

CARACTERÍSTICAS GERAIS, RELAÇÕES FILOGENÉTICAS E IMPORTÂNCIA DOS FUNGOS

8
TÓPICO

Sônia Godoy Bueno Carvalho Lopes
Fanly Fungyi Chow Ho

Introdução

8.1 Características Gerais Dos Fungos

8.2 Os Fungos na Árvore da Vida

8.3 Importância Ecológica, Econômica e Médica dos Fungos

8.4 Panorama Histórico da Classificação dos Fungos

Deuteromicetos

Fungo gigante (curiosidade)

Fungos predadores (curiosidade)

Vassoura-de-bruxa

Introdução

Micologia (do grego *mykes* = cogumelo) é a ciência que estuda os fungos.

Apesar de ser uma ciência nova, existem registros que apontam o uso de fungos pela espécie humana desde a pré-história. Ötzi ou Múmia do Similaun (múmia de um homem do Neolítico com 5.300 anos, encontrada nos Alpes de Ötztal perto do monte Similaun, na fronteira da Áustria com a Itália, em 1991) tinha consigo duas espécies de cogumelos: *Fomes fomentarius*, conhecida como casco-de-cavalo ou fungo-pavio e *Piptoporus betulinus* (Figura 8.1), que podem ter sido utilizadas como pavios ou para fins medicinais. Ainda, os povos antigos utilizavam os fungos como fonte de alimento e na preparação de pão e sumos fermentados.



Figura 8.1: Fotografias de: **a.** *Fomes fomentarius* usado como pavio; **b.** *Piptoporus betulinus* para infusões / Fonte: Thinkstock

O estudo dos fungos tornou-se sistemático após o desenvolvimento do microscópio no século 16, permitindo assim a observação desses seres que, em sua maioria, são diminutos. No século 20 houve maior aprofundamento nos estudos devido aos avanços na bioquímica, genética, biologia molecular e biotecnologia, que trouxeram contribuições para melhor entendimento desse grupo de organismos.

Novas informações sobre as relações entre os fungos e sua diversidade foram vislumbradas usando técnicas de biologia molecular, surgindo novas **filogenias** e desafiando as classificações tradicionais baseadas na morfologia.

Objetivos

Espera-se que o aluno compreenda:

- as características gerais, as relações filogenéticas e a importância dos grandes grupos de fungos;
- e inicie seu conhecimento em relação ao panorama histórico da classificação dos fungos e sua relação com os animais;
- a importância ecológica, econômica e médica dos fungos.

8.1 Características gerais dos Fungos

Os fungos abrangem um grande grupo de organismos **eucarióticos**, que inclui diversas formas, como leveduras, bolores, mofos, cogumelos, fungos gelatinosos e orelha-de-pau (**Figura 8.2**).

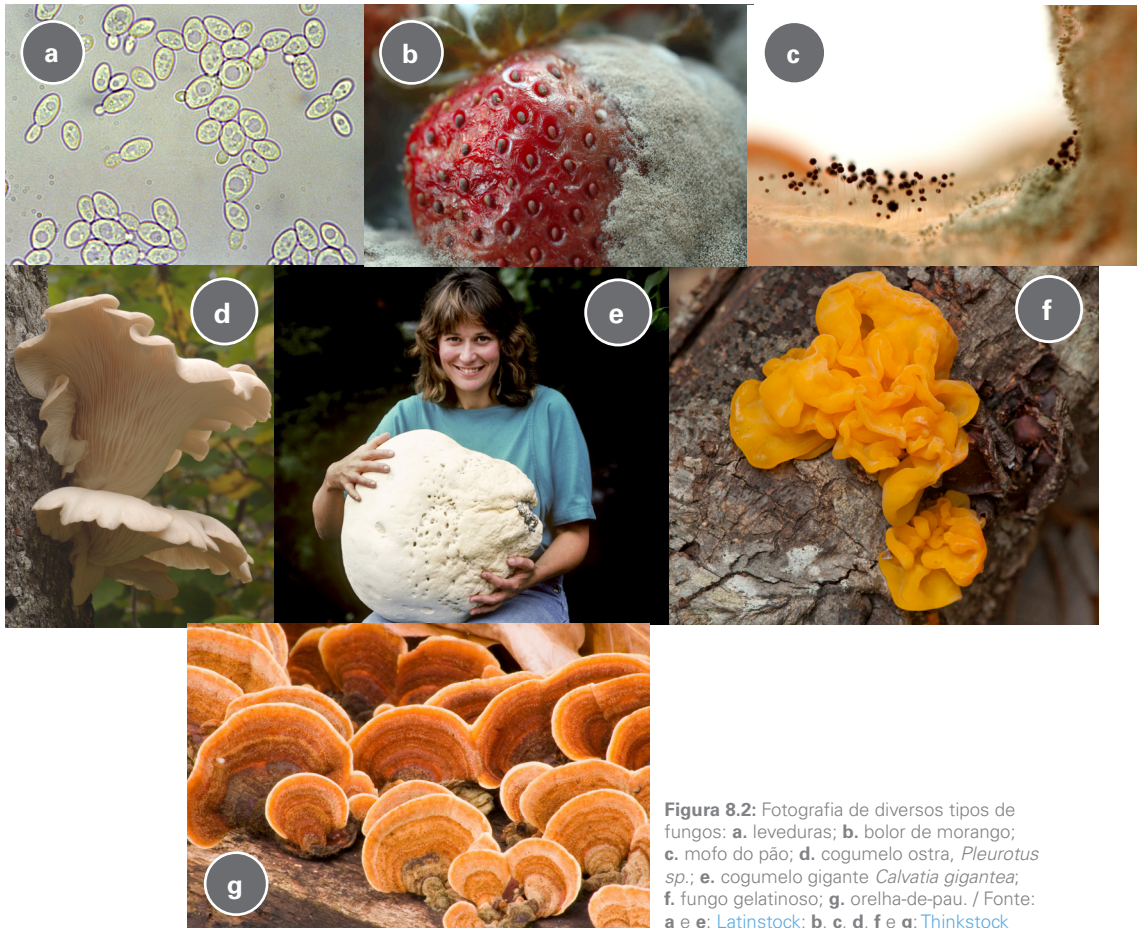


Figura 8.2: Fotografia de diversos tipos de fungos: **a.** leveduras; **b.** bolor de morango; **c.** mofo do pão; **d.** cogumelo ostra, *Pleurotus sp.*; **e.** cogumelo gigante *Calvatia gigantea*; **f.** fungo gelatinoso; **g.** orelha-de-pau. / Fonte: **a e e:** [Latinstock](#); **b, c, d, f e g:** [Thinkstock](#)

