



# ALGAS EM AMBIENTES TERRESTRES

JOSÉ AZEVEDO, EDUARDO DIAS & CÂNDIDA MENDES\*

\* GEVA — GABINETE DE ECOLOGIA VEGETAL APLICADA E CBA—CENTRO DE BIOTECNOLOGIA DOS AÇORES. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DO AMBIENTE, UNIVERSIDADE DOS AÇORES. RUA CAPITÃO JOÃO D'ÁVILA. 9700-042 ANGRA DO HEROÍSMO. PORTUGAL.

É **SENSO COMUM ASSOCIAR ALGAS** a ambientes aquáticos e de facto na grande maioria das situações assim é. Estas podem habitar uma grande vastidão de ambientes, tais como ecossistemas de água doce (Fig. 1), água salgada ou até mesmo água hipersalina. Contudo, nem todas as algas se restringem aos ambientes aquáticos, algumas alcançaram e sobreviveram em ambientes terrestres. Trata-se de um grupo de organismos muito pouco estudado, independentemente do biótopo associado. É então sobre estes seres peculiares, designados de algas terrestres que este artigo se vai debruçar. A importância ecológica das algas terrestres (e organismos associados tais como líquenes e cianobactérias) é relevante na natureza açoriana, mas amplamente desconhecida.

## 1) Introdução às algas

As algas são organismos fotossintéticos, ou seja, contêm clorofila e conseqüentemente a capacidade de realizar fotossíntese. O seu corpo é constituído por apenas um talo (desprovido de raiz, caule e folhas) estando representadas por uma variedade de organismos eucariontes (possuem um núcleo definido - núcleo verdadeiro - através de uma membrana nuclear) que podem ir desde seres unicelulares até organismos multicelulares. A presença de algas em ambientes terrestres divide-se em dois níveis. As algas que se desenvol-



FIGURA 1. Algas num ambiente de água livre de uma turfeira. Foto de C. Mendes.



2

**FIGURA 2.** Algas subaéreas (ambientes terrestres) em troncos de árvores sob a forma de biofilme. Foto de J. Azevedo.

vem abaixo da superfície do solo são designadas de algas subterrâneas. Quando encontradas acima da superfície passam a designar-se de algas subaéreas (Fig. 2). As últimas, pela sua posição física, enfrentam maiores ameaças tais como dessecação por parte do ambiente (devido a ventos, falta de humidade, etc.) (Nienow, 1996).

As condições ambientais distintas do meio terrestre levou as algas a desenvolver certas adaptações morfológicas e fisiológicas. Deste modo tornaram-se geograficamente amplas, estando presentes em vários tipos de florestas, grutas, passando por desertos e chegando mesmo a zonas polares (com condições ecológicas extremas). Os ecossistemas acima mencionados contêm vários substratos que são utilizados por algas, nomeadamente, o solo, as rochas, as plantas e as suas folhas, e até mesmo o corpo de alguns animais.

Nas situações em que o solo é o substrato, as algas nele presentes denominam-se algas edáficas. As populações destas algas estão dependentes dos fatores ambientais do solo, ou seja, da luz que nele penetra, da sua humidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes e pH, e sendo as algas seres fotoautotróficos o papel da luz torna-se evidente na distribuição vertical das suas populações. Deste modo as populações de algas são em maior quantidade nos centímetros superiores do solo, diminuindo rapidamente essa quantidade com a profundidade, podendo, no entanto, ocorrer algas em camadas mais profundas devido a infiltrações de água ou atividades de animais. O pH do solo influencia o tipo de organismo que nele surge, quando este é neutro ou alcalino surgem mais cianobactérias e diatomáceas, já as algas verdes toleram uma maior variedade do pH conseguindo deste modo dominar em solos mais ácidos por não se depararem com competição.

Quando o substrato se trata de uma rocha, as algas terrestres que a ocupam intitulam-se litófitas, ou seja, são algas que vivem na superfície ou no interior de substratos rochosos, podendo persistir até alguns milímetros abaixo da sua superfície.

Se o substrato ocupado pela alga se tratar de outra planta, como por exemplo uma árvore, a alga designa-se epífita (quando habita o tronco) e epífila (quando habita as folhas).

Sendo o substrato o pelo ou corpo de um animal, as algas obtêm o título de algas epizóicas. A informação para este tipo de algas é escassa, no entanto, existem referências para a sua presença em espécies de preguiças (Van Bosse, 1887; Thompson, 1972), aranhas (Cribb, 1964), lagartos (Gradstein & Equihua, 1995), ursos polares (Lewin & Robinson, 1979), prosímios (Sanderson, 1963) e pássaros (Schlichting et al., 1978).

