

UMA BREVE HISTÓRIA DOS FUNGOS NA EVOLUÇÃO DA TERRA



TEXTO

Mirian Celene Spricigo
Maria Alice Neves

FIGURA

Sâmara Antero
Maria Alice Neves

FOTOS

Maria Alice Neves

DIAGRAMAÇÃO

Sarah Yasmim Knoll

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da Universidade Federal de Santa Catarina

S769b Spricigo, Mirian Celene
Uma breve história dos fungos na evolução da terra [recurso eletrônico]
/ Mirian Celene Spricigo ; Maria Alice Neves, organizadora. –
Florianópolis : UFSC, 2023.
10 p. : il., fotos.

E-book (PDF)
ISBN 978-85-8328-177-1

1. Micologia. 2. Paleontologia. 3. Fósseis. 4. Fungos. I. Neves, Maria
Alice. II. Título.

CDU: 582.28

UMA BREVE HISTÓRIA DOS FUNGOS NA EVOLUÇÃO DA TERRA

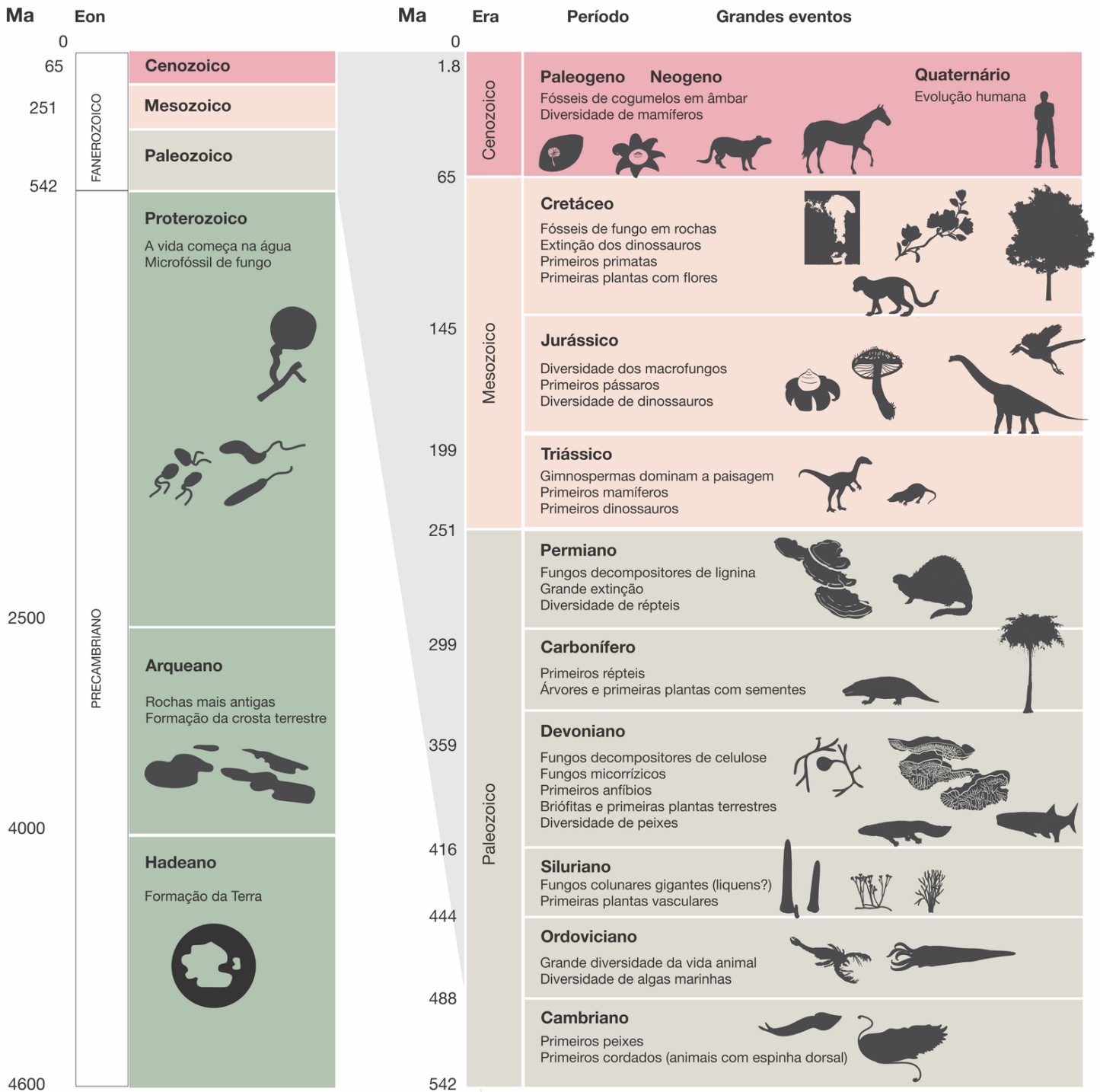
*F*eche os olhos e tente imaginar a Terra milhões de anos atrás. Vamos tentar pensar no período Jurássico, há uns 200 milhões de anos. Nessa imagem que se forma na sua mente, o que você vê? Dinossauros? Samambaias gigantes? É bem provável que sim, e está tudo bem com a sua imaginação, não se preocupe. Agora, de volta para este cenário imaginário, olhando a paisagem, você vê algum tipo de fungo? Tem algum cogumelo por aí? São grandes as chances de não ter nenhum fungo compondo a paisagem que você imaginou, e possivelmente, a grande maioria das pessoas nem lembraria deles. Mas, por que isso acontece? Será que os fungos estavam presentes no Jurássico, ou ainda antes disso? O que sabemos sobre os fungos na evolução do nosso planeta?

