente, quando comparadas às demais (de 42 a 309). Para o micélio extrarradicar, os valores variaram de 0,61 m/g até 15,43 m/g, mostrando que a simbiose estava formada e ativa, com exploração do solo rizosférico pelas hifas fúngicas.

Por fim, deve-se reforçar que existem poucos estudos recentes de levantamento da simbiose e de suas interferências em áreas montanhosas. Trata-se, pois, de uma lacuna de conhecimento, mesmo existindo metodologias padronizadas e indicadas para esse estudo. Assim, são importantes os levantamentos voltados à simbiose micorrízica em elevados gradientes de altitude, porque contribuem para uma melhor compreensão sobre a sobrevivência das plantas nessas condições ambientais ainda pouco exploradas por pesquisadores brasileiros.

Conclusão

1. A região do Pico dos Marins está entre 2.230 e 2.470 m de altitude, clima tipo Cwb – subtropical de altitude, com vegetação classificada entre Refúgio Vegetacional Alto-Montana e Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, sobre Granito Marins e Complexo Varginha-Guaxupé, solos pertencentes às classes Latossolo e Cambissolo, em relevo/declividade dominante fortemente ondulado (20-45 %) a montanhoso (45-75 %).
2. As raízes coletadas na interface solo-rocha, ao longo da trilha ao Pico dos Marins, apresentaram-se colonizadas por FMA (taxa média de colonização entre 84-94 %), assim como observaram-se micélio extrarradicar e esporos no solo rizosférico, confirmando o estabelecimento da relação simbiótica para sobrevivência dos envolvidos nas condições ambientais presentes. Este foi o primeiro registro de simbiose micorrízica na região de estudo, o que reforça a necessidade de preservação deste ambiente.
3. Os mapas temáticos gerados, assim como a confirmação da formação de simbiose entre plantas

e fungos micorrízicos, fornecem material importante para a gestão da região do Pico dos Marins, sua proteção e preservação de seus recursos naturais.

Agradecimentos

À Pró-Reitoria de Extensão Social e Cultural (Proex), da Universidade Federal de Itajubá (Unifei), pelo financiamento do “Projeto Simbiose nos Marins” (PJ090/2022), vinculado a essa pesquisa.

Referências

- Aximoff, I., 2011. O que perdemos com a passagem do fogo pelos campos de altitude do estado do Rio de Janeiro? *Revista Científica BioBrasil*, Rio de Janeiro [online] 1(2), 180-200. Disponível: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.139>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Back, M. M., Reith, S., Giuliani, J. C., Souza, P.V. D., 2017. Interação entre porta-enxerto de citros e fungos micorrízicos arbusculares. *Iheringia* [online] 72(2), 277-282. Disponível: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/409>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Bonfim, J.A., Vasconcellos, R.L.F., Gumiere, T., Mescolotti, D. L. C., Oehl, F.; Cardoso, E. J. B. N., 2016. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Brazilian Atlantic Forest Toposequence. *Microbial Ecology* [online] 71, 164–177. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00248-015-0661-0>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Bueno, C. G., Moora, M., Gerz, M., Davison, J., Opik, M., Pärtel, M., Helm, A., Ronk, A., Kuhn, I., Zobel, M., 2017. Plant mycorrhizal status, but not type, shifts with latitude and elevation in Europe. *Global Ecology and Biogeography* [online] 26(6), 1–10. Disponível: <https://doi.org/10.1111/geb.12582>. Acesso: 14 dez. 2022.
- Cabral, A., Magri, R. A., Lopes, J. C., 2022. Increasing knowledge on the diversity of canelinas-de-ema in the campo rupestre: two new species of Vellozia (Velloziaceae) from the southern Espinhaço Range, Brazil. *Plant Ecology and Evolution* [online] 155(3), 343-352. Disponível: <https://doi.org/10.5091/plecevo.94326>. Acesso: 14 dez. 2022.
- Campagnolo, K., Vasconcellos, S. M., Castiglio, V. S., Fagundes, M. R., Kobiyama, M., 2021. Aplicação do Tank Model como Ferramenta de