Embora existam formas unicelulares, o corpo da maioria dos fungos é multicelular e chamado **micélio** (Figura 8.3). Ele é composto de filamentos delgados, microscópicos e tubulares, conhecidos como **hifas** que apresentam crescimento pela região apical. O micélio não é organizado em **tecidos**, portanto, não é considerado como tal. Essa organização do corpo do fungo propicia que as hifas se estendam e ramifiquem, ocupando assim uma extensa área, condição que se mostrou bastante vantajosa durante a sua evolução, permitindo a penetração nos mais diversos substratos e a absorção dos nutrientes do meio, tornando a colonização e alimentação mais eficientes. Um fungo pode produzir cerca de 1 km de novas hifas por dia. Porém, essa vantagem de vasta área/volume do micélio apresenta um aspecto adverso, uma vez que isso resulta em maior perda de água em ambiente seco. Portanto, os fungos são mais comuns em ambientes úmidos.

As hifas da maioria das espécies apresentam **septos** internos que delimitam células com um ou dois núcleos. Tais hifas são referidas como **septadas** (Figura 8.4A) e tornam o organismo multicelular. Em cada septo ocorre um poro que possibilita a comunicação entre os citoplasmas das células adjacentes e, em alguns casos, até permite a passagem dos núcleos, ribossomos e mitocôndrias para células vizinhas.

Em outras espécies de fungos não existem septos e essas hifas estão organizadas como uma massa citoplasmática única com vários núcleos. Tais hifas são referidas como **cenocíticas** ou **asseptadas** (Figura 8.4B). Nas hifas cenocíticas, os septos ocorrem somente na base das estruturas reprodutivas e em porções mais velhas.



Figura 8.3: Esquema de um fungo mostrando as hifas e o micélio / Fonte: CEPA; elaborado por USP/Univesp

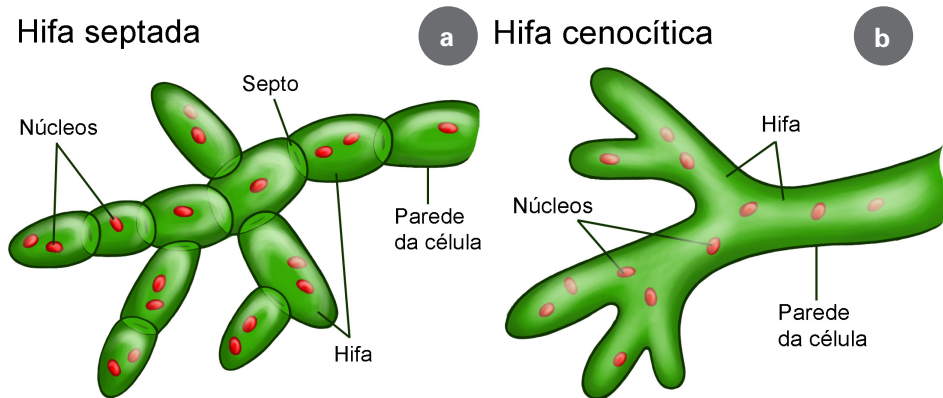


Figura 8.4: Representação esquemática de **a.** hifa septada e **b.** hifa cenocítica /Fonte: CEPA; elaborado por USP/Univesp

A organização do **talo** do fungo em hifas é ancestral e a mais comum entre esses seres vivos. No entanto, no curso da evolução, alguns grupos de fungos perderam a condição de organização filamentosa em hifas e micélios e passaram a manter, secundariamente, um padrão unicelular. Esses fungos unicelulares, à exceção dos fungos basais **Chytridiomycota**, são denominados genericamente leveduras.

A parede celular das hifas e células é altamente reforçada por fibrilas microscópicas compostas basicamente por **quitina**, um polissacarídeo constituído por um polímero de cadeia longa, insolúvel e córneo, substância presente também em certos animais, como carapaças de artrópodes, rádula de moluscos e bico de cefalópodes. A substância de reserva é o **glicogênio**, polissacarídeo encontrado também nos animais.

Por causa da parede celular rígida, os fungos não podem fagocitar outros organismos ou partículas para se alimentar. Como os animais, todos os fungos são **heterotróficos** e, portanto, precisam de nutrientes produzidos por outros organismos ou substâncias derivadas deles. Diferente dos animais que ingerem seu alimento para depois absorvê-los, os fungos absorvem seus alimentos presentes no meio onde vivem. Para isso, produzem enzimas digestivas que são liberadas no meio e quebram as moléculas orgânicas complexas em compostos menores, deixando esses alimentos disponíveis para serem absorvidos para dentro das células do fungo.

Muitos fungos são **sapróbios**, **parasitas**, **predadores** ou **mutualistas**. Fungos sapróbios decompõem e absorvem nutrientes de matéria orgânica morta, como troncos de árvores caídos, outras partes de plantas e animais mortos. Fungos parasitas absorvem nutrientes das células de hospedeiros

vivos. Alguns fungos parasitas são patogênicos e causam doenças em plantas e animais. Fungos predadores se alimentam de animais vivos os quais atacam, matam e absorvem seus nutrientes. Fungos mutualistas vivem em associações íntimas com outros organismos, absorvem nutrientes do organismo em associação, mas o retribuem com benefícios. Alguns fungos mutualistas (exemplo: micorrizas) e parasitas desenvolvem hifas especializadas chamadas **haustórios** (Figura 8.5), que servem para extrair nutrientes de dentro das células do simbionte ou dos hospedeiros.