Grande parte do que sabemos e compreendemos sobre a evolução da vida na Terra, se dá pelo estudo de fósseis. Os fósseis que logo nos vêm à memória são ossadas de animais, mas temos também registros fósseis de plantas, fungos e diversos tipos de microrganismos (1). Os fósseis fúngicos, os quais nos ajudam a compreender a evolução deste grupo, são raros. Isso acontece por diversos motivos, e aqui vamos citar alguns. Primeiramente, a zoologia e a botânica, ramos da ciência que estudam a Fauna e a Flora, são muito mais antigas se comparadas à micologia, que se dedica a estudar a Funga (2). Ou seja, muitos anos atrás, naturalistas já estavam tentando compreender características de plantas e animais, inclusive em registros fósseis, enquanto os fungos eram pouco estudados. Ainda, os fungos são organismos muito mais efêmeros, geralmente compostos de estruturas macias e muitas vezes frágeis, o que dificultou a conservação ao longo do tempo necessário para os processos de fossilização (3).

Uma forma de organizar os conhecimentos sobre a evolução da Terra e da vida,

se dá na forma de figuras que delimitam as eras geológicas, que são divididas formando um tipo de calendário da história de aproximadamente 4,6 bilhões de anos do nosso planeta (1). Cada divisão está relacionada a momentos de mudanças significativas, como por exemplo, as grandes extinções. Muitas figuras de eras geológicas incluem representações de eventos evolutivos importantes, como períodos de grande diversificação na vida animal, o surgimento das primeiras plantas vasculares, e um dos mais lembrados, o período de alta diversidade de dinossauros. Infelizmente, nestas tabelas, os fungos pouco aparecem, seja por escassez de registros, mas também pela ausência de micologistas envolvidos nessa etapa e forma de divulgação. Em aulas, muitas vezes podemos usar uma representação das eras geológicas que inclui os fungos junto aos eventos mais significativos, tendo como base evidências conhecidas sobre o grupo até o momento. Na figura abaixo, é possível ver os fungos dividindo o espaço com animais, plantas e demais organismos na história da vida.