Em ecossistemas terrestres (no solo, meio subaéreo e em simbiose com fungos), as algas estão divididas em 7 Filos, 15 Classes, 32 Ordens, 70 Famílias, 264 géneros e 1065 espécies (Ettl & Gartner, 1995). A maioria desses organismos fotossintéticos pertencem a quatro grandes grupos, nomeadamente, Cianobactérias, *Chlorophyta* e *Charophyta* e *Heterokontophyta*. As algas verdes (*Chlorophyta*) e as “algas” azuis (Cianobactérias), são as que dominam o meio terrestre, sendo constituída apenas uma pequena parte das comunidades de algas subaéreas por diatomáceas. No entanto, apesar das cianobactérias e as algas verdes apresentarem o maior número de espécies atualmente descritas (Lopez-Bautista et al., 2007), espécies microscópicas de algas vermelhas (*Rhodophyta*), euglenoides (*Euglenophyceae*), heterocontes (*Eustigmatophyceae*, *Xanthophyceae*, *Bacillariophyceae* e *Chrysophyceae*), dinoflagelados (*Dinophyceae*) e haptófitas (*Prymnesiophyceae*) foram encontradas em ambientes terrestres (Ettl e Gartner, 1995).

Além de ocorrerem em forma livre nos diferentes substratos mencionados, as algas terrestres surgem também em associações simbióticas com fungos, formando os chamados líquenes.

## 2) Tipos morfológicos de algas terrestres

Existem três tipos de morfologias muito características (de acordo com Lopez-Bautista et al., 2007) de algas terrestres, nomeadamente, morfologia unicelular, que em termos de espécies é a morfologia mais abundante (típica de géneros comuns como *Bracteacoccus*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Muriella*, *Myrmecia*, *Stichococcus*, *Tetracystis* e *Trebouxia*), morfologia sarcinoide (pacotes de microalgas resultantes da permanência de duas ou mais células filhas no interior de uma só membrana, após reprodução) que ocorre mais limitadamente em termos de géneros (*Apatococcus*, *Chlorokybus*, *Chlorosarcina*, *Desmococcus* e *Prasiococcus*) e morfologia filamentosa (mais comum em cianobactérias).

## 3) Cianobactérias e líquenes

### a. Cianobactérias

Apesar de não serem na realidade algas, mas sim bactérias, desenvolvem-se geralmente nos mesmos locais onde as algas terrestres ocorrem, surgindo muitas vezes associadas aos estudos das mesmas. As cianobactérias são um filo vasto e rico em diversidade (pertencente ao Reino Monera), composto por numerosas espécies, todas com uma característica em comum que as torna distintas de todas as outras bactérias. Contrariamente às restantes bactérias, as cianobactérias são seres fototróficos aeróbios, ou seja, são organismos que além de terem a capacidade de gerar e libertar oxigénio, utilizam a luz de forma a gerarem a própria nutrição. Para realizarem a fotossíntese, as cianobactérias contêm um tipo específico de clorofila, denominado clorofila a, entre outros tipos de pigmentos. Os vários pigmentos capturam diferentes comprimentos de onda de luz transferindo a sua energia para as células. Dos mencionados pigmentos, a ficocianina é um dos mais comuns. A ficocianina apresenta uma coloração azul (“ciano” significa azul escuro), estando na origem do nome “Cianobactéria”. Em conjunto com a cor verde da clorofila, o pigmento deu origem ao nome comum de “algas verde-azuladas”.

As cianobactérias têm a importante particularidade de fixarem azoto, fazendo uso dos heterocistos. Os heterocistos são

células com paredes espessas e de coloração amarelada geradas quando certas cianobactérias filamentosas (tais como *Nostoc* e *Anabaena*) enfrentam condições de escassez de azoto. Estes exercem fixação do azoto em forma  $N_2$ , presente na atmosfera, utilizando para tal a enzima nitrogenase, fornecendo deste modo azoto às restantes células para que possam exercer biossíntese. A quantidade de azoto fixada pelas cianobactérias varia com a temperatura, humidade, luz, estação do ano, composição química do solo e associações entre as cianobactérias e outros organismos.