Alguns fungos, principalmente as leveduras, obtêm sua energia por meio da **fermentação**, produzindo álcool etílico e gás carbônico (CO_2) a partir da glicose.

Nos fungos micelares é possível diferenciar dois tipos de hifas, as **vegetativas**, que não têm função reprodutiva, e as **reprodutivas**, que atuam na reprodução assexuada ou sexuada.

O micélio vegetativo é formado por hifas que ficam imersas no substrato, difíceis de serem notadas, a não ser quando seu crescimento é exagerado e formam-se verdadeiros tufos de filamentos esbranquiçados sobre a superfície do substrato, ou quando há formação das estruturas de reprodução (Figura 8.6). Imerso no substrato, o micélio absorve dele os nutrientes necessários para a sua sobrevivência. Em ambientes úmidos e ricos em nutrientes, as extremidades das hifas do micélio crescem rapidamente e se estendem penetrando cada vez mais o substrato na busca de locais com disponibilidade de mais alimento.

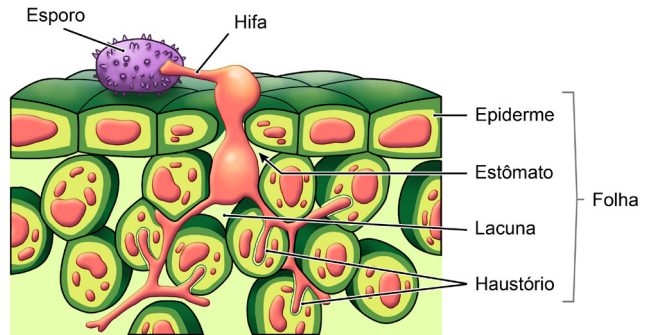


Figura 8.5: Representação esquemática de esporo de fungo germinado com haustórios projetadas para o interior do mesófilo de folha / Fonte: CEPA; elaborado por USP/Univesp

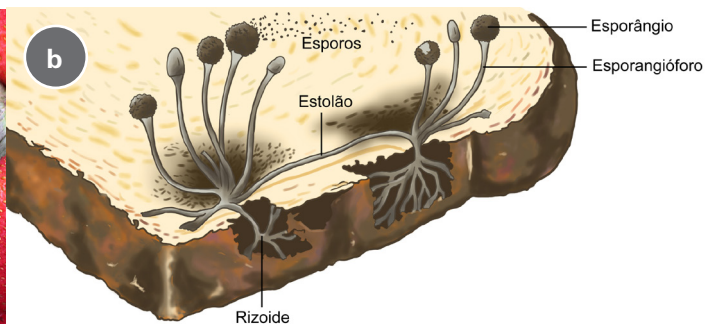
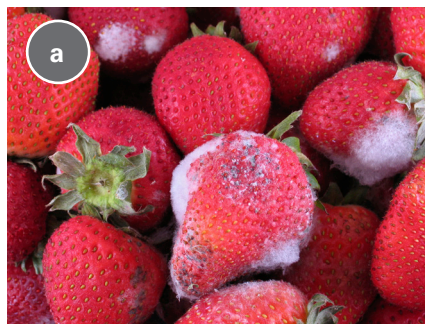


Figura 8.6: a. Fotografia de proliferação de hifas vegetativas que aparecem sobre a superfície do substrato (morango); b. Representação de fungo numa fatia de pão com hifas reprodutivas contendo esporângios / Fonte: a. *Latinstock*; b. *Cepa*; elaborado por USP/Univesp

O micélio reprodutivo é composto por hifas que se diferenciam e são responsáveis pela formação das células de reprodução, **esporos** ou **gametas**.

A maioria dos fungos se propaga pela produção de inúmeros esporos, seja sexuada ou assexuadamente. Esses esporos podem ser produzidos dentro de estruturas especializadas denominadas **esporângios** gerando **endósporos** (Figura 8.6B) ou a partir de uma célula especial chamada **conidiogênica**, que gera **exósporos** denominados **conídios** (Figura 8.7). Os esporos podem ser carregados por longas distâncias pelo vento, água ou animais. Um exemplo dessa dispersão é o apodrecimento de frutas (exemplos: mamão, maçã, melão) deixadas fora da geladeira e expostas ao ar. Em poucos dias, mesmo sem a aparente presença de focos com esporos de fungos, a fruta apresentará micélios felpudos (mofos ou bolores) que se desenvolverão a partir de pequenos esporos invisíveis que caem constantemente sobre ela.

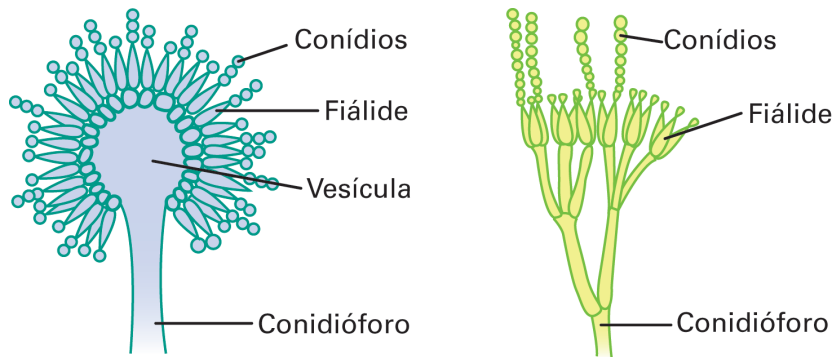


Figura 8.7: Representação de células conidiogênicas formando conídios exósporos / Fonte: CEPA; Elaborado por USP/Univesp

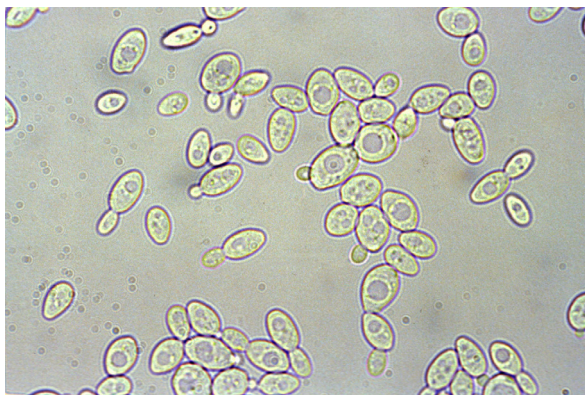


Figura 8.8: Reprodução de leveduras por gemação / Fonte: Latinstock

Os **gametângios** são estruturas que podem produzir os gametas ou conter os núcleos que funcionam como tal.