TEMPO GEOLÓGICO E PRINCIPAIS EVENTOS EVOLUTIVOS



2020. Prof. Maria Alice Neves. Arte: Sâmara Antero

EVIDÊNCIAS DOS FUNGOS AO LONGO DA EVOLUÇÃO DA TERRA, EM ORDEM CRONOLÓGICA:

- Éon Proterozóico: Cerca de 2,4 bilhões de anos, organismo com características fúngicas (Bengtson et al. 2017); Entre 1010 e 890 Ma, microfóssil fúngico *Ourasphaira giraldae* (Loron et al. 2019); Entre 810 e 715 Ma, filamentos fósseis similares a micélio, análises moleculares confirmam tratar-se de fungo (Bonneville et al., 2020); Entre 635 a 632 Ma, estruturas similares a hifas com possível simbiose com outro organismo, morfologia análoga ao observado em ecto e endomicorrizas modernas (Gan et al., 2021).
- Período Siluriano/Devoniano: Fósseis com idade estimada entre 419 a 370 Ma, os *Prototaxites* seriam fungos (ou fungos associados a outro organismo), que tinham até 9 metros de altura, abundantes na paisagem dessa época (Hueber, 2001; Selosse, 2002).
- Período Devoniano: Cerca de 407 Ma, evidência fóssil de fungo micorrízico arbuscular (Taylor et al., 1995); Emergência de fungos decompositores de celulose (Taylor et al., 2015) (Halbwachs, 2020)
- Período Carbonífero/Permiano: Cerca de 260 Ma, surgem primeiros fungos decompositores de lignina (Hibbett et al., 2016).
- Período Jurássico: Cerca de 180 Ma, grande expansão da diversidade de macrofungos (Halbwachs, 2020).
- Período Cretáceo: Cogumelo fóssil conservado em rocha, *Gondwanagaricites magnificus*, entre 120 a 113 Ma (Heads et al., 2017); Entre 145 e 100 Ma, Fóssil de micélio conservado em âmbar (Ascaso et al., 2005).
- Era Cenozóica: Entre 66 e 15 Ma, diversos fungos fósseis conservados em âmbar (Halbwachs, 2019; Poinar, 2016); Entre 23 a 1.8 Ma, fóssil fúngico de estrela-da-terra *Geastrum tepexensis*, conservado em rocha (Magallon-Puebla et al., 1993).

Agora, vamos falar um pouquinho do que se sabe até o momento, e de como os fungos estão envolvidos na evolução da Terra ao longo do tempo geológico. O Reino Fungi tem origens evolutivas muito antigas, com possivelmente mais de 2 bilhões de anos (4). Evidências nos levam ao éon Proterozóico, com microfósseis fúngicos datados entre 1010 a 700 milhões de anos (5,6). Para períodos tão remotos, onde a vida era muito diferente do que conhecemos hoje, não é possível compreender de forma clara como ocorria a interação entre estes e outros microrganismos. Um outro registro, mais ao fim do Proterozóico, com idade estimada entre 635 a 632 milhões de anos, apresenta estruturas filamentosas semelhantes a hifas de fungos atuais, e que além disso, parece estar associado a outro microrganismo, formando uma estrutura que lembra a simbiose de micorrizas modernas (7). Embora estas associações ainda sejam especulativas, as evidências apontam para um cenário onde estes organismos ancestrais semelhantes a fungos, desempenhavam importantes papéis nos ecossistemas, cooperando com outros organismos muito antes do que se imaginava.