- Gestão na Bacia do Rio Perdizes – Cambará do Sul/RS. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14(2), 1143-1158. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248660/38738>. Acesso: 11 abr. 2023.
- Christian, N., Bever, J. D., 2018. Carbon allocation and competition maintain variation in plant root mutualisms. *Ecology and Evolution* [online] 8, 5792-5800. Disponível: <https://doi.org/10.1002/ece3.4118>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Clavel, J., Lembrechts, J., Alexander, J., Haider, S., Lenoir, J., Milbau, A., Nuñez, M., Pauchard, A., Nijs, I., Verbruggen, E., 2020. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in non-native plant invasion along mountain roads. *New Phytologist* [online] 230(3), 1156-1168. Disponível: <https://doi.org/10.1111/nph.16954>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Copernicus. Europe's eyes on Earth. 2014. Dados por hora ERA5 sobre níveis únicos de 1959 até atuais, 2022. Europa. Disponível: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-%20single-levels?tab=form>. Acesso: 16 set. 2022.
- Coutinho, E. S., 2016. Diversidade e ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em campos rupestres. Tese (Doutorado). Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Coutinho, E. S., Fernandes, G. W., Berbara, R. L. L., Valério, H. M., Goto, B. T., 2015. Variation of arbuscular mycorrhizal fungal communities along an altitudinal gradient in rupestrian grasslands in Brazil. *Mycorrhiza* [online] 25(8), 627-638. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0636-5>. Acesso: 18 nov. 2022.
- De Vecchi, A., de Oliveira Magalhães Júnior, C. A., Barion Romagnolo, M., 2022. Trilhas interpretativas ecológicas e a conservação da biodiversidade na Educação Ambiental: Uma abordagem presente em publicações. *Ambiente & Educação* [online] 27(2), 1-29. Disponível: <https://doi.org/10.14295/ambeduc.v27i2.1424>. Acesso: 12 abr. 2023.
- Drollinger, S., Müller, M., Kobl, T., Schwab, N., Böhner, J., Schickhoff, U., Scholten, T., 2017. Decreasing nutrient concentrations in soils and trees with increasing elevation across a treeline ecotone in Rolwaling Himal, Nepal. *Journal of Mountain Science* [online] 14, 843-858. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4228-4>. Acesso: 18 nov. 2022.
- DSI. Divisão de Sensoriamento Remoto - INPE. 2008. Topodata: Projeto de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso: 12 fev. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). Brasília. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Evert, R. F. Eichhorn, S. E. Raven, 2014 - *Biologia Vegetal*. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Fernández, F., Juárez, J., Bernabe, A. J., García, F. J., Gómez, J. M., 2019. Activity of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* var. *nova*, and its effect on citrus development in southeastern Spain. *Acta Horticulturae* [online] 1230, 73-84. Disponível: [10.17660/ActaHortic.2019.1230.10](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1230.10). Acesso: 14 dez. 2022.
- Fontoura, L. M., Adams, L., Medeiros, R., 2021. Ecotourism and biodiversity conservation in national parks of Brazil and the United States. *Revista Brasileira De Ecoturismo (RBEcotur)* 14(3), 417-434. Disponível: <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2021.v14.11061>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Gai, J. P., Tian, H., Yang, F. Y., Christie, P., Li, X. L., Klironomos, J. N., 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient. *Pedobiologia – International Journal of Soil Biology* [online] 55, 145- 151. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.12.004>. Acesso: 16 set. 2022.
- García, C. R., Zaldívar, N. A. P., Manrique, C. E., Chim, M. T., Galván, N. C., Pérez, M. J. C., Woods, C., 2022. New Proposal of Epiphytic Bromeliaceae Functional Groups to Include Nebulophytes and Shallow Tanks. *Plants* [online] 11(22), 3151. Disponível: <https://doi.org/10.3390/plants11223151>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Gerdemann, J. W., Nicolson, T. H., 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society* [online] 46(2), 235-244. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0). Acesso: 16 set. 2022.
- Giovanetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* [online] 84, 489-500. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>. Acesso: 16 set. 2022.