A reprodução assexuada pode também ocorrer por meio de **brotamento** ou **gemação** (Figura 8.8), ou simples divisão, **fissão binária** (Figura 8.8), muito comum em leveduras. Além disso, o micélio pode sofrer **fragmentação** e originar um novo indivíduo.

Em vários grupos de fungos micelares as hifas reprodutivas se organizam em uma estrutura especializada para a produção dos esporos haploides, chamada **corpo de frutificação** (**Figura 8.3**). Esse corpo de frutificação é formado por hifas dicarióticas ($n + n$) formadoras de esporos, misturadas com hifas estéreis que protegem as hifas $n + n$. É macroscópico e geralmente é a parte do fungo que enxergamos, sendo popularmente conhecido como cogumelo, orelha-de-pau e até mesmo fungo gelatinoso.

Na maioria das espécies de fungos, os núcleos das hifas e dos esporos são **haploides** (n), apesar de muitos fungos terem estágios **diploides** ($2n$) transitórios que surgem durante os ciclos de vida sexuados. A reprodução sexuada se inicia, geralmente, quando hifas reprodutivas distintas atuam como gametângios que contêm núcleos haploides e que funcionam como gametas. Os gametângios se encontram e se fundem. Os núcleos haploides que atuam como gametas se fundem e originam zigotos diploides. Cada zigoto germinará e produzirá esporos haploides por meiose. A formação do zigoto é a única etapa diploide do ciclo de vida dos fungos.

Não existe diferença morfológica entre as hifas que participam da reprodução sexuada, não sendo possível distinguir uma hifa masculina de uma feminina nem falar em sexo masculino e feminino. Por convenção, adota-se a denominação de + e – para diferenciá-las, sendo a hifa – aquela que doa o núcleo e hifa + aquela que o recebe.

Os quitrídios possuem ciclos de vida **diplobionte** com alternância de gerações e nos demais grupos de fungos é **haplobionte haplonte**, existindo uma única fase dominante, a haploide. Como característica desse tipo de ciclo de vida, o zigoto é o único componente diploide no fungo, portanto, a meiose é sempre zigótica, subsequente à formação do zigoto diploide.

Muitos fungos permanecem por longos períodos crescendo vegetativamente e muitos podem permanecer se reproduzindo apenas assexuadamente por esporos ou fragmentação, iniciando sua fase sexuada por estímulos externos de mudanças ambientais (exemplos: umidade ambiental e alta temperatura). Outros perderam a fase de reprodução sexuada na evolução, passando a apresentar apenas reprodução assexuada.

8.2 Os Fungos na Árvore da Vida

Por muito tempo, os fungos foram considerados **plantas** primitivas sem **clorofila**, devido à sua natureza sésil e talo organizado em múltiplos filamentos. Somente a partir de 1969, passaram a ser classificados em um reino à parte.

Os fungos apresentam um conjunto de características próprias que os diferencia das plantas e outros, que os aproxima dos animais. Os fungos apresentam substâncias quitinosas na parede celular e possuem glicogênio como material de reserva. A quitina não ocorre nas plantas, mas ocorre em certas estruturas do corpo dos animais como no exoesqueleto dos artrópodes. Nos animais, o glicogênio também é a substância de reserva. Nas plantas a substância de reserva é o amido.

Nas propostas mais recentes, os fungos são colocados como parentes mais próximos dos animais do que das plantas.

Embora a maioria dos fungos não possua flagelo, essa estrutura está presente na linhagem basal de fungos (quitrídios). Assim, a **sinapomorfia** dos opistocontes é a presença de flagelo em posição posterior, em contraposição aos outros eucariontes que possuem flagelos em posição anterior na célula.

Outras sinapomorfias dos fungos que os distinguem dos demais opistocontes são a alimentação por absorção de nutrientes (heterotrofia absorptiva), a presença de quitina nas paredes celulares, corpo organizado em hifas e reprodução por esporos.

8.3 Importância Ecológica, Econômica e Médica dos Fungos

Os fungos são importantes em diversos aspectos.

Um dos principais papéis ecológicos dos fungos refere-se à sua atuação como **decompositores**. Os fungos, junto com as bactérias decompositoras, são os responsáveis pela degradação da matéria orgânica na natureza. Essa decomposição é fundamental na reciclagem de nutrientes e no ciclo da matéria nos ecossistemas, permitindo assim a reutilização da matéria por outros organismos. Esse papel como decompositores é devido ao seu tipo de nutrição absorptiva e liberação de enzimas digestivas.

Por outro lado, essa característica tem sido explorada em programas de “limpeza” (descontaminação) de ambientes aquáticos e terrestres, devido à capacidade de algumas espécies de fungos de degradar substâncias tóxicas.

Apesar de alguns fungos serem específicos a determinados substratos, a maioria possui enzimas capazes de degradar qualquer tipo de substrato com substâncias orgânicas, como, por exemplo, animais vivos ou mortos, excrementos, vegetais e restos de vegetais, lignina e quitina, ossos, couro, tintas, papelão, plástico, tecidos, combustíveis, madeiras e CD/DVDs.

Apesar deste aspecto ecológico positivo, esse processo é responsável pelo apodrecimento de alimentos e madeiras, trazendo sérios prejuízos e entrando em conflito com os interesses econômicos.