Adentrando agora o éon Fanerozóico, que se estende de aproximadamente 542 milhões de anos atrás até os dias atuais, temos evidências em intervalos mais bem delimitados nas eras Paleozoica, Mesozoica, Cenozoica e seus respectivos períodos. Foi no início do Paleozóico, no período Cambriano, que surgiram os primeiros cordados e os primeiros peixes, seguidos por uma explosão na diversidade da vida animal e aumento significativo na diversidade de algas marinhas. No Siluriano (444 - 416 milhões de anos atrás), onde evidências apontam para o surgimento das plantas vasculares, é uma evidência fóssil intrigante e particular que rouba a cena. Neste período, os *Prototaxites*, organismos colunares muito grandes, que podiam atingir até 9 metros de altura e 1 metro de diâmetro, dominavam a paisagem. Este organismo gerou muitas perguntas e, apesar de ter sido inicialmente interpretado com uma planta ancestral, análises e estudos posteriores demonstraram fortemente que se trata de um fungo, ou de uma relação simbiótica entre fungo e alga, formando algo semelhante a um “líquen gigante” (8,9). Embora permaneçam ainda algumas questões, tudo indica que estes gigantes que dominaram a paisagem cerca de 400 milhões de anos atrás, eram, ao menos em parte, fungos. De todo modo, a presença deles na superfície terrestre pode ter influenciado na formação de solos a partir de rochas, pela produção e liberação de enzimas nos substratos.



Ectomicorriza em raiz de *Guapira opposita*



Urupê, *Pycnoporus sanguineus*
(filó Basidiomycota),
orelha de pau decompositora da madeira

No Devoniano, quando teve início a colonização do ambiente terrestre pelas plantas, registros demonstram que as micorrizas já estavam presentes na Terra há ao menos 400 milhões de anos (10,11,12). Além disso, outras evidências não fósseis, como o fato de aproximadamente 90% das plantas terrestres atuais apresentarem algum tipo de associação com fungos em suas raízes (13), reforçam a ideia de uma relação bastante antiga de cooperação que perdurou ao longo da divergência dos grupos, numa forma de evolução conjunta.

O Carbonífero, que tem seu nome devido à grande formação de carvão mineral ocorrida neste período, pode ter chegado ao fim pela ação dos fungos. Os resíduos vegetais deste período se acumulavam em camadas que eram apenas parcialmente decompostas, todo este material foi sendo compactado e a ação de milhões de anos levou à formação dos depósitos de carvão e petróleo explorados atualmente. Quando entrou em cena a capacidade dos fungos de produzirem enzimas decompositoras de compostos como celulose, hemicelulose e lignina, que compunham estes resíduos vegetais, o acúmulo de matéria morta foi significativamente impactado, modificando o extrato geológico (14). Ao longo dos demais períodos que se seguiram, fica evidente a importância dos fungos como decompositores atuantes na formação das paisagens da Terra como conhecemos hoje, afinal, sem os fungos, toda a madeira de árvores que nasceram, cresceram, mas também morreram ao longo do tempo evolutivo, estariam ainda por aqui, acumuladas e “segurando” elementos importantes para a continuidade do ciclo da vida.

Agora, lembra daquela paisagem imaginada no começo deste texto, que era no Jurássico? Este período talvez seja um dos mais lembrados, principalmente pelo encantamento com os

dinossauros, que apresentaram grande diversidade neste período. Mas eles não foram os únicos. Evidências nos mostram que, 180 milhões de anos atrás, os macrofungos tiveram um aumento significativo na diversidade (15,16). Muitas das morfologias de macrofungos que conhecemos hoje, desde cogumelos até orelhas de pau, despontaram neste período. Diferente dos dinossauros, altamente afetados pelo evento que levou à sua extinção, os fungos prosperaram e continuaram a compor a paisagem. Evidências raras, de macrofungos fossilizados em rochas, apontam para características morfológicas que se mantiveram ao longo do tempo. No Cretáceo, temos um fóssil importantíssimo (e brasileiro) do único cogumelo conservado em rocha conhecido, O *Gondwanagaricites magnificus* apresenta morfologia muito semelhante a cogumelos atuais e sua idade é estimada entre 120 a 113 milhões de anos (17). São apenas dois os registros de fósseis de macrofungos conservados em rocha até o momento, o segundo, um fungo com morfologia muito similar às estrelas-da-terra atuais, foi encontrado no México, com idade estimada entre 23 e 2 milhões de anos (18).