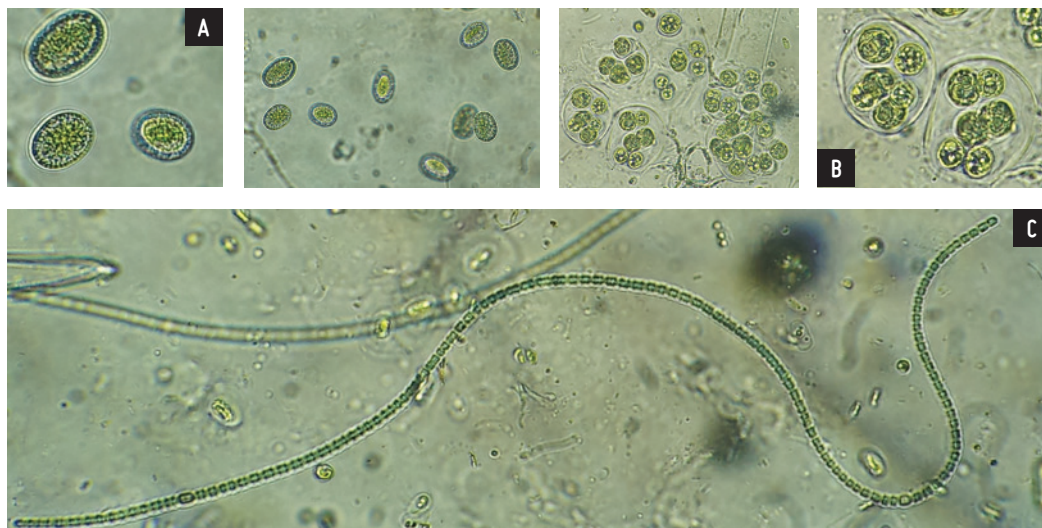
### b. Líquenes

Contrariamente ao acreditado vulgarmente, um líquene não é apenas um “musgo”, mas sim um ser que funciona como um mini-ecossistema, composto essencialmente por dois organismos principais, um fungo denominado micobionte quando liquenizado, e um organismo fotossintético, que quando em simbiose com o fungo obtém o termo fotobionte.

Diferentemente das plantas, os fungos são desprovidos de clorofila, e conseqüentemente incapazes de produzir o próprio alimento. Devido a esse facto, a evolução dos fungos deu-se com o intuito de desenvolver estratégias para obter carbono orgânico a partir de fontes vivas ou mortas (heterotrofia), sendo uma dessas estratégias a formação de associações com outros organismos, tais como a liquenização e a formação de micorrizas. Quando o fotobionte se trata de uma cianobactéria (o género *Nostoc* é comum em líquenes), é atribuído ao fungo o termo cianolíquene.

A componente visível de um líquene quando encontrada em campo é geralmente a estrutura do organismo denominada talo, podendo este desenvolver-se com estruturas morfológicas variadas. Segundo Dobson (2011), um líquene pode apresentar estrutura foliosa, fruticosa (arbustiva), escamosa, crostosa, placodióide, leprosa, filamentososa e sem talo visível.

Os líquenes cobrem aproximadamente 8% da superfície terrestre do planeta, sendo de esperar que uma quantidade tão significativa tenha, tal como as algas terrestres livres e cianobactérias livres, um papel ecológico importante nos ecossistemas onde estão presentes. Estes ocorrem em zonas costeiras, expandindo-se a sua distribuição até às mais altas montanhas, incluindo todos os ecossistemas situados entre estes, desde o polo norte ao polo sul. Os substratos onde ocorrem vão desde rochas, árvores, folhas, solo, musgos até mesmo outros líquenes.



**FIGURA 3.** Tipos morfológicos de algas terrestres.  
**A.** Algas unicelulares (10x40).  
**B.** Algas sarcinoides (10x10).  
**C.** Cianobactérias filamentosas (10x10).  
 Fotos de J. Azevedo.



4

**FIGURA 4.** Vários tipos de líquenes (junção de fungos e algas). Foto de E. Dias.

nes, estando ausentes apenas das zonas profundas do oceano. Do mesmo modo que as algas terrestres livres e cianobactérias livres, a sua ocorrência está condicionada às condições climáticas do local e às propriedades físicas e químicas dos substratos onde se desenvolvem, podendo surgir líquenes mais característicos de certas regiões ou substratos por estes lhes proporcionarem condições mais apelativas, e/ou líquenes mais toleráveis a várias condições.