A importância ecológica dos fungos também está relacionada ao estabelecimento de simbioses em associações mutualistas com raízes de plantas referidas como **micorrizas** (Figura 8.9). Os fungos absorvem água do solo, degradam a matéria orgânica e absorvem os nutrientes. Parte desses nutrientes é transferida para a planta contribuindo para sua absorção e nutrição, pois as vastas redes de micélios são mais eficientes do que as raízes das plantas. Portanto, as micorrizas possuem um papel importante no ecossistema, no qual os fungos contribuem para o aumento da superfície de absorção das raízes. Desse modo, certas espécies de plantas podem se adaptar a climas mais secos onde existe deficiência de água e nutrientes. Além dos nutrientes, o fungo libera substâncias que protegem a planta contra o ataque por fungos patogênicos e animais nematódeos. Por sua vez, a planta fornece certos açúcares da fotossíntese, vitaminas e aminoácidos essenciais para o crescimento do fungo.

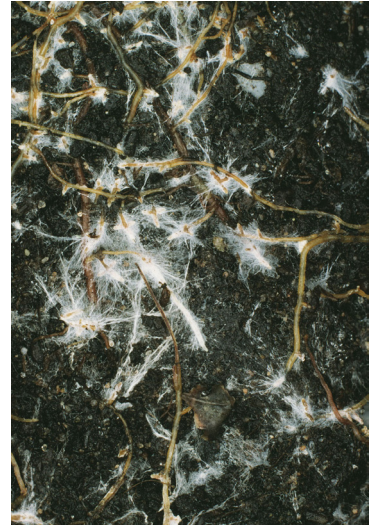


Figura 8.9: Fotografias de fungos micorrízicos associados a raízes de morango / Fonte: [Latinstock](#)

As micorrizas ocorrem na grande maioria das plantas vasculares (cerca de 80%). Existem vários tipos de fungos micorrízicos, dentre eles os **ectomicorrízicos**, que formam um revestimento de hifas sobre a superfície da raiz e os **endomicorrízicos** ou **arbusculares**, que colonizam internamente as células radiculares por meio de prolongações das hifas que se ramificam de modo arborescente. As micorrizas arbusculares são muito utilizadas por silvicultores e no desenvolvimento de mudas em viveiros para melhorar o crescimento e sobrevivência das plantas. Estudos de fósseis de plantas ancestrais têm revelado que essas associações eram comuns desde o início da evolução das plantas terrestres. Essa descoberta leva a sugerir que as associações micorrízicas podem ter representado um passo evolutivo fundamental para a conquista do ambiente terrestre pelas plantas. Isso porque, na época em que esse processo ocorreu, os solos ancestrais eram pobres em nutrientes e a associação com os fungos micorrízicos pode ter facilitado a obtenção desses nutrientes. Atualmente, é possível explicar a presença de plantas em solos extremamente pobres em nutrientes devido à presença de fungos micorrízicos associados.

Os **liquens** são outro tipo de simbiose entre fungos e algas verdes unicelulares ou filamentosas, ou cianobactérias. O componente **micobionte** geralmente é um ascomiceto. Existe grande

diversidade de formas de talo em líquen (**Figura 8.10**). O talo é formado majoritariamente pelo fungo, enquanto o **ficobionte** ocupa uma camada interna abaixo da superfície superior do líquen (**Figura 8.11**). O fungo fornece proteção e substâncias nutritivas às algas enquanto as algas fornecem produtos da fotossíntese para o fungo. Além disso, os pigmentos do fungo protegem o ficobionte contra a luz solar excessiva e alguns compostos do fungo são tóxicos e protegem o líquen de predadores. Os fungos se reproduzem sexuadamente pela formação da respectiva estrutura reprodutiva do fungo. A alga ou cianobactéria se reproduz independentemente do fungo por reprodução assexuada. Por sua vez, o líquen se reproduz assexuadamente por fragmentação ou por **sorédios** (pequenos agrupamentos de hifas e algas) (**Figura 8.11**). Os líquens são importantes colonizadores primários de rochas e superfícies de solos nus. Acondicionam as superfícies dos solos pela penetração física e conversão química para sua posterior colonização por sucessão vegetal. Mesmo sendo bastante resistentes, muitos líquens são sensíveis à poluição do ar, podendo servir como agentes de monitoramento da qualidade do ar.



Figura 8.10: Fotografia de diferentes hábitos de líquens /
Fonte: cortesia de FUNGYI CHOW

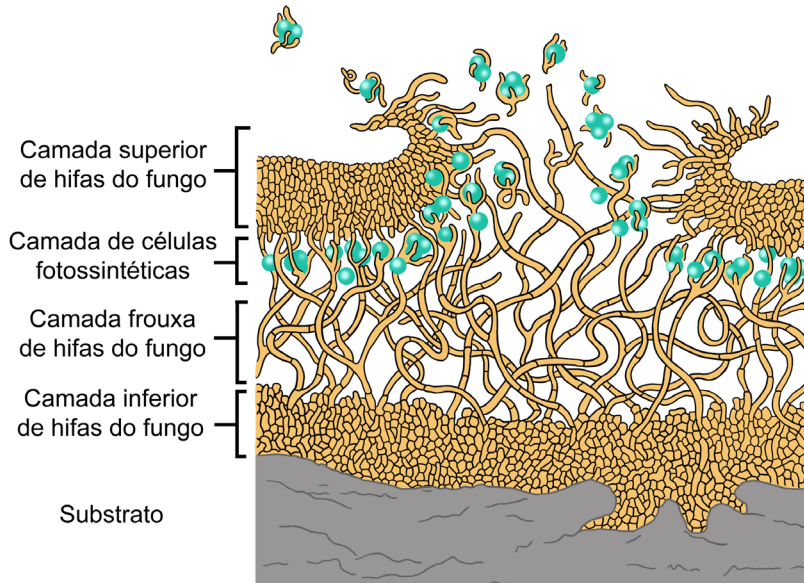


Figura 8.11: Representação de seção transversal de líquen mostrando localização do micobionte (fungos associados) e ficobionte (algas associadas). Note os sorédios que se destacam e são liberados do líquen. Os sorédios são uma ou mais células fotossintetizantes envolvidas por hifas de fungos e que atuam como estrutura de reprodução vegetativa do líquen. / Fonte: Cepa; elaborado por USP/Univesp

Outro exemplo de associação de fungos é a existente com as formigas-cortadeiras (**Figura 8.12**). As formigas cuidam e cultivam os fungos suprindo-os com pedaços de folhas que elas não podem digerir. À medida que o fungo cresce, as formigas se alimentam das partes em crescimento do fungo. A co-evolução entre as formigas-cortadeiras e os fungos se iniciou há mais de 50 milhões de anos e essa simbiose mutualística se tornou tão dependente que em muitos casos fungos e formigas não conseguem sobreviver sem suas parceiras.