- Gómez, L. I. A., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., Alonso, Y. R. C., 2008. Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum* [online] 14(3), 300-306. Disponível: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7149>. Acesso: 16 set. 2022.
- Gonçalves, L. N., 2019. Campos de altitude do maciço Marins-Itaagaré, Serra da Mantiqueira SP/MG: Composição Florísticas, Fitogeografia e Estrutura da Vegetação. Dissertação. Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Heringer, I., Jacques, A. V. Á., 2001. Adaptação das Plantas ao Fogo: Enfoque na Transição Floresta – Campo. *Ciência Rural* [online] 31(6), 1085-1090. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000600028>. Acesso: 18 nov. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Banco de Dados de Informações Ambientais. Disponível: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>. Acesso: 16 set. 2022.
- ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2021. APA da Serra da Mantiqueira. Disponível: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/apa-da-serra-da-mantiqueira>. Acesso: 16 set. 2022.
- Juares, A. M., 2011. Diversidade de Anfíbios Anuros na Serra da Mantiqueira, na Região do Pico do Marins. Dissertação (Mestrado). São José do Rio Preto, Universidade Estadual Paulista.
- Khalid, M., Ur-Rahman, S., Hassani, D., Hayat, K., Zhou, P., Hui, N., 2021. Advances in fungal-assisted phytoremediation of heavy metals: a review. *Pedosphere* [online] 31(3), 475-495. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60091-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60091-1). Acesso: 18 nov. 2022.
- Krishna, H., Das, B., Attri, B. L., Grover, M., Ahmed, N., 2010. Suppression of Botryosphaeria canker of apple by arbuscular mycorrhizal fungi. *Crop Protection* [online] 29(9), 1049-1054. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.005>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Liu, G., Liu, R. L., Zhang, W. G., Yang, Y. B., Bi, X. Q., Li, M. Z., Chen, X. Y., Nie, H., Zhu, Z. H., 2021. The rate of arbuscular mycorrhizal colonization of an exotic plant, *Galinsoga quadriradiata*, in mountain ranges changes with altitude. *Mycorrhiza* [online] 31, 161-171. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-020-01009-y>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Li, X., Gai, J., Cai, X., Li, X., Christie, P., Zhang, F., Zhang, J., 2013. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with two co-occurring perennial plant species on a Tibetan altitudinal gradient. *Mycologia* [online] 24(2), 95-107. Disponível: [10.1007/s00572-013-0518-7](https://doi.org/10.1007/s00572-013-0518-7). Acesso: 16 set. 2022.
- Luca, C. A. B., Azeredo, M., da Motta, M. H., da Silva, J. L. G., 2022. O cultivo da castanha portuguesa como fator de desenvolvimento sustentável do Turismo. *Tópicos Atuais em Desenvolvimento Regional e Urbano* 1, 390-410. Disponível: <https://www.editoracientifica.com.br/artigos/o-cultivo-da-castanha-portuguesa-como-fator-de-desenvolvimento-sustentavel-do-turismo-turismo-sustentavel>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Macedo, A., Araújo, G. G. L., Deon, D. S., Lima, R. L. F. A., 2022. Biosaline agriculture, arbuscular mycorrhizae and soil carbon in the semi-arid region: 1. cultivation of cactus pear fertilized with goat manure. *Research, Society and Development* [online] 11(8), 1-12. Disponível: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.23541>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Macedo, M. A., Ribeiro, A. J. A., Silva, M. L. G., 2021. Diagnóstico da fragilidade física de parque natural utilizando ferramentas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4(4), 2059–2070. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244660>. Acesso: 27 mar. 2023.
- Magalhães, M. V. D., Moro, I. P., Oliveira, J. P. B., Souza, A. M., 2022. Geoturismo no Parque Estadual Forno Grande, Espírito Santo: impactos gerados pelo isolamento social da COVID-19. *Geologia USP* 22(1), 3-20. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v22-188169>. Acesso: 11 abr. 2023.
- Makarov M. I., Sabirova, R. V., Kadulin, M. S., Malysheva, T. I., Zhuravleva, A. I., Onipchenko, V. G., Aksenova, A. A., 2020. Dependence of soil properties under alpine heath lichen community on soil water content and presence of *Vaccinium vitis-idaea*. *Eurasian soil Science* [online] 53, 941-949. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064-229320070091>. Acesso: 18 nov. 2022.
- Manfredini, C., 2005. Participação Comunitária em Projetos de Desenvolvimento Local: um estudo no bairro dos Marins, Piquete/SP. Dissertação (Mestrado). Taubaté, Universidade de Taubaté.
- Melloni, R., Cardoso, E. J. B. N., 1999. Quantificação de micélio extrarradicular de

- fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas e endófitos: I. Método empregado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] 23(1), 53-58. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100007>. Acesso: 16 set. 2022.
- Noaa. National Oceanic and Atmospheric Administration. (ANO). Índice de /Datasets/cpc_global_precip. Disponível: https://downloads.psl.noaa.gov/Datasets/cpc_global_precip/. Acesso: 16 set. 2022.
- Peixoto, A. L., Maia, L. C., 2013. Manual de Procedimentos para Herbários. Editora Universitária. Disponível: https://ahim.files.wordpress.com/2014/04/manual_procedimientos_herbarios_portuges_2013.pdf. Acesso: 16 set. 2022.
- Pereira, V. S., Giongo, V., Lima, R. L. F. A., 2021. Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção de Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 2. Frutícola. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14(5), 3108-3124. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3108-3124>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Phillips, J. M., Hayman, D. S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British of Mycological Society* [online] 55(1), 158-160. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3). Acesso: 16 set. 2022.
- Rheinheimer, D. S., Kaminski, J., 1995. Intensidade de Colonização do Córtex Radicular e sua relação com a absorção de fósforo pelo capim-pensacola. *Ciência Rural* [online] 25(2), 223-228. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781995000200008>. Acesso: 16 set. 2022.
- Sanchez, M., Pedroni, F., Eisenlohr, P. V., Oliveira-Filho, A. T., 2013. Changes in tree community composition and structure of Atlantic rain forest on a slope of the Serra do Mar range, Southeastern Brazil, from near sea level to 1000 m of altitude. *Flora* [online] 208, 184-196. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.03.002>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Sangwan, S., Prasanna, R., 2021. Mycorrhizae Helper Bacteria: Unlocking Their Potential as Bioenhancers of Plant-Arbuscular Mycorrhizal Fungal Associations. *Microbial Ecology* [online] 84(1), 1-10. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01831-7>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Santos, D. S., Nievola, C. C., 2011. Influência da temperatura no desenvolvimento de segmentos nodais micropropagados de *Acanthostachys strobilacea* (Schultz F.) Klotzsch (Bromeliaceae). 18ª Reunião Anual do Instituto de Botânica.
- Schmidt, S. K., Sobieniak-Wiseman, L. C., Kageyama, S. A., Halloy, S. R. P., Schadt, C. W., 2008. Mycorrhizal and Dark-Septate Fungi in Plant Roots Above 4270 Meters Elevation in the Andes and Rocky Mountains. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* [online] 40(3), 576-583. Disponível: 10.1657/1523-0430(07-068)[SCHMIDT]2.0.CO;2. Acesso: 14 dez. 2022.
- Soudzilovskaia, N. A., Douma, J. C., Akhmetzhanova, A. A., van Bodegom, P. M., Cornwell, W. K., Moens, E. J., Treseder, K. K., Tibbett, M., Wang, Y. P., Cornelissen, J. H. C., 2015. Global patterns of plant root colonization intensity by mycorrhizal fungi explained by climate and soil chemistry. *Global Ecology and Biogeography* [online] 24(3), 371-382. Disponível: <https://doi.org/10.1111/geb.12272>. Acesso: 14 dez. 2022.
- Sousa, J. A. P., Amorim, A. T., Souza, J. C., Ewbank, H., Lourenço, R. W., 2022. Proposta de um indicador de sustentabilidade para fragmentos florestais (ISFF) por meio de modelagem ambiental. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15(1), 250-267. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250704/40703>. Acesso: 11 abr. 2023.
- Tedersoo, L., Bahram, M., 2019. Mycorrhizal types differ in ecophysiology and alter plant nutrition and soil processes. *Biological Reviews* [online] 94(5), 1857-1880. Disponível: <https://doi.org/10.1111/brv.12538>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Topodata - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – INPE. 2008. Altitude. São José dos Campos. Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso: 16 set. 2022.
- Tramujas, A. P., 2000. A vegetação de campos de altitude (áreas de refúgio) no Maciço Ibitiraquiri - Serra do Mar no Estado do Paraná. Dissertação (Mestrado). Curitiba, Universidade Federal do Paraná.
- Trovó, M., Echternacht, L., Sano, P. T., 2012. *Paepalanthus sphaeroides*, a new species of Eriocaulaceae from the Atlantic Forest, Brazil. *Blumea - Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants* [online] 57(2), 105-108. Disponível:

- <https://doi.org/10.3767/000651912X653417>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., Sanders, I. R., 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist* [online] 205, 1406-1423. Disponível: <https://doi.org/10.1111/nph.13288>. Acesso: 14 dez. 2022.
- Varani, A. M., Silva, S. R., Lopes, S., Barbosa, J. B. F., Oliveira, D., Côrrea, M. A., Moraes, A. P., Miranda, V. F. O., Prosdocini, F., 2022. Os genomas organelares completos da planta enteogênica *Psychotria viridis* (Rubiaceae), um componente principal da bebida ayahuasca. *PeerJ* 10 [online] e14114. Disponível: <https://doi.org/10.7717/peerj.14114>. Acesso: 14 dez. 2022.
- Venancio, L. O., Borba, R. P., 2022. Influência do Ribeirão dos Pinheiros na Qualidade de Água do Rio Atibaia, Sub Bacia do Rio Atibaia, São Paulo, Brasil. *Geochimica Brasiliensis* [online] 36, e-22007. Disponível: <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.202236007>. Acesso: 14 dez. 2022.