#### 4. Biofilmes

Uma das características das algas terrestres é a produção de mucilagem para reter a humidade. Estes aglomerados, chamados de biofilmes, são formados por algas terrestres e podem conter quantidades consideráveis de outros organismos (como por exemplo, cianobactérias). Biofilme então pode ser definido como uma estrutura em camada formada por células microbianas envolvidas em substâncias poliméricas extracelulares (SPE), captando nutrientes para o crescimento da comunidade microbiana no interior da matriz, aderindo consideravelmente a um substrato, impedindo assim o seu arrastamento. Quando no interior de um biofilme, os microrganismos encontram-se não só protegidos de substâncias tóxicas, como de predação, no entanto, a vida em biofilme também tem algumas desvantagens, tais como a limitação de transferências no seu interior e a intensa competição pelos recursos disponíveis.

O desenvolvimento de um biofilme contém 5 fases: (1) a fixação inicial, onde os microrganismos livres se começam a agrupar e fixar a um substrato; (2) a fixação permanente, quando as substâncias poliméricas extracelulares começam a ser secretadas e ocorre agregação química entre os vários microrganismos; (3) o desenvolvimento vertical inicial, que como o nome indica ocorre com os microrganismos se organizam ascendente; (4) a maturação, que ocorre quando os micror-

ganismos estruturam vários aglomerados verticais com organização interior definida; (5) a dispersão, onde o biofilme já está completamente maturo e inicia a dissipação de microrganismos do seu interior para que mais biofilmes sejam formados no mesmo e/ou outros substratos (Fuente-Núñez et al., 2013). Quando são as algas verdes, as cianobactérias ou as diatomáceas (ou mesmo a presença de duas ou mais destas morfologias) as componentes mais numerosas presentes num biofilme, este obtém o nome de biofilme fototrófico, ou seja, o biofilme torna-se composto por comunidades de microrganismos dependentes de luz com uma componente fotossintética claramente presente (Roeselers et al., 2007).

#### Tipos de biofilmes

Existem vários tipos de aglomerados que variam de acordo com o seu aspeto. Para efeitos deste artigo, e tendo em conta diferenças encontradas na prospeção de campo, os biofilmes foram separados em: biofilme gelatinoso (Fig. 5), tapete de microalgas desprovido de humidade (Fig. 6) e algas terrestres não diretamente averiguáveis.

Num estudo de prospeção de campo de algas/biofilmes por nós efetuado, estruturas foram encontradas principalmente em florestas naturais (mas também em florestas de produção), incluindo turfeiras florestadas.

**A)** Os biofilmes gelatinosos desenvolviam-se tendencialmente sobre troncos de plantas lenhosas, com predominância para a *Calluna vulgaris* (Fig. 5A), *Erica azorica* e *Juniperus brevifolia* (Fig. 5B). Também foram encontrados frequentemente em troncos da espécie exótica *Cryptomeria japonica* (Fig. 5C), o que poderá indicar uma maior dependência das condições ambientais e não tanto da espécie. Os biofilmes não foram identificados no interior de turfeiras de *Sphagnum* nem em

turfeiras de herbáceas, mas foram encontrados nas suas zonas de margem quando esta transição ocorria sobre a forma de talude. De seguida apresentam-se imagens recolhidas na ilha Terceira do tipo de biofilme anteriormente mencionado.

- B) Tapete de Microalgas desprovido de humidade surge quando um forófito é utilizado como substrato a uma alga terrestre verde, mas este apresenta uma textura que se assemelha a veludo (sendo seco), e não gelatinosa. Trentepohliales é a ordem onde se inserem as algas verdes terrestres responsáveis pela referida ocorrência. Esta categoria taxonómica é composta por organismos exclusivamente terrestres (Lopez-Bautista et al., 2007), provando que, apesar de (diferentemente de outras algas terrestres) aparentarem secas quando tocadas, estas são (do mesmo modo que outras algas terrestres) significativamente dependentes da presença de água. Tapetes deste tipo foram encontrados em indivíduos de *Cryptomeria japonica*, *Juniperus brevifolia* e *Calluna vulgaris* em zonas florestadas da ilha Terceira. Contrariamente ao que seria de esperar por serem compostas por algas verdes, as colónias deste tapete mostram uma coloração alaranjada, algo que ocorre na maioria da ordem Trentepohliales, cujas espécies apresentam coloração que varia entre o amarelo e o vermelho. Essa coloração deve-se à cobertura da clorofila por parte de um pigmento carotenóide (Thompson & Wujek, 1997), pigmento esse fisiologicamente importante (particularmente para os organismos que residem em ambientes com níveis elevados de radiação) pela foto proteção que proporciona à microalga (Pattanai et al., 2007).
- C) Algas terrestres não diretamente averiguáveis são aquelas cuja presença só se pode confirmar com recurso à micros-

copia. Correspondem a ocorrências de algas terrestres em pequenas cavidades de briófitos epífitos e epífilos presentes em várias espécies da floresta.