Figura 8.12: Fotografia de colônia de formigas-cortadeiras que cultivam fungos em associação simbiótica / Fonte: cortesia de FUNGYI CHOW

Os fungos também têm destaque como alimento. Certas espécies de cogumelos comestíveis como o champignon (*Agaricus* sp.), o shimeji, o shitake, o pleurotus e a trufa (**Figura 8.13**) são muito utilizadas na culinária e são altamente valorizadas pelo elevado teor nutricional e de proteínas.



Figura 8.13: Fotografias de cogumelos comestíveis **a.** champignon; **b.** shitake; **c.** shimeji; **d.** pleurotus; **e.** trufa. Imagem / Fonte: **a – d:** CEPA; **e:** Thinkstock; elaborado por USP/Univesp

Existem também fungos tóxicos e alucinógenos. Esses fungos produzem compostos que são letais para animais e plantas, substâncias designadas como **micotoxinas**. Certos bolores são responsáveis pela produção de micotoxinas que atuam na deterioração de alimentos estocados. Exemplos disso são os dos gêneros *Aspergillus* (responsáveis por contaminação de cereais e amendoim), *Penicillium*, *Fusarium* e *Claviceps* (fungo que contamina grãos de cereais e é responsável pelo ergotismo) (**Figura 8.14**).

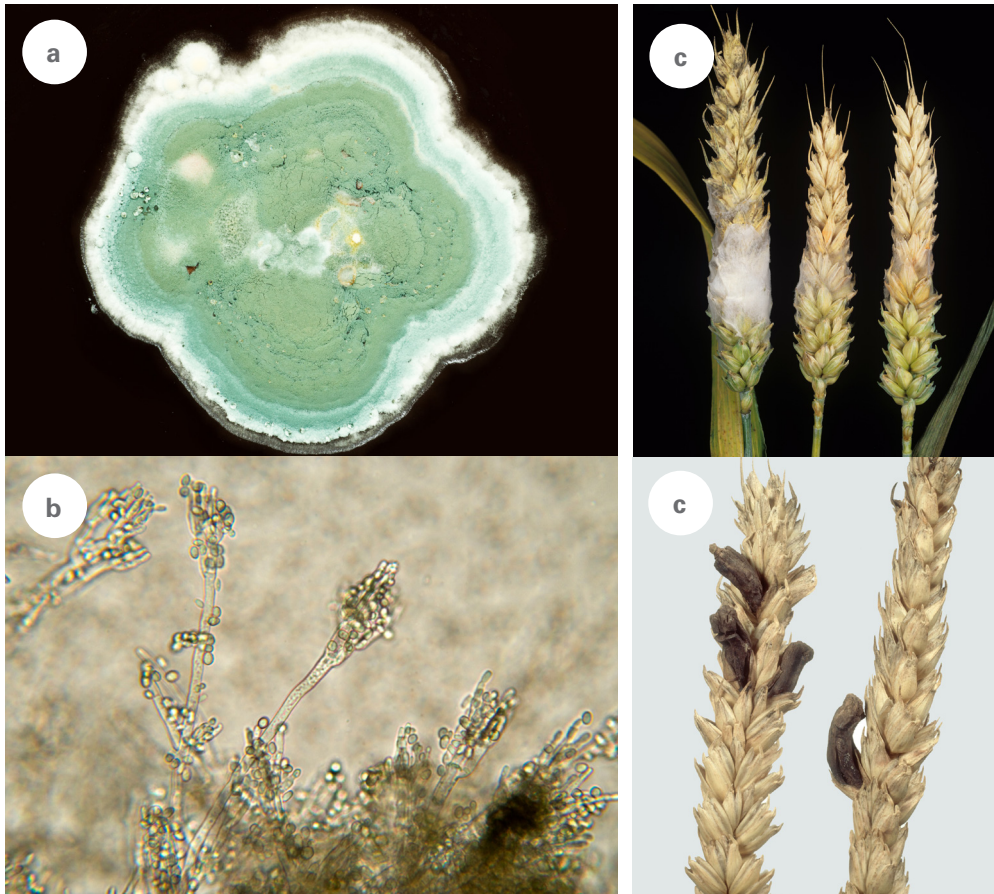


Figura 8.14: Fotografia de bolores que produzem micotoxinas: **a.** *Aspergillus*; **b.** *Penicillium*; **c.** *Fusarium*; **d.** *Claviceps* /
Fonte: **a, c e d** Latinstock; **b.** Thinkstock

Os fungos alucinógenos, psicodélicos ou mágicos são principalmente do tipo cogumelos (exemplo: *Amanita*; (**Figura 8.15**), e geralmente são considerados tóxicos devido à sua capacidade de provocar a morte se ingeridos em grande quantidade.

Outros fungos são causadores de doenças e atuam como parasitas de plantas (exemplo: ferrugem que afeta cafeeiros) e animais, trazendo grandes prejuízos à atividade agrícola e pecuária.

Entre as doenças humanas mais conhecidas causadas por fungos estão as micoses de pele (exemplo: pé-de-atleta, pitiríase e sapinho), pneumonia causada pelo fungo *Pneumocystis carinii* e candidíase, causada pelo fungo parasita *Candida*. Outro exemplo de fungo parasita que causa doença em animais é o *Histoplasma capsulatum*, causador da histoplasmose, uma doença pulmonar decorrente da inalação de esporos presentes na poeira contaminada com guano de aves e morcegos onde esse fungo se desenvolve.