Datados entre 100 e 15 milhões de anos atrás, temos registros fósseis de fungos que encham os olhos e encantam pela riqueza de detalhes (19,20,21). São os fungos fossilizados em âmbar, que com estruturas conservadas de maneira ímpar, reforçam a hipótese de que a morfologia de macrofungos, especialmente de cogumelos, teve pouca modificação desde o Jurássico. No Cenozóico, era que presenciou o aumento na diversidade de mamíferos e na qual vivemos atualmente, os fungos continuaram a expandir sua diversidade e ocupar os mais variados espaços. Por fim, vamos fechar os olhos mais uma vez e imaginar a Terra milhões de anos atrás? O que você vê? Tem fungos por aí?

REFERÊNCIAS

- 1** SOARES, Marina Bento (org.). A paleontologia na sala de aula. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2015. 714 p.
- 2** KUHAR, Francisco; FURCI, Giuliana; DRECHSLER-SANTOS, Elisandro Ricardo; PFISTER, Donald H.. Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). *Ima Fungus: Mycolens*, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 71-74, dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03449441>
- 3** TAYLOR, Thomas N.; KRINGS, Michael; TAYLOR, Edith L.. Fungal Diversity in the Fossil Record. In: ESSER, Karl (ed.). *The Mycota: Systematics and Evolution. Part B VII. 2. ed.* Berlin: Springer-Verlag, 2015. Cap. 10. p. 259-278.
- 4** BENGTSON, Stefan; RASMUSSEN, Birger; IVARSSON, Magnus; MUHLING, Janet; BROMAN, Curt; MARONE, Federica; STAMPANONI, Marco; BEKKER, Andrey. Fungus-like mycelial fossils in 2.4-billion-year-old vesicular basalt. *Nature: Ecology & Evolution*, [s. l.], v. 1 (0141), abr. 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0141>
- 5** BONNEVILLE, S.; DELPOMDOR, F.; PRÉAT, A.; CHEVALIER, C.; AKARI, T.; KAZEMIAN, M.; STEELE, A.; SCHREIBER, A.; WIRTH, R.; BENNING, L. G.. Molecular identification of fungi microfossils in a Neoproterozoic shale rock. *Science Advances*, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 1-11, jan. 2020. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax7599>
- 6** LORON, Corentin C.; FRANÇOIS, Camille; RAINBIRD, Robert H.; TURNER, Elizabeth C.; BORENSZTAJN, Stephan; JAVAUX, Emmanuelle J.. Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada. *Nature: Letter*, [s. l.], v. 570, p. 232-236, maio 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1217-0>
- 7** GAN, Tian; LUO, Taiyi; PANG, Ke; ZHOU, Chuanming; ZHOU, Guanghong; WAN, Bin; LI, Gang; YI, Qiru; CZAJA, Andrew D.; XIAO, Shuhai. Cryptic terrestrial fungus-like fossils of the early Ediacaran Period. *Nature Communications*, [s. l.], v. 12, p. 1-12, jan. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-20975-1>
- 8** HUEBER, Francis M.. Rotted wood-alga-fungus: the history and life of Prototaxites Dawson 1859. *Review Of Paleobotany And Palynology*, [s. l.], v. 116, n. 01, p. 123-158, ago. 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-6667\(01\)00058-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-6667(01)00058-6)
- 9** SELOSSE, Marc-André. Prototaxites: A 400 MYR Old Giant Fossil, A Saprophytic Holobasidiomycete, or A Lichen? *Mycological Research News*, [s. l.], v. 106, n. 6, p. 642-644, jun. 2002. <http://dx.doi.org/10.1017/S0953756202226313>
