



CRESCENDO NA OBSCURIDADE: BRIÓFITOS DA ILHA TERCEIRA EM AMBIENTES CAVERNÍCOLAS

CLARA POLAINO MARTÍN^{1*}, ROSALINA GABRIEL², LAURA JENNINGS²,
ISABEL R. AMORIM^{2**}, MARINA HENAR-SÁNCHEZ², ALEJANDRA ROS PRIETO²,
CRISTINA PERONI², EDUARDO DIAS³, PAULO A. V. BORGES^{2,4} & FERNANDO PEREIRA^{1,4}

Algar do Carvão.
Foto: Paulo H. Silva/SIARAM

INTRODUÇÃO

As grutas vulcânicas como ecossistemas extremos

As grutas representam ambientes extremos para a biodiversidade devido a importantes limitações ambientais, das quais as mais significativas serão a ausência de luz e a baixa disponibilidade de substratos, enquanto algumas variáveis ambientais permanecem relativamente constantes, como por exemplo a temperatura e os níveis médios de humidade relativa do ar. Nestes ambientes predomina a rocha e a escuridão, o que limita a colonização por plantas vasculares – que necessitam de solo para as raízes e níveis mais elevados de intensidade luminosa.

A ligação das grutas e algares à superfície ocorre principalmente através de entradas naturais, aberturas provocadas por desabamentos (“skylights”) e fendas nas rochas. Estas aberturas

proporcionam condições intermédias, onde os níveis de luminosidade podem permitir o desenvolvimento de maior diversidade de seres vivos. Algumas das fissuras, são causadas por raízes de plantas, que ao penetrar na gruta aí introduzem microrganismos rizosféricos. Microrganismos como as bactérias são aliás, os seres vivos mais diversos nos ambientes cavernícolas (ex. Dapkevicius & Riquelme, 2013), mas existe também uma fauna (ver Borges *et al.*, 2019a) e flora características destes ambientes.

Existem vários estudos bioespeleológicos publicados sobre os Açores, destacando-se a caracterização das espécies de microrganismos (Riquelme *et al.*, 2015), o inventário da fauna cavernícola e priorização do interesse de conservação das cavidades vulcânicas (Borges *et al.*, 2012), a descrição e divulgação de várias espécies de invertebrados cavernícolas (ex. Amorim, 2005; Amorim *et al.*, 2013; Borges *et al.*, 2019a),

¹OS MONTANHEIROS – GRUPO PARA O ESTUDO DO PATRIMÓNIO ESPELEOLÓGICO DOS AÇORES

²CE3C/GBA – CENTRO DE ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E ALTERAÇÕES AMBIENTAIS / GRUPO DA BIODIVERSIDADE DOS AÇORES. ✉ ROSALINA.MA.GABRIEL@UAC.PT

³CENTRO DE BIOTECNOLOGIA DOS AÇORES (CBA) – UNIVERSIDADE DOS AÇORES.

⁴GESPEA – GRUPO DE TRABALHO PARA O ESTUDO DO PATRIMÓNIO ESPELEOLÓGICO DOS AÇORES

*FINANCIADA PELO PROJECTO REGIONAL PL199392

** FINANCIADA POR FUNDOS NACIONAIS ATRAVÉS DA FCT – FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA, I.P., NO ÂMBITO DA NORMA TRANSITÓRIA – DL57/2016/CP1375/CT0003

e o levantamento de vertebrados (aves) extintos (Alcover *et al.*, 2015), bem como alguns trabalhos de identificação da diversidade de plantas vasculares (Dias & Gabriel, 1994) e de briófitos (González-Mancebo *et al.*, 1991; Gabriel & Dias, 1994; Jennings, 2009).

Em particular os briófitos – plantas que se propagam por esporos e incluem os conhecidos musgos (Caixas 1 a 3; Gabriel *et al.*, 2013), conseguem crescer como organismos pioneiros nas entradas e aberturas de várias grutas, para onde são transportadas pelo vento, pela precipitação ou por aves. A sua capacidade de crescer directamente sobre rocha e em condições de penumbra, faz com que tenham alguma vantagem competitiva em relação às plantas vasculares, mais exigentes quer nas condições do substrato, quer da intensidade luminosa. As entradas das grutas e algares, são assim, locais muitíssimo interessantes para a observação destas plantas, em particular em condições temperadas e húmidas como sucede nos Açores.

Das 69 cavidades vulcânicas que existem na Ilha Terceira (Pereira *et al.*, 2015) a maioria são grutas, tubos de lava mais ou menos longos e estreitos, mas também existem os chamados “algares”, grandes câmaras formadas pela expulsão da lava durante as erupções. Destas 69 cavidades, um tubo de lava – Gruta do Natal, e um algar – Algar do Carvão, são espaços visitáveis na Ilha Terceira, geridos pela Associação Os Montanheiros.

O **objectivo** do presente trabalho é comparar a diversidade de briófitos destas cavidades vulcânicas em diferentes momentos da sua história visitável: a Gruta do Natal, comparando recolhas de 2009 com as de 2019; e o Algar do Carvão, comparando os dados obtidos em 1992 (chaminé) (ver Dias & Gabriel, 1994) e 2009 (paredes junto à escadaria interna) com os de 2019 (chaminé e escadaria). O estudo das espécies detectadas nos vários momentos permite-nos saber se alguma variação surgiu na sua riqueza e diversidade e elaborar acerca das possíveis causas dessa mudança.

A **metodologia** de trabalho contemplou quatro fases:

- 1 Trabalho de recolha e análise de dados previamente publicados sobre os briófitos das cavidades vulcânicas em análise – Gruta do Natal e Algar do Carvão (cf. Caixa 4);
- 2 Trabalho de campo. Procurou repetir-se a metodologia de amostragem realizada anteriormente, de modo a facilitar a comparação entre os diferentes momentos. Assim, tanto na Gruta do Natal como na parte mais profunda do Algar do Carvão (zona da escadaria), foram colectadas amostras de briófitos a partir de quadrados de 30 cm x 30 cm (Figura 1) e obtidos dados de variáveis ambientais como a humidade, luz e tipo de substrato (cf. Jennings, 2009) (Figura 8). As amostragens iniciam-se junto do ponto mais profundo da cavidade onde se detectam briófitos, e prosseguem, de 2 em 2 m, até à abertura principal e são tomadas nos pontos onde se observa a maior abundância e diversidade de espécies. Na Gruta do Natal foram colectadas 12 amostras de briófitos, das quais três foram recolhidas na entrada, até onde a luz natural chegava, e as outras nove ao longo do caminho construído para os visitantes. No Algar do Carvão a amostragem incluiu ainda a descida da chaminé, com recurso a cabos (Figura 2), à semelhança do que tinha sido feito em 1992 (Dias & Gabriel, 1994), contando sempre com



FIGURA 1. Aplicação de um quadrado de 30 cm de lado às paredes das grutas, para recolher as amostras de briófitos a identificar no laboratório. Foto: Cristina Peroni

o equipamento e apoio especializado de profissionais d’Os Montanheiros. Foram recolhidas cinco amostras a cada 5 m ao longo dos primeiros 40 m de altura da chaminé, além de serem feitos 17 pontos de recolha ao longo da escadaria. Todas as amostras foram colocadas em sacos de papel e postas a secar num laboratório com desumidificador, em ambiente escurecido.