Figura 8.15: Fotografia de *Amanita* sp., um fungo alucinógeno, psicodélico ou mágico / Fonte: Thinkstock

Certas leveduras como *Saccharomyces cerevisiae* e *Schizosaccharomyces* spp. e alguns fungos micelares são utilizados em processos fermentativos como nas indústrias de alimentos, panificação, bebidas alcoólicas (exemplos: vinhos e cervejas) e produtos orientais. As leveduras são fungos anaeróbios facultativos que na ausência de oxigênio realizam fermentação. *Saccharomyces* é muito utilizada pela sua alta capacidade fermentativa na produção de bebidas alcoólicas e no preparo do pão. Nesses processos, o fungo realiza fermentação alcoólica na ausência de oxigênio e na presença de açúcar, o qual a degrada em álcool etílico e CO_2 . Na fabricação de bebidas alcoólicas, o importante é o álcool produzido na fermentação, enquanto que na preparação do pão é o CO_2 que faz a massa crescer. Quando o pão está sendo assado, o álcool produzido evapora com a temperatura do cozimento e dá ao pão um aroma característico.

Outros fungos proporcionam sabor e aroma característicos a diferentes tipos de queijos (**Figura 8.16**).



Figura 8.16: Fotografia de queijos com fungos utilizados na sua fabricação / Fonte: CEPA; elaborado por USP/Univesp

Substâncias produzidas por fungos são amplamente utilizadas nas indústrias farmacêutica, cosmética, têxtil e de alimentos. A indústria de refrigerantes usa uma espécie de *Aspergillus* para produzir o ácido cítrico das bebidas do tipo “cola”. Vitaminas como a riboflavina, cianocobalamina, biotina e tiamina são produzidas por leveduras. O ergosterol, precursor da vitamina D, é isolado de fungos filamentosos. Um exemplo clássico da utilização de fungos é o que ocorre na produção de antibióticos (exemplos: penicilina e ciclosporina). O primeiro antibiótico descoberto foi a penicilina, produzido a partir de uma espécie de *Penicillium*. A ciclosporina é uma substância que suprime as reações imunológicas de rejeição de órgãos transplantados.

8.4 Panorama Histórico da Classificação dos Fungos

Os fungos são tradicionalmente estudados nos cursos de botânica junto com as plantas, pois historicamente eram classificados juntos. Na década de 1960 foi estabelecido o **Reino Fungi**, mas ainda reunindo grupos que hoje se sabe que não são fungos.

Na década de 1990, iniciou-se uma reviravolta com o conceito de Reino (ver “Diversidade Biológica e Evolução”) e novas evidências bioquímicas, de ultraestrutura e especialmente de biologia molecular, levaram os cientistas a propor outros sistemas de classificação dos fungos. Essas informações têm permitido entender que os seres vivos compreendidos no antigo Reino Fungi constituem na verdade um grupo **polifilético**.

Se definir fungo, desde a perspectiva do conceito monofilético, ainda é uma tarefa difícil devido à sua grande diversidade, pelo menos podemos caracterizar alguns atributos que incluem tanto uma levedura como um cogumelo comestível. No entanto, a classificação dos fungos ainda é controversa e contém muitas incertezas, como se pode notar pela análise do cladograma a seguir:

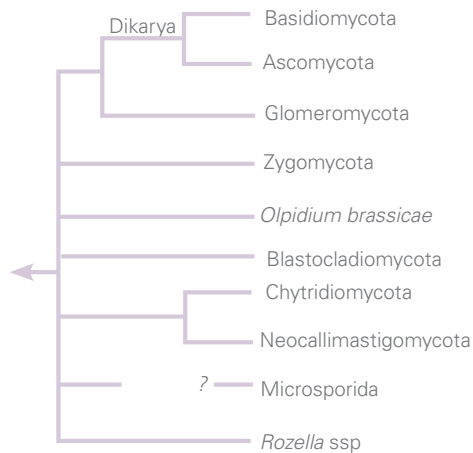


Figura 8.17: Cladograma mostrando as relações filogenéticas entre os clados da linhagem dos fungos, evidenciando que ainda existem incertezas / Fonte: modificado de *Tree of Life Web Project* (<http://tolweb.org/Fungi/2377>) - acesso em 18 de junho de 2012; elaborado por USP/Univesp

Diante dessas incertezas, vamos adotar o que existe até o momento de mais consensual entre os micólogos, que reconhecem cinco grandes filos de fungos: Chytridiomycota (quitrídeos), Zygomycota (zigomicetos), Glomeromycota (glomeromicetos), Ascomycota (ascomicetos) e Basidiomycota (basidiomicetos) (**Figura 8.17**), embora algumas evidências mostrem que Chytridiomycota e Zygomycota possam não ser monofiléticos. Alguns autores se referem a esses grupos como **fungos verdadeiros**, na tentativa de diferenciá-los daqueles protistas que parecem bolores e mofos e que antigamente eram classificados dentro dos fungos (exemplos: oomicetos, ameba plasmodial ou mixomicetos). As prováveis relações filogenéticas entre esses cinco grandes filos ainda está em discussão, mas uma proposta bem aceita está representada a seguir:

Os quitrídeos (**Figura 8.18**) são fungos aquáticos parasitas ou sapróbios. Eles possuem gametas flagelados, característica que reflete o ambiente aquático no qual teve início a evolução dos fungos. Além disso, a presença desse tipo de gameta fundamenta o caráter basal dos quitrídeos dentro da linhagem dos fungos, condição que foi herdada dos ancestrais dos opistocontes e explica parte do parentesco com os animais.

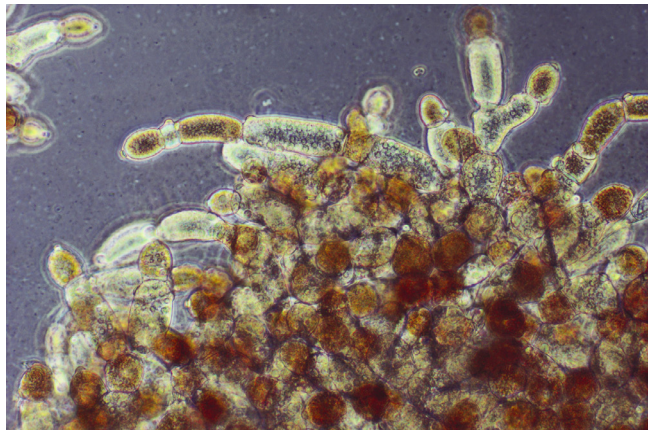


Figura 8.18: Fotos de representantes de quitrídeos / Fonte: Latinstock

A maioria dos zigomicetos (**Figura 8.19**) é terrestre, vivendo como sapróbio ou parasita de insetos, aranhas e outros animais. Os zigomicetos não possuem células flageladas e apresentam apenas o zigoto como célula diploide.