- 10** KRINGS, Michael; HARPER, Carla J.; TAYLOR, Edith L.. Fungi and fungal interactions in the Rhynie chert: a review of the evidence, with the description of perexiflasca tayloriana gen. et sp. nov.. *Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences*, [s. l.], v. 373, n. 1739, dez. 2017. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2016.0500>
- 11** REMY, Winfried; TAYLOR, Thomas N.; HASS, Hagen; KERP, Hans. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. v. 91, p. 11841-11843, dez. 1994. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.91.25.11841>
- 12** TAYLOR, T.N; REMY, W.; HASS, H.; KERP, H.. Fossil Arbuscular Mycorrhizae from the Early Devonian. *Mycologia*, New York, v. 87, n. 4, p. 560-573, abr. 1995. <https://doi.org/10.2307/3760776>
- 13** TAYLOR, Thomas N.; KRINGS, Michael; TAYLOR, Edith L.. *Fossil Fungi*. London: Elsevier, 2014. 398 p.
- 14** HIBBETT, David; BLANCHETTE, Robert; KENRICK, Paul; MILLS, Benjamin. Climate, decay, and the death of the coal forests. *Current Biology: Cell Press*, [s. l.], p. 563-567, jul. 2016. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2016.01.014>
- 15** HALBWACHS, Hans. Fungi in the rear mirror: a brief history of the fungi during the last two billion years. *Fungi*, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 14-27, jun. 2020.
- 16** VARGA, Torda; KRIZSÁN, Krisztina; FÖLDI, Csenge; DIMA, Bálint; SÁNCHEZ-GARCÍA, Marisol; SÁNCHEZ-RAMÍREZ, Santiago; SZÖLLŐSI, Gergely J.; SZARKÁNDI, János G.; PAPP, Viktor; ALBERT, László; et al. Megaphylogeny resolves global patterns of mushroom evolution. *Nature Ecology & Evolution*, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 668-678, 18 mar. 2019. <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0834-1>
- 17** HEADS, Sam W.; MILLER, Andrew N.; CRANE, J. Leland; THOMAS, M. Jared; RUFFATTO, Danielle M.; METHVEN, Andrew S.; RAUDABAUGH, Daniel B.; WANG, Yinan. The oldest fossil mushroom. *Plos One*, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 1-6, jun. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178327>
- 18** MAGALLON-PUEBLA, Susana; CEVALLOS-FERRIZ, Sergio R. S.. A Fossil Earthstar (Geasteraceae; Gasteromycetes) from the Late Cenozoic of Puebla, Mexico. *American Journal Of Botany*, [s. l.], v. 80, n. 10, p. 1162-1167, out. 1993. <http://dx.doi.org/10.2307/2445544>
- 19** ASCASO, Carmen; WIERZCHOS, Jacek; SPERANZA, Mariela; GUTIÉRREZ, Juan Carlos; GONZÁLEZ, Ana Martín; RÍOS, Assuncion de Los; ALONSO, Jesus. Fossil protists and fungi in amber and rock substrates. *Micropaleontology*, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 59-72, abr. 2005. [https://doi.org/10.1661/0026-2803\(2005\)051\[0059:FPAFIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1661/0026-2803(2005)051[0059:FPAFIA]2.0.CO;2)
- 20** HALBWACHS, Hans. Fungi trapped in amber - a fossil legacy frozen in time. *Mycological Progress*, [s. l.], v. 18, p. 879-893, maio 2019. <https://doi.org/10.1007/S11557-019-01498-Y>
- 21** POINAR JUNIOR, George. Fossil Fleshy Fungi ("Mushrooms") in Amber. *Fungal Genomics & Biology*, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 1-5, nov. 2016. <http://dx.doi.org/10.4172/2165-8056.1000142>



Fóssil de cogumelo em rocha, *Gondwanagaricites magnificus* (Head et al. 2017)



PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOLOGIA DE FUNGOS
ALGAS E PLANTAS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



MICOLAB
Universidade Federal de Santa Catarina

ISBN 978-85-8328-177-1

Lamelas de *Camarophyllus*, cogumelo-cera