- 3 Trabalho de identificação de briófitos. Para a identificação das espécies recorreu-se a uma lupa estereoscópica Leica MZ 12.5 e a um microscópio óptico Leica DM750. Utilizaram-se floras (ex. Casas *et al.*, 2006, 2009; Schumacker & Vána, 2005) e guias de campo (ex. Atherton, Bosanquet & Llawley, 2010; Homem & Gabriel, 2008) bem como antigas colecções de herbário.
- 4 Trabalho de organização e análise de dados. Todos os dados obtidos foram organizados em Excel, programa a partir do qual se fizeram as análises de estatística descritiva necessárias à comparação dos dados temporais. Nesta publicação apresentam-se apenas os cálculos por grande grupo taxonómico (nível da Divisão) e de acordo com a forma de crescimento (hepáticas talosas e folhosas; musgos acrocárpicos, cladocárpicos e pleurocárpicos; cf. Caixa 1), dando alguns exemplos com espécies assinaladas.



FIGURA 2. Descida pela chaminé do Algar do Carvão (Clara Polaino Martín na foto). Foto: Cristina Peroni

Resultados

Apresentam-se de seguida alguns resultados preliminares do inventário de briófitos da Gruta do Natal e do Algar do Carvão feito em 2019, e a sua comparação com os dados obtidos em anos anteriores.

A GRUTA DO NATAL

Em relação ao estudo realizado na Gruta do Natal, foi possível observar 17 espécies, quatro mais que há dez anos, nomeadamente uma espécie de antocerota, duas hepáticas folhosas e uma talosa (Figura 3).

De referir que junto à entrada de luz natural da gruta, foram apenas detectadas duas espécies: uma hepática talosa que revestia a maior parte da área, e um musgo acrocárpico, ambos já identificados nessa zona. Ou seja, é na zona iluminada artificialmente que existe maior diversidade de briófitos – tal como já se tinha observado em 2009.

ALGAR DO CARVÃO

Por outro lado, no Algar do Carvão, a riqueza de espécies é muito superior à observada na Gruta do Natal, diferindo ligeiramente no perfil de espécies observado no passado (1992 e 2009). A identificação resultou em 47 géneros (43 géneros identificados anteriormente) tendo-se alterado o perfil anteriormente observado, com maior predominância de musgos pleurocárpicos (Figura 4).

Para aprofundar o resultado obtido no Algar do Carvão é necessário fazer uma divisão da área amostrada segundo as três zonas fóticas detectadas. A primeira desde a boca natural da chaminé até à entrada oficial e acessível aos visitantes (570 a 540 m de altitude), a segunda seguindo o percurso visitável e que apresenta tanto zonas de luz natural como artificial (540 a 515 m), e a terceira, que corresponde à de maior escuridão, mas que ainda apresenta pequenas manchas de briófitos (515-510 m) (Figura 5).

A predominância de musgos pleurocárpicos verifica-se actualmente na área mais profunda do Algar do Carvão, tendo aparentemente substituído algumas das espécies de hepáticas.

Vale a pena também notar que, apesar de haver uma maior diversidade na zona de maior altitude (570-540 m), possivelmente devido a mais luz natural e contacto com o exterior, a maioria das espécies encontradas nesta zona fótica são consideradas raras fora das grutas ou florestas nativas.

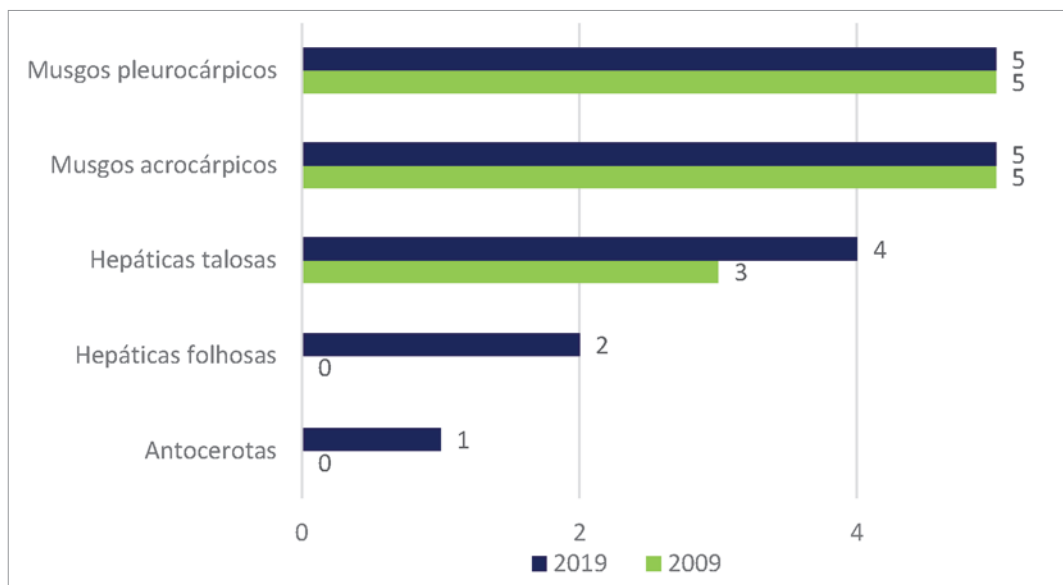


FIGURA 3. Riqueza de espécies observadas na Gruta do Natal em 2009 e 2019 de acordo com a forma de crescimento.

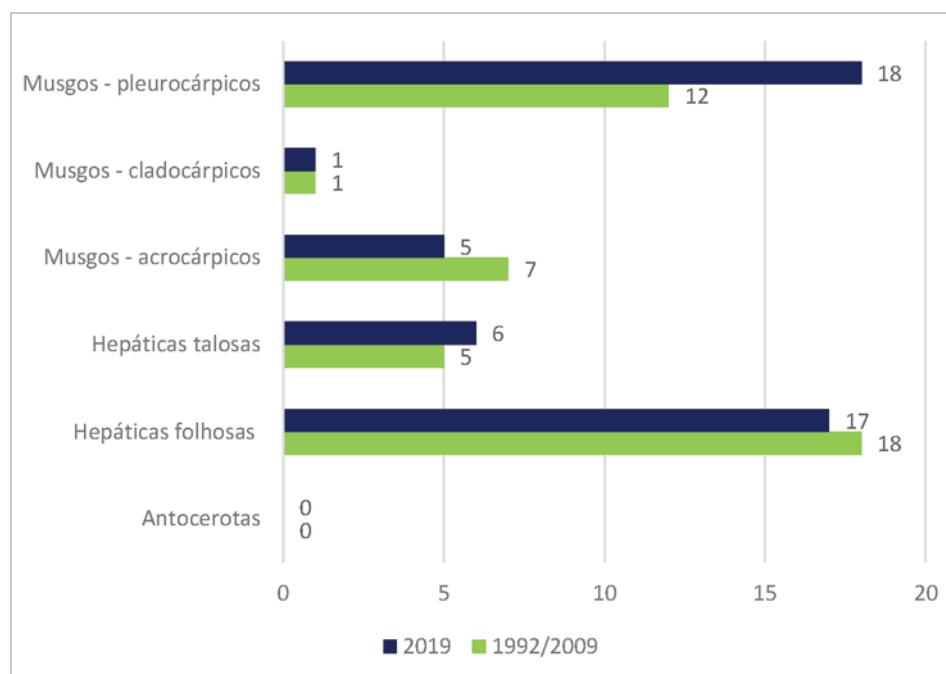
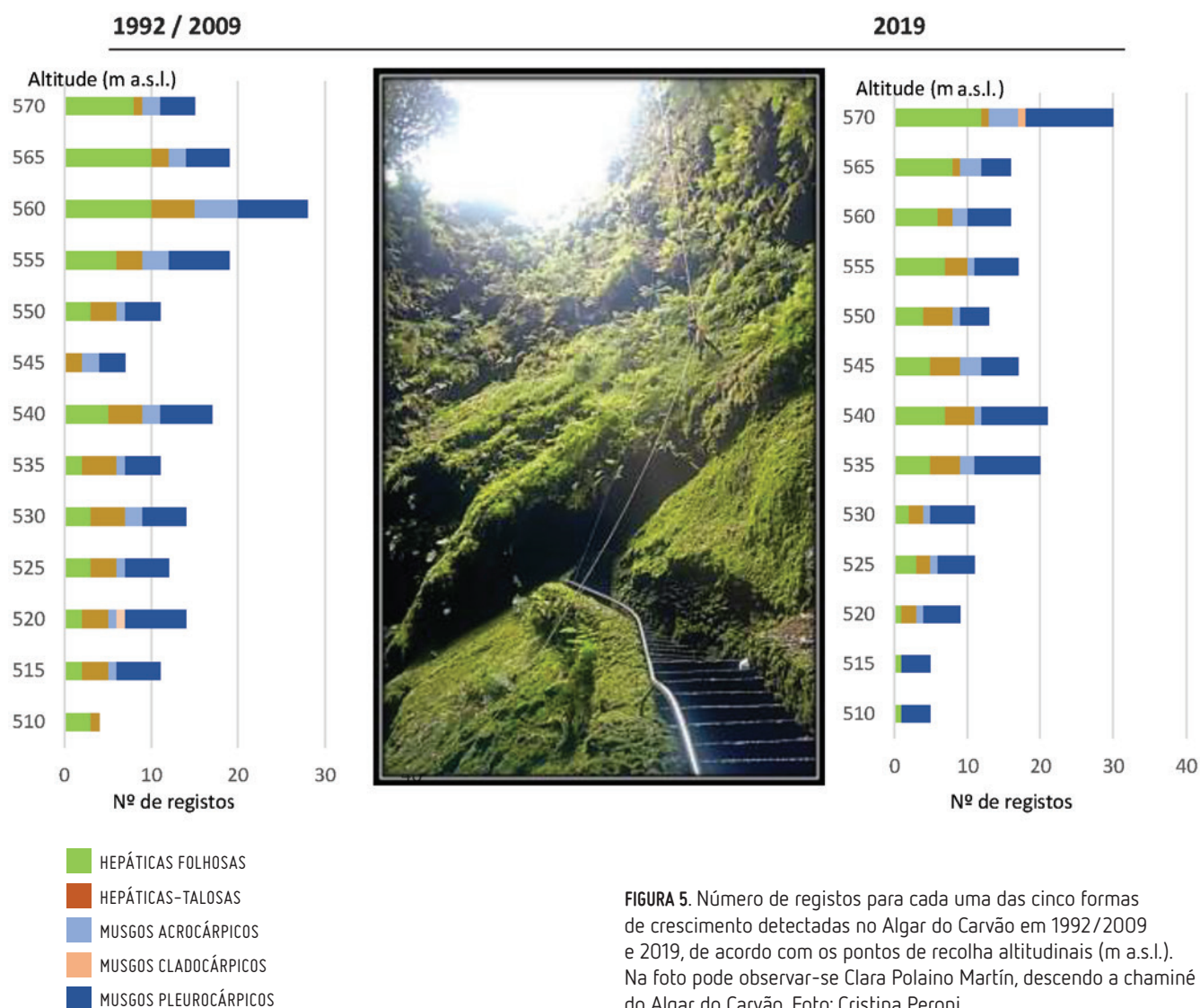


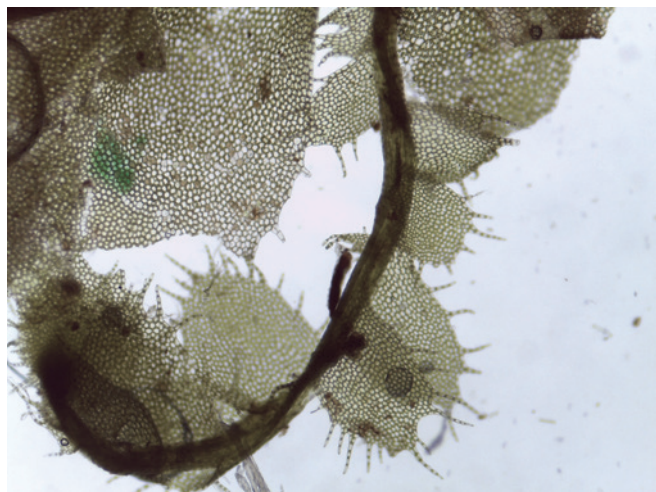
FIGURA 4. Riqueza de gêneros observada no Algar do Carvão em 1992/2009 e em 2019 de acordo com a forma de crescimento.



PRESENÇA DE ESPÉCIES RARAS

Várias espécies de briófitos, raras a nível Europeu, aparecem com populações densas em alguns destes misteriosos lugares. A hepática talosa *Asterella africana*, a hepática folhosa *Plagiochila longispina* ou o musgo pleurocárpico *Tetrastichium fontanum* (cf. figura 6), são exemplos de espécies que integram a Lista Vermelha de Briófitos da Europa (Hodgetts *et al.*, 2019) e realçam a importância das cavidades vulcânicas como habitats para a conservação destas plantas (Gabriel, Sim-Sim & González-Mancebo, 2018).

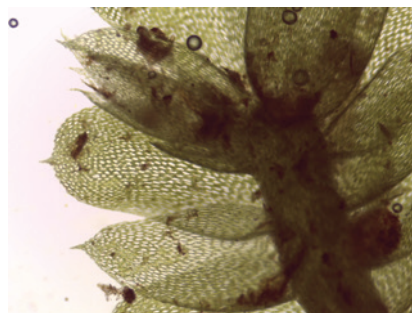
A análise da distribuição de uma espécie considerada em perigo de extinção na Europa, a hepática folhosa *Plagiochila longispina*, ao longo do gradiente altitudinal do Algar do Carvão (Figura 7) mostra a importância deste espaço como refúgio para espécies raras e nativas que dificilmente conseguem sobreviver na matriz territorial circundante (por exemplo, pastagens ou florestas exóticas).



Hepática folhosa *Plagiochila longispina*, considerada em perigo de extinção na Europa.



Hepática folhosa *Calypogeia azorica*, considerada em perigo de extinção na Europa.



Musgo pleurocárpico *Tetrastichium fontanum*, considerado vulnerável na Europa.

FIGURA 6. Algumas espécies cuja conservação está ameaçada na Europa e que estão presentes nas entradas de cavidades vulcânicas dos Açores. Fotos: Clara Polaino

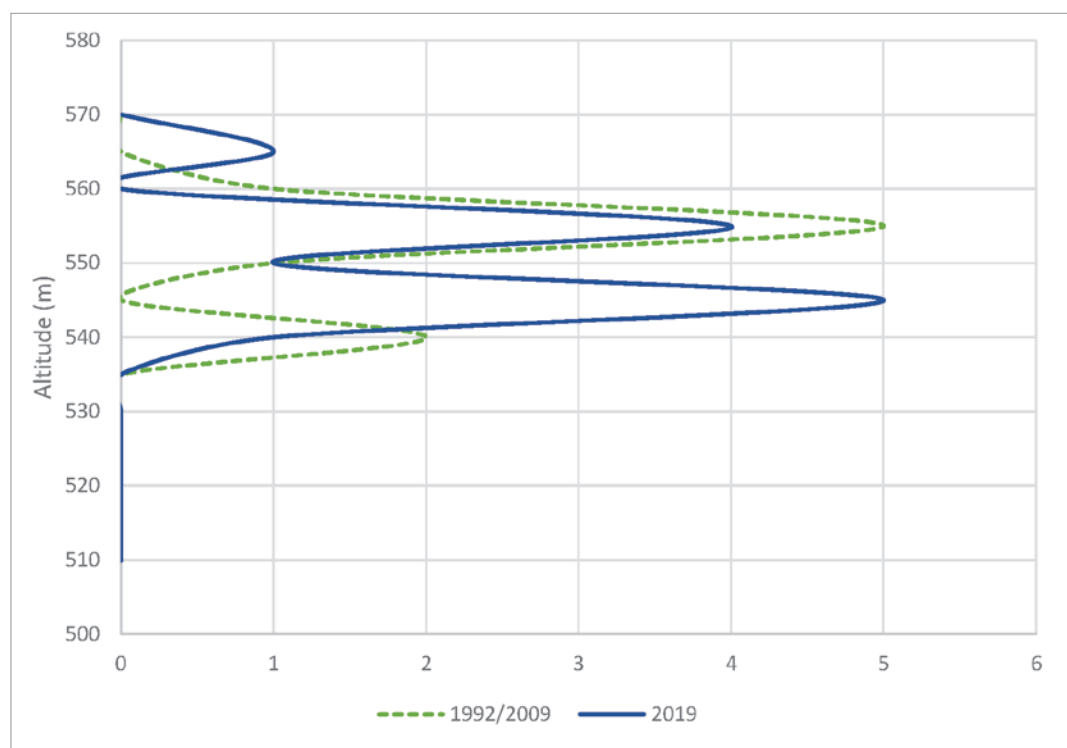


FIGURA 7. Número de registos da espécie *Plagiochila longispina* presente no Algar do Carvão, ao longo dos vários níveis altitudinais e do tempo (1992/2009 e 2019).



FIGURA 8. Cristina Peroni tomando notas no Algar do Carvão
Foto: Marina Henar-Sánchez

Áreas privilegiadas para a conservação da biodiversidade de briófitos

Os resultados que agora se apresentam confirmam a importância das entradas das cavidades vulcânicas como valiosos auxiliares na conservação de espécies de briófitos.

É notável que a maioria das espécies assinaladas no Algar do Carvão em 1991 (González-Mancebo, Losada-Lima & Hernández-García, 1991), em 1992 (Gabriel & Dias, 1994) e em 2009 (Jennings, 2009), tenha sido observadas também em 2019, apontando para alguma estabilidade do sistema. Análises mais aprofundadas terão ainda de ser conduzidas, de modo a tentar identificar as causas do predomínio de musgos pleurocárpicos sobre as hepáticas, nas zonas de maior visitação, que parece estar a suceder.

No caso da Gruta do Natal, também é interessante verificar que há um conjunto de espécies que parece ter-se estabelecido no interior da gruta, junto aos focos de luz artificial, e que poderá estar a descaracterizar este espaço de obscuridade. Estes resultados poderão merecer uma reflexão por parte da entidade de gestão desta gruta e indicar algumas pistas de gestão para outras grutas do arquipélago e não só. De facto, estão já a ser ensaiadas soluções com lâmpadas diferentes na Gruta do Natal, de modo a reduzir a flora que cresce no interior da cavidade vulcânica associada à iluminação artificial (“Lampen flora”), em particular a flora de briófitos e algas.

Ambas as cavidades em apreço se encontram protegidas por lei. As Áreas Protegidas são reconhecidas como uma das ferramentas de conservação mais eficazes e económicas para proteger a biodiversidade. Neste caso, as condições da Reserva Nacional de Florestas e do Geoparque Açores (<https://www.azoresgeopark.com/>; UNESCO) representam valores muito positivos para a conservação do ambiente e o combate à erosão da biodiversidade (Borges *et al.*, 2019b), potenciada pelas alterações climáticas previsíveis, bem como pela perda e descaracterização dos ecossistemas que estas espécies tradicionalmente ocupariam.

Há ainda que lembrar que existem numerosas cavidades vulcânicas nos Açores (Pereira *et al.*, 2015), um património natural a proteger de forma efectiva, agora que se encontram protegidas de forma legal (Decreto Legislativo

Regional n.º 10/2019/A). É reconhecido que existem factores de ameaça à conservação destes locais no arquipélago. Algumas são devidas a causas naturais, como as mudanças do clima, mas a maioria é devida à actividade humana. A presença de espécies invasoras, introduzidas intencional ou acidentalmente, e as alterações causadas pelos proprietários ou gestores dos terrenos onde as cavidades vulcânicas estão implantadas são disso exemplo. A transformação de terrenos incultos em pastagens, a construção urbana, as derrocadas, o abandono de resíduos domésticos ou da agro-pecuária, bem como o depósito de resíduos transportados pelo vento e água, e o escoamento de esgotos urbanos e águas residuais são algumas das ameaças à conservação destes ecossistemas delicados.

A reactivação do “Grupo de trabalho para o Estudo do Património Espeleológico dos Açores” (GESPEA), poderia ser um passo importante para coordenar um conjunto de acções para a protecção, conservação e valorização do Património Espeleológico dos Açores (PEA). Ou seja, com o conhecimento obtido até ao momento sobre a riqueza de briófitos, e muitos outros elementos biológicos e geológicos, nestas e em outras grutas e algares do arquipélago, será possível fazer uma apreciação mais global da sua importância para a conservação e valorização deste património natural e da própria identidade açoriana.

Outra estratégia de protecção poderia ser a aplicação do conceito de “microrreserva” a algumas das cavidades vulcânicas no arquipélago. As microrreservas são figuras de protecção, que visam promover pequenos espaços onde há concentração de valores naturais relevantes ou mesmo espécies únicas (García-Fernández, Draper & Ros, 2010). Este podia ser o caso para alguns tubos de lava em cuja entrada se encontra grande riqueza de espécies, coincidindo algumas, com as identificadas no Algar do Carvão e na Gruta do Natal.

A Gruta do Natal e o Algar do Carvão além de serem um referencial patrimonial da Ilha Terceira, têm provado ser um bom exemplo de conservação em termos de biodiversidade. Estes monumentos geológicos sem dúvida têm demonstrado ser excelentes locais para estudos de longo prazo de briófitos e a sua gestão pode trazer importantes dados para a investigação sobre a evolução da biodiversidade dos ecossistemas vulcânicos do arquipélago.

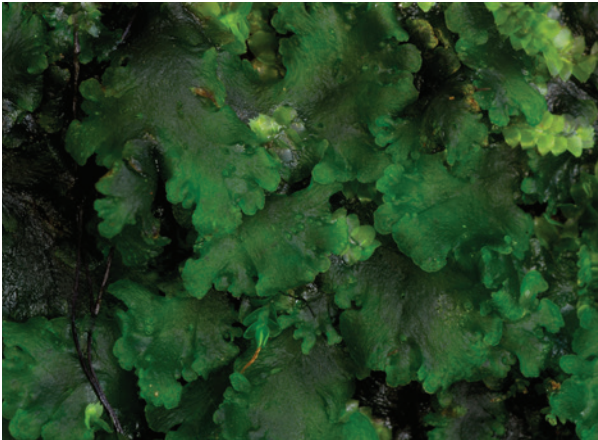
Finalmente, e embora não seja o principal propósito deste trabalho, salienta-se que a presença de briófitos nas entradas das cavidades vulcânicas, sobretudo nas visitáveis, potencia os objectivos pedagógicos da gestão das cavidades vulcânicas, sendo uma excelente oportunidade de divulgar a riqueza geológica, biológica e cultural destes ecossistemas.

Caixa 1. Características das três linhas evolutivas de briófitos.

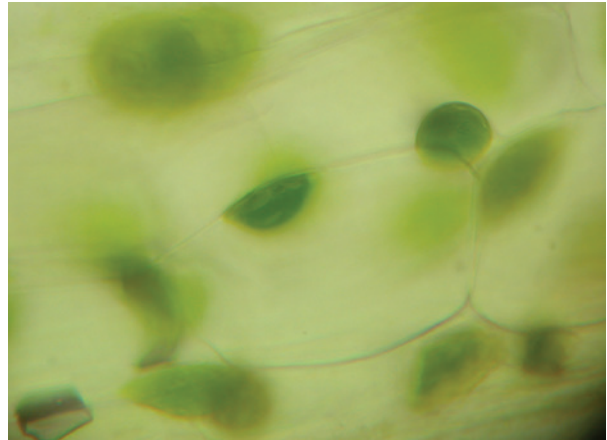
Os briófitos incluem três linhas taxonômicas distintas: Antocerotas (Divisão Anthocerotophyta), Hepáticas (Divisão Marchantiophyta) e Musgos (Divisão Bryophyta).

DIVISÃO ANTHOCEROTOPHYTA:

Antocerotas. Pequenas plantas talosas, com poucas camadas de células de espessura, que crescem muito próximo do substrato (a); apresentam um único cloroplasto, grande, por célula (b). A cápsula é cilíndrica, de crescimento indeterminado e abre por duas valvas. Formam associações com cianobactérias, promovendo a fixação de azoto atmosférico.



(a) *Anthoceros* sp. exibindo um talo lobado, verde-escuro, fino.
Foto: Paulo Henrique Silva



(b) Células do talo de *Anthoceros caucasicus*, mostrando um único cloroplasto por célula. Foto: Nídia Homem

DIVISÃO BRYOPHYTA:

Musgos. Plantas em que se diferenciam caulídios e filídios e por vezes rizóides. Os filídios, geralmente lanceolados, por vezes com nervura, estão dispostos em espiral em torno do caulídio (simetria radiada) (c). Na maioria das espécies a geração esporófito é formada por um pé, uma seda (lenhificada) e uma cápsula deiscente por opérculo (d). Distinguem-se musgos acrocárpico (caulídios maioritariamente individuais e erectos, não ramificados; esporófito surgindo do ápice do caulídio) (c, d), de musgos cladocárpico (caulídios erectos, mas ramificados, com o esporófito surgindo de pequenos ramos laterais) e de musgos pleurocárpico (caulídios prostrados, ramificados; esporófitos surgindo em vários pontos dos caulídios) (e, f).



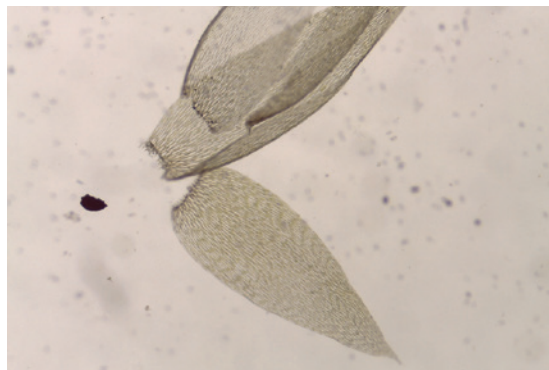
(c) *Campylopus shawii*. Musgo acrocárpico, com o eixo central erecto, não ramificado, e os filídios dispostos radialmente. Esta espécie pode ser observada no Algar do Carvão.
Foto: Jan-Peter Frahm



(d) O musgo acrocárpico *Fissidens luisieri* apresenta filídios lanceolados com nervura, secundariamente complanados; na foto é possível observar os esporófitos (seda e cápsula) no ápice do caulídio. Foto: Jan-Peter Frahm



(e) *Kindbergia praelonga*. Musgo pleurocárpico, com eixos principais e secundários, cobertos por filídios dispostos radialmente. Foto: Jan-Peter Frahm



(f) Filídios lanceolados de *Tetrastichium virens*, um musgo pleurocárpico comum em cavidades vulcânicas. Foto: Clara Polaino

DIVISÃO MARCHANTIOPHYTA:

Hepáticas. Plantas com simetria bilateral e esporófito sem lenhina. Morfologicamente é possível distinguir dois tipos de hepáticas: hepáticas talosas, cujo gametófito é semelhante a uma fita, com divisão dicotômica (g, h) e hepáticas folhosas (i, j), cujo gametófito está organizado a partir de um caulídio e filídios orbiculares, por vezes com um terceiro filídio ventral, o anfigastro, mais pequeno e com forma diferente.

HEPÁTICAS TALOSAS



(g) *Asterella africana*, hepática talosa aderente ao substrato, com estrutura achatada e prostrada. Os gametângios (loais onde se formam os gâmetas) são elevados, assemelhando-se a pequenas "sombriinhas". Foto: Paulo A. V. Borges

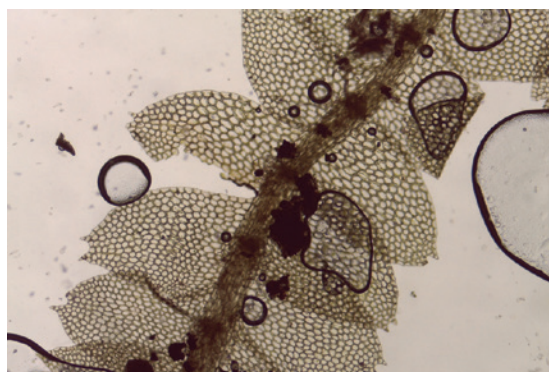


(h) *Dumortiera hirsuta*, hepática talosa, de tom verde-escuro, e aspecto ligeiramente "encerado", com simetria bilateral, e crescimento dicotômico. Nos Açores esta planta pode encontrar-se na entrada de várias cavidades vulcânicas. Foto: Jan-Peter Frahm

HEPÁTICAS FOLHOSAS



(i) *Heteroscyphus denticulatus*, hepática folhosa endêmica da Macaronésia (Açores, Madeira e Canárias) considerada "Quase Ameaçada" na Europa (NT), que pode ser observada na entrada de várias grutas dos Açores. Foto: Pedro Cardoso



(j) *Calypogeia fissa*, hepática folhosa, com vasta distribuição europeia. Podem observar-se as anfigastros (pequenos filídios ventrais) e a disposição bilateral dos filídios junto ao eixo. Foto: Clara Polaino

Caixa 2. Algumas características dos briófitos

BIOLOGICAMENTE, OS BRIÓFITOS...

- São plantas! Fazem fotossíntese, produzem oxigénio e glucose e sequestram dióxido de carbono;
- Encontram-se na base da evolução das plantas terrestres, tendo sido dos primeiros organismos a colonizar o ambiente terrestre, há entre 510 e 630 M.A.;
- Têm um tamanho pequeno; a maioria das espécies apresenta entre 1 a 10 cm de altura, o que está directamente relacionado com a ausência de tecidos vasculares (xilema e floema);
- Têm um ciclo de vida haplodiplonte, quer dizer, com uma geração assexuada, efémera e produtora de esporos (geração esporófito), e uma geração sexuada, persistente e produtora de gâmetas (anterídios, gâmetas masculinos, móveis; oosferas, gâmetas femininos, imóveis) (geração gametófito).

EM TERMOS DE SERVIÇOS DE ECOSISTEMAS, OS BRIÓFITOS...

- Crescem em todos os ambientes terrestre, dos polos ao equador, do nível do mar aos cumes das montanhas e são colonizadores pioneiros povoando, entre outros, ambientes extremos (ex. rocha nua, folhas de outras plantas, desertos), mas também podem ter estratégias de vida de duração longa, colonizando ambientes muito complexos (ex. florestas);
- Retêm água e nutrientes ao longo de todo o ano nos ambientes onde se encontram; algumas espécies chegam a acumular mais de 30 vezes o seu peso seco em água (ex. *Sphagnum* spp.);
- Ao crescerem muito próximos dos substratos, ajudam a minimizar a sua erosão, nomeadamente a erosão do solo;
- Algumas espécies têm um papel activo na decomposição da matéria orgânica;
- Servem de refúgio (embora poucas vezes de alimento) a vários invertebrados e outros organismos (ex. cianobactérias, algas verdes);
- Pelas suas características morfológicas (ausência de raízes) e ecológicas (presença ao longo do tempo nos vários ecossistemas, por quase não serem consumidos por herbívoros) os briófitos são excelentes indicadores ambientais, indicando pureza atmosférica e aquática nos lugares que colonizam;

- Sobretudo os musgos, são conhecidos da maior parte das pessoas e evocam associações culturais variadas (ex. presépios);
- São cada vez mais utilizados na composição de jardins e parques, pela sua beleza, resiliência e baixa manutenção.

EM TERMOS DE CONSERVAÇÃO, OS BRIÓFITOS...

- Não estão isentos de ameaças, como demonstra a recentemente publicada Lista Vermelha de Briófitos da Europa (Hodgetts et al., 2019), que inclui 379 espécies com problemas de conservação (58 CR - em perigo crítico de extinção; 141 EN - em perigo de extinção; e 180 VU - vulneráveis), além de 173 espécies quase ameaçadas (NT);
- Nos Açores formam comunidades exuberantes e complexas, ricas em endemismos e espécies "reliquia", mas na última Lista Vermelha da Europa, 53 espécies apresentam problemas de conservação (4 CR; 26 EN; 23 VU), além de existirem ainda 40 espécies classificadas como quase ameaçadas (NT);
- As alterações climáticas, nomeadamente o aumento de temperatura e a diminuição da precipitação na Macaronésia (Patiño et al., 2016), as alterações de uso do solo nomeadamente provocadas pela crescente urbanização e aumento das redes viárias (Vergílio et al., 2016), bem como a degradação da qualidade dos ecossistemas, frequentemente motivada pela introdução de espécies exóticas invasoras (Silva, Ojeda & Rodrigues-Luengo, 2008) são as principais ameaças à conservação dos briófitos nos Açores;
- A maioria das espécies ameaçadas está presente nos Parques Naturais dos Açores, o que lhes confere algum grau de protecção; dos 69 locais registados como locais de interesse especial para os briófitos na Europa (ECCB, 1995), seis estão localizados nos Açores e todos incluem áreas florestais; no entanto, a conservação a longo prazo poderá vir a ser posta em causa, devido a alterações várias, nomeadamente climáticas (Ferreira et al., 2019);
- Estão presentes nas entradas de cavidades vulcânicas onde encontram refúgio, por vezes numa matriz ambiental muito menos propícia à sua conservação (Gabriel, Sim-Sim & González-Mancebo, 2018).

Caixa 3. Briófitos em números

Os briófitos são o segundo maior grupo de plantas existentes na Terra, depois do grande grupo das plantas com flor (angiospérmicas):

- No mundo existem cerca de 22 000 espécies de briófitos, que representam três linhas evolutivas: antocerotas (ca. 100 espécies), hepáticas (ca. 8 000 espécies) e musgos (ca. 14 000 espécies);
- Na Europa existem 1 871 espécies de briófitos (oito espécies de antocerotas; 487 hepáticas; 1 376 musgos);
- Na Macaronésia (Açores, Madeira e Canárias) existem mais de 800 espécies de briófitos (seis espécies de antocerotas; 255 hepáticas; 540 musgos);
- Para os Açores estão referidas mais de 520 espécies de briófitos (cinco antocerotas, 192 hepáticas e 323 musgos), das quais sete são endémicas do arquipélago, ou seja, só existem nestas ilhas;
- Para as Cavernas Vulcânicas dos Açores, foram referidas ao longo do tempo 201 espécies de briófitos (três espécies de antocerotas, 80 de hepáticas e 118 de musgos), o que representa mais de um terço (38,6%) de todas as espécies conhecidas do arquipélago;
- Onze espécies de briófitos (seis hepáticas; cinco musgos) classificadas como vulneráveis ou em perigo de extinção na Europa encontram refúgio nas entradas das cavernas vulcânicas dos Açores.

Caixa 4. Breve descrição das cavidades vulcânicas estudadas neste trabalho

GRUTA DO NATAL. Acredita-se que este tubo vulcânico, de 697 m de comprimento, tenha tido origem nos fluxos de lava provenientes de erupções fissurícolas entre os vales da área central da Ilha Terceira. Inclui características geológicas únicas, como vários tipos de lava, estalactites e estalagmites vulcânicas. Actualmente, esta gruta está incluída na “Reserva Florestal Nacional da Serra de Santa Bárbara e Mistérios Negros” do Parque Natural da Terceira (Decreto Legislativo Regional n.º 11/2011/A de 20 de Abril). Apesar de ter sido reabilitada e aberta ao público em 1969, só em 1999 se tornou uma das principais atracções turísticas da Ilha Terceira.

ALGAR DO CARVÃO. Graças à datação de fósseis sabe-se que o Algar do Carvão se formou há 2 148 anos. Considera-se que uma série de erupções ocorridas no norte da região vulcânica de Guilherme Moniz determinou a formação do vulcão estromboliano Pico do Carvão. Em teoria, a formação do algar ocorreu na fase final, com a rápida descida do magma nos tubos mais profundos e na câmara. O resultado é uma cratera de 15 m x 20 m e 90 m de profundidade, com uma pequena lagoa no fundo. Após a abertura oficial ao público em 1968, em 1987 foi instalado um sistema fixo de iluminação no interior e uma casa de apoio, facilitando a recepção de milhares de visitantes por ano, vindos de todo o mundo. É classificado como Monumento Natural Regional, integra a Zona Especial de Conservação (ZEC) da serra de Santa Bárbara e Pico Alto no âmbito da Rede Natura 2000 e o sítio Ramsar – Planalto Central da Terceira.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo FEDER (85%) e por fundos públicos açorianos (15%) através do Programa Operacional Açores 2020, projecto AZORESBIOPORTAL – PORBIOTA (ACORES-01-0145-FEDER-000072). A primeira autora (CPM) agradece ao Programa Estágio L PL199392.

Estamos muito gratos a todos quantos possibilitaram este trabalho, nomeadamente a Direcção da Associação Os Montanheiros, na pessoa do Eng.º Paulo Barcelos. Também gostaríamos de agradecer a cedência de fotografias, nomeadamente ao coordenador do Portal da Biodiversidade dos Açores, Dr. Paulo A. V. Borges e aos fotógrafos Paulo Henrique Silva, Pedro Cardoso, Nidia Homem e Jan-Peter Frahm. Finalmente, dedicamos este trabalho a todos os colegas que têm trabalhado ao longo do tempo na identificação de briófitos dos Açores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcover, J.A., Pieper H., Pereira, F. & Rando J.C. (2015). Five new extinct species of rails (Aves: Gruiformes: Rallidae) from the Macaronesian Islands (North Atlantic Ocean). *Zootaxa*, 4057(2), 151-190.
- Amorim, I.R. (2005). Colonization and diversification on oceanic islands: forest *Tarphius* and cave-dwelling *Trechus* beetles of the Azores. Ph.D. dissertation, Dpt. EEB, UCLA, 282 pp.
- Amorim, I.R., Pereira, F., Gabriel, R. & Borges, P.A.V. (2013). Bichos e outras criaturas das profundezas – habitats subterrâneos dos Açores. *Pingo de Lava*, 37: 52-56.
- Atherton, D.M., Bosanquet, S.D.S. & Llawley, M. (2010). *Mosses and Liverworts of Britain and Ireland: A Field Guide*. British Bryological Society, London. 848 pp.
- Borges, P.A.V., Amorim, I.R. & Oromí, P. (2019a). The Azores. Pp. 49-54 in: C. Juberthie and V. Decu (eds.) *Encyclopaedia Biospeologica*, (2nd ed.). International Society for Subterranean Biology, Moulis, France.

- Borges, P.A.V., Cardoso, P., Amorim, I., Pereira, F., Constância, J.P., Nunes, J.C., Barcelos, P., Costa, P., Gabriel, R. & Dapkevicius, M.L. (2012). Volcanic caves: priorities for conserving the Azorean endemic troglobiont species. *International Journal of Speleology*, 41: 101-112.
- Borges, P.A.V., Santos, A.M.C., Elias, R.B. & Gabriel, R. (2019b). The Azores Archipelago: Biodiversity erosion and conservation biogeography. Pp. 1-18 in: E. Scott *et al.* (eds.) *Encyclopaedia of the World's Biomes - Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Casas, C., Brugués, M., Cros, R.M. & Sérgio, C. (2006). *Handbook of mosses of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. 349 pp.
- Casas, C., Brugués, M., Cros, R.M., Sérgio, C. & Infante, M. (2009). *Handbook of liverworts of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. 177 pp.
- Dapkevicius, M.L.E. & Riquelme Gabriel, C. (2013). Vida microbiana nas grutas nos Açores. *Pingo de Lava*, 37: 69-75.
- Dias, E. & Gabriel, R. (1994). Distribuição das comunidades vegetais no Algar do Carvão (Terceira, Açores). In p. 214-226: *Actas do 3º Congresso Nacional de Espeleologia e do 1º Encontro Internacional de Vulcano-espeleologia das Ilhas Atlânticas* (30 de Setembro a 4 de Outubro de 1992). Angra do Heroísmo, Os Montanheiros.
- ECCB (1995). *Red Data Book of European Bryophytes*. European Committee for the Conservation of Bryophytes, Trondheim.
- Ferreira, M.T., Cardoso, P., Borges, P.A.V., Gabriel, R., Azevedo, E.B. & Elias, R.B. (2019) Implications of climate change to the design of protected areas: the case of small islands (Azores). *PLOS One*, 14(6), e0218168.
- Gabriel, R. & Dias, E. (1994). First approach to the study of the Algar do Carvão flora (Terceira, Açores). In p. 206-213: *Actas do 3º Congresso Nacional de Espeleologia e do 1º Encontro Internacional de Vulcano-espeleologia das Ilhas Atlânticas* (30 de Setembro a 4 de Outubro de 1992). Angra do Heroísmo, Os Montanheiros.
- Gabriel, R., Homem, N., Aranda, S.C., Coelho, M.C.M., Henriques, D. & Pereira, F. (2013). Musgos!? 13 ideias sobre musgos e outras plantas dos Açores. *Pingo de Lava*, 37: 76-85.
- Gabriel, R., Sim-Sim, M. M., & González-Mancebo, J. M. (2018, August). Conservation concern' bryophytes find refuge on cave entrances in the Azores. In *ARPHA Conference Abstracts* (Vol. 1, p. e29395). Pensoft Publishers.
- García-Fernández, M. E., Draper, I., & Ros, R. M. (2010). Contribución a la conservación de la biodiversidad en la Región de Murcia: áreas importantes para briófitos. *Boletín de la Sociedad Española de Briología*, 34(35), 37-60.
- González-Mancebo, J. M., Losada-Lima, A. & Hernández-García, C. D. (1991). A contribution to the floristic knowledge of caves on the Azores. *Mémoires de Biospéologie*, 17: 219-226.
- Hodgetts, N., Calix, M., Englefield, E., Fettes, N., García Criado, M., Patin, L., *et al.* (2019). A miniature world in decline: European Red List of Mosses, Hornworts and Liverworts. Brussels, Belgium: IUCN. 88 pp.
- Homem, N. & Gabriel, R. (2008). *Briófitos Raros dos Açores / Azorean Rare Bryophytes*. Príncipe Editora, Estoril. 96 pp.
- Jennings, L.V.S. (2009). Azorean cave bryophytes: the conservation of an understudied group in an underprotected habitat. *Master Degree in Biodiversity, Conservation and Management*. Centre for the Environment, University of Oxford. Oxford.
- Patiño, J., Mateo, R.G., Zanatta, F., Marquet, A., Aranda, S.C., Borges, P.A.V., Dirkse, G., Gabriel, R., Gonzalez-Mancebo, M., Guisan, A., Muñoz, J., Sim-Sim, M. & Vanderpoorten, A. (2016) Climate threat on the Macaronesian endemic bryophyte flora. *Scientific Reports*, 6: 29156, 1-12.
- Pereira, F., Nunes, J.C., Borges, P.A.V., Costa, M.P., Constância, J.P., Barcelos, P.J.M., Braga, T., Gabriel, R., Amorim, I.R., Lima, E.A., Garcia, P. & Medeiros, S. (2015). *Catálogo das cavidades vulcânicas dos Açores (Algarves Vulcânicos e Grutas Lávicas, e de Erosão Marinha) / Catalogue of the Azorean Volcanic Caves (Volcanic pits, Lava tubes and Sea-Erosion caves)*. Os Montanheiros/GESPEA, Angra do Heroísmo. 286 pp.
- Riquelme, C., Rigal, F., Hathaway, Northup, D.E., Spilde, M.N., Borges, P.A.V., Gabriel, R., Amorim, I. & Dapkevicius, M.L.N.E. (2015). Cave microbial community composition in oceanic islands: disentangling the effect of different colored mats in diversity patterns of Azorean lava caves. *FEMS-Microbiology Ecology*, 91: 1-12.
- Schumacker, R. & Vána, J. (2005). *Identification keys to the liverworts and hornworts of Europe and Macaronesia (Distribution and status)*. 2nd Edition. Sorus, Poznan. 171 pp.
- Silva, L., Ojeda, E.L. & Rodriguez-Luengo, J.L. (Eds.) (2008). *Invasive Terrestrial Flora & Fauna of Macaronesia. TOP 100 in Azores, Madeira and Canaries*. ARENA, Ponta Delgada. 546 pp.
- Vergílio, M., Fonseca, C., Calado, H., Borges, P.A.V., Elias, R.B., Gabriel, R., *et al.* (2016). Assessing the efficiency of protected areas to represent biodiversity: a small island case study. *Environmental Conservation*, 43 (4): 337-349.

LEGISLAÇÃO CITADA

- Decreto Legislativo Regional n.º 21/93/A, de 23 de Dezembro - Aplica à Região Autónoma dos Açores o Decreto-Lei n.º 19/93, de 23 de Janeiro (Rede Nacional de Áreas Protegidas). Diário da República n.º 298/1993, Série I de 1993-12-23: 7137 - 7138.
- Decreto Legislativo Regional n.º 11/2011/A de 20 de Abril - Cria o Parque Natural da Terceira. Diário da República n.º 78/2011, Série I de 2011-04-20: 2355 - 2373
- Decreto Legislativo Regional n.º 10/2019/A de 22 de Maio - Regime de proteção e classificação das cavidades vulcânicas dos Açores. Diário da República n.º 98/2019, Série I de 2019-05-22: 2560 - 2564.



Gruta da Malha (Clara Polaino Martín e Cristina Peroni).
Foto: Marina Henar-Sánchez