Os glomeromicetos foram antigamente considerados zigomicetos, mas estudos moleculares recentes indicam que estes fungos formam um grupo monofilético. Quase todos os glomeromicetos formam micorrizas arbusculares e constituem cerca de 90% das parcerias mutualísticas com plantas.

Os ascomicetos são o maior e mais diverso grupo de fungos. Vivem em ambiente marinho, de água doce e terrestre. Este clado inclui leveduras, alguns bolores (exemplo: bolores verdes) e fungos que formam corpos de frutificação do tipo **ascoma** ou **ascocarpo**, que contém estruturas em forma de saco (**ascos**) que produzem esporos (**ascósporos**).

Os basidiomicetos produzem corpos de frutificação mais espetaculares dentre os fungos, com formas e cores distintivamente chamativas. Esses corpos são designados de **basidiomas** ou **basidiocarpos** e produzem esporos em células especializadas que apresentam pequenos pedestais (**basídios**) que sustentam os esporos (**basidiósporos**).

Os grupos ascomicetos e basidiomicetos serão estudados com mais detalhes no próximo tópico.



Figura 8.19: Fotos de representantes de zigomicetos./
Fonte: [Latinstock](#)

Deuteromicetos

Antigamente, certas espécies de fungos que não apresentavam a fase sexuada eram consideradas fungos imperfeitos e eram classificadas em um grupo à parte, deuteromicetos. Esses fungos se reproduzem apenas por esporos assexuados formados por mitose. Hoje em dia, se sabe que para muitas dessas espécies a reprodução sexuada foi perdida no curso da evolução. Na nova proposta de classificação dos fungos, as antigas espécies de deuteromicetos foram classificadas dentro de

zigomicetos, ascomicetos e basidiomicetos, sendo a maioria deles ascomicetos. Exemplos desses deuteromicetos são os gêneros *Penicillium*, *Aspergillus* e *Saccharomyces*, que são ascomicetos.

Fungo gigante (curiosidade)

Em novembro de 2000, sob o solo da Floresta Nacional de Malheur (EUA) foi encontrado o que se considera o maior fungo do mundo, possível de ser visível pela proliferação dos seus corpos de frutificação. Este corresponde à espécie *Armillaria ostoyae* (cogumelo-do-mel) e cobre uma área de 9,6 km², o equivalente a 1.800 campos de futebol. Embora alguns pesquisadores afirmem que este indivíduo possa ter cerca de 2.400 anos de idade, pesquisas recentes com base em estudos de DNA parecem indicar que a idade deste fungo possa ser de 8.000 anos. Estima-se que este fungo possa ter uma massa total de 605 toneladas (equivalente a três baleias-azuis e 6 sismossauros, o maior dinossauro conhecido). Isso o qualifica como o maior organismo da Terra, perdendo apenas para um indivíduo de álamo-branco (*Populus tremuloides*) das montanhas Wasatch (EUA) que pesa cerca de 6.000 toneladas (área estimada de 0,43 km²).

Fungos predadores (curiosidade)

Os fungos predadores são caçadores especializados que apresentam vários mecanismos de captura de pequenos organismos, especialmente animais nematódeos. Eles produzem hifas em forma de um emaranhado em rede que secretam abundantes substâncias viscosas. Os nematódeos ao tentarem passar pelos anéis da rede ficam presos pelo muco. A presença do verme estimula maior secreção de muco pelo fungo, que rapidamente desenvolve hifas adicionais que envolvem o animal. Outras hifas formam haustórios que penetram o corpo do animal, digerindo-o e absorvendo seus tecidos.

Vassoura-de-bruxa

A vassoura-de-bruxa é uma doença causada pelo basidiomiceto *Moniliophthora perniciosa* (antes classificado como *Crinipellis perniciosa*) que parasita principalmente plantas de cacau, atacando também batata-doce, chuchu, amendoim e até mesmo ervas daninhas. A doença tem esse nome porque deixa os ramos infestados secos como uma vassoura velha. No Brasil, a doença tem cobrado um preço alto causando quedas na produção de cacau e no preço no mercado internacional.



Agora é a sua vez...
Realize a **atividade online 1, 2 e 3**.



Para saber mais, realize a **atividade complementar 4**
e participe do **Fórum de discussão temático**.

Fechamento do Tópico

A micologia tornou-se sistemática após o desenvolvimento do microscópio no século 16, e houve maior aprofundamento devido aos avanços na bioquímica, genética, biologia molecular e biotecnologia durante o século 20. Essas ferramentas permitiram aprofundar no estudo das características gerais que distinguem os grandes grupos de fungos e as relações filogenéticas que foram abordadas neste tópico. Além disso, destacamos alguns aspectos da sua importância na alimentação, na biotecnologia, na medicina e como agentes patógenos. Foi apresentado um panorama histórico da sua classificação e também sua relação com os animais na árvore da vida.

Referência bibliográfica

- ALEXOPOULOS, C.J., MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- CAMPBELL, N.A. *et al.* **Biologia**. 8^a ed. 1464 p. Porto Alegre: Artmed, 2010
- CARLILE, M.J.; WATKINSON, S.C. **The Fungi**. 2nd ed. London: Academic Press, 2001.
- ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J.L. **Fungos: uma Introdução à Biologia, Bioquímica e Biotecnologia**. Caixas do Sul: Educ. 2004.
- RAVEN, P.H.; EVERT R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2007.
- SADAVA, D. *et al.* **Vida: a Ciência da Biologia**. Vol. 2. Porto Alegre: Artmed. 2009.
- WAINWRIGHT, M. **An Introduction to Fungal Biotechnology**. New York: John Wiley & Sons. 1992.