### Importância Ecológica das Algas Terrestres e biofilmes

O papel das algas terrestres e globalmente dos biofilmes nos ecossistemas é relevante, mas tendencialmente negligenciado. Em primeiro lugar, estas fornecem matéria orgânica ao solo contribuindo para a sua formação, e permanecendo as suas populações neste, as algas terrestres interferem na erosão, aumentam a retenção e armazenamento de água e reduzem a perda de água pela evaporação.

Como já referido anteriormente, as cianobactérias são tolerantes a solos neutros e alcalinos, e surgindo vulgarmente nestes, são uma fonte importante de azoto para o solo por conterem géneros (e.g. género *Nostoc*, *Anabaena*, *Tolypothrix*, *Scytonema* e *Cylindrospermum*) providos de heterocistos fixadores do elemento. Esse facto torna as cianobactérias organismos cruciais para muitos ecossistemas, pois estas apresentam como papel ecológico a fixação do azoto molecular, convertendo-o a formas assimiláveis pelos restantes organismos.

O papel ecológico dos líquenes acaba por ser semelhante ao das algas terrestres e cianobactérias em muitos aspetos, fornecendo quantidades armazenadas de carbono orgânico ao meio (devido à fotossíntese), impedindo a secagem e melhorando a qualidade dos solos (por estarem em regiões secas, ou não serem diretamente molhados pelas chuvas, ou presentes em zonas em que a quantidade de água é fornecida na maioria pela intersecção de nevoeiros) que cobrem (por terem a capacidade de reter a humidade), e libertando nutrientes, tais como azoto (lixiviados dos próprios líquenes ou das cianobactérias



**FIGURA 5.** Biofilmes gelatinosos.

**A.** em *Calluna vulgaris*;  
**B.** em *Cryptomeria japonica*;  
**C.** em *Juniperus brevifolia*.

Fotos de J. Azevedo.

com que criaram simbiose) e fósforo, em formas assimiláveis pelas restantes espécies presentes no ecossistema. Distintamente das algas terrestres e cianobactérias (ainda que semelhante por estas serem consumidas, por exemplo, por nemátodos), os líquenes são utilizados como fontes de alimento, camuflagem e abrigo (incluindo criação de ninhos) de certas espécies de animais. É importante salientar ainda a capacidade dos líquenes em erodir física (pelo efeito mecânico das hifas e rizinas em crescimento na rocha) e quimicamente (pelo quebrar dos minerais) as rochas, contribuindo também assim para a formação de solos.

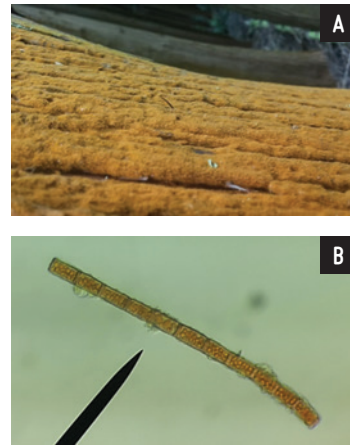
Registos bibliográficos indicam que as algas terrestres são uma realidade bem presente e que essa presença pode fazer a diferença nos ecossistemas onde ocorrem. Uma observação mais cuidada do interior das formações naturais dos Açores evidencia a presença deste tipo de organismos, não tão rara como aparenta inicialmente. Se contabilizadas as ocorrências destes microrganismos, a biodiversidade das Florestas dos Açores poderá aumentar consideravelmente. Deverá ser nas Florestas de Nuvem, pelos seus solos pobres e trocas essencialmente a nível atmosférico, que estes organismos terão um papel ecológico mais importante.

