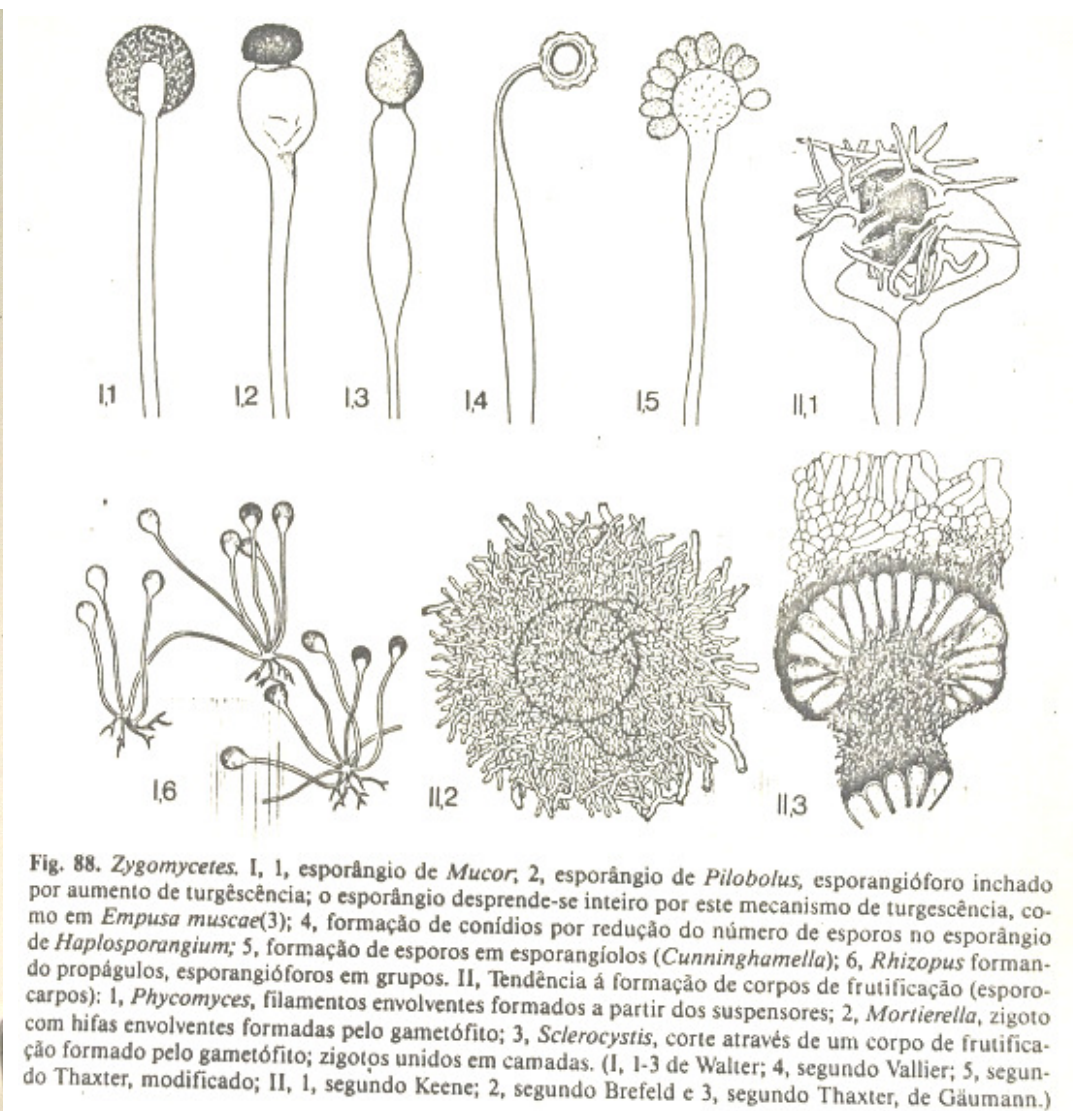
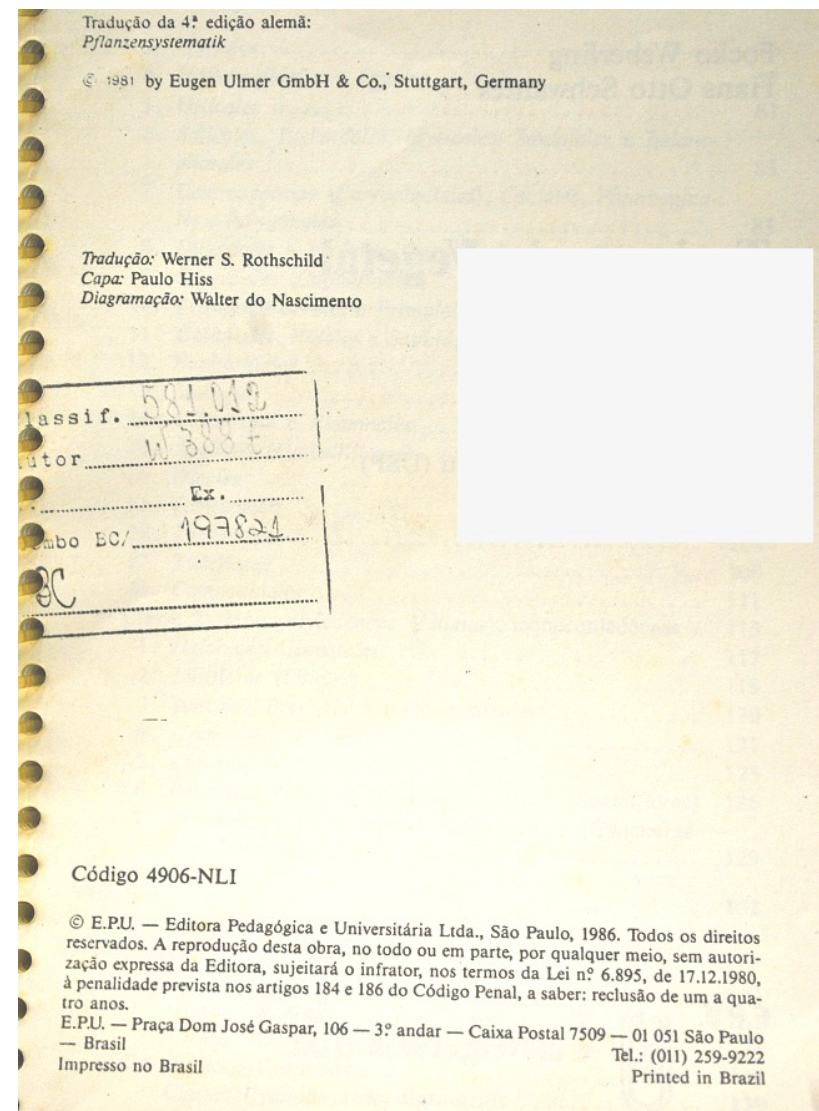