## REFERÊNCIAS:

- Cribb, A.B. (1964) Notes on Trentepohlia from Queensland including one growing on a spider. Univ. Qld. Pap. Dept. Bot. 4: 99–108.
- Dobson, F.S. (2011) Lichens. An illustrated guide to the British and Irish species, Ed. 6, Richmond Publishing Co., Slough.
- Ettl, H.; Gärtner, G. (1995) Syllabus der Boden-, luft- und flechtenalgen. Jena and New York, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Fuente-Núñez, C.; Refeuveille, F.; Fernández, L. & Hancock, R. E. (2013) Bacterial biofilm development as a multicellular adaptation: antibiotic resistance and new therapeutic strategies. Curr. Opin. Microbiol. 16: 580–589. doi: 10.1016/j.mib.2013.06.013
- Gradstein, S.; Equihua, C. (1995) An epizoic bryophyte and algae growing on the lizard *Corythophanes cristatus* in Mexican rain forest. Biotropica 27: 265–268.
- Lewin, R.; Robinson, P. (1979) The greening of polar bears. Nature 278: 445–447.
- Lopez-Bautista, J.M.; Rindi F. & Casamatta D. (2007) The Systematics of Subaerial Algae. In J. Seckbach [eds], Algae and cyanobacteria in extreme environments. Springer. Netherlands pp: 599-617.
- Nienow, J.A. (1996) Ecology of subaerial algae. Nova Hedwigia, Beih. 112: 537–552.
- Pattanaik B.; Schumann R. & Karsten U. (2007) Effects of ultraviolet radiation on Cyanobacteria and their protective mechanisms. In: Seckbach J. (Ed.) - Algae and Cyanobacteria in extreme environments. Springer: 29-45.

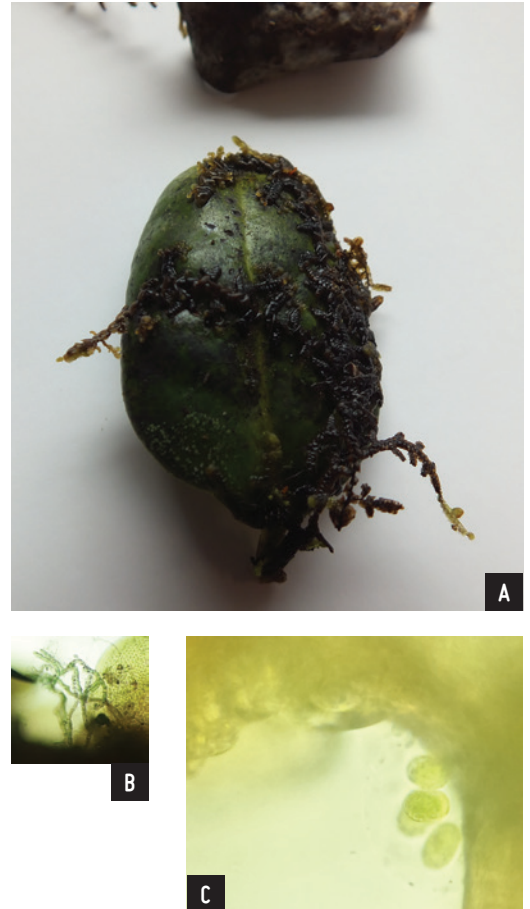
## FIGURA 6.

**A.** Aspetto geral de um tapete de microalgas desprovido de humidade em *Cryptomeria japonica*;  
**B.** detalhe microscópico (10x40) de uma microalga do tapete da foto A.  
 Fotos de J. Azevedo.



## FIGURA 7.

**A.** Folha de *Ilex azorica* com *Frullania* sp. epifila.  
**B.** Imagem ao microscópio comprova a presença de cianobactérias filamentosas na *Frullania* sp. (10x10).  
**C.** Imagem ao microscópio comprova a presença de algas unicelulares na *Frullania* sp. (10x40).  
 Fotos de J. Azevedo.



- Roeselers, G.; Loosdrecht, M. & Muyzer, G. (2008) Phototrophic biofilms and their potential applications J. Appl. Phycol. 20: 227. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9223-2>
- Sanderson, I.T. (1963) The Monkey Kingdom, An Introduction to Primates. USA: Chilton Books Publishers, 2nd printing, pp. 200.
- Schlichting, H.; Speziale, B.; Zink, R. (1978) Dispersal of algae and protozoa by Antarctic flying birds. Antarct. J. US 13: 147–149.
- Thompson, R.H. (1972) Algae from the hair of the sloth *Bradypus*. J. Phycol. 8(Suppl.), 8.
- Thompson, R.H. & Wujek, D.E. (1997) Trentepohliales: Cephaleuros, Phycopeltis and Stomatocoon. Morphology, taxonomy and ecology. pp. [i-vii] viii-x, [1]-149, 60 pls. Enfield, New Hampshire: Science Publishers, Inc.
- Van Bosse, A. (1887) Étude sur les algues parasites des Paresseux. Natuurk. Verh. Holl. Maatsch. Wetensch. Haarlem III 5: 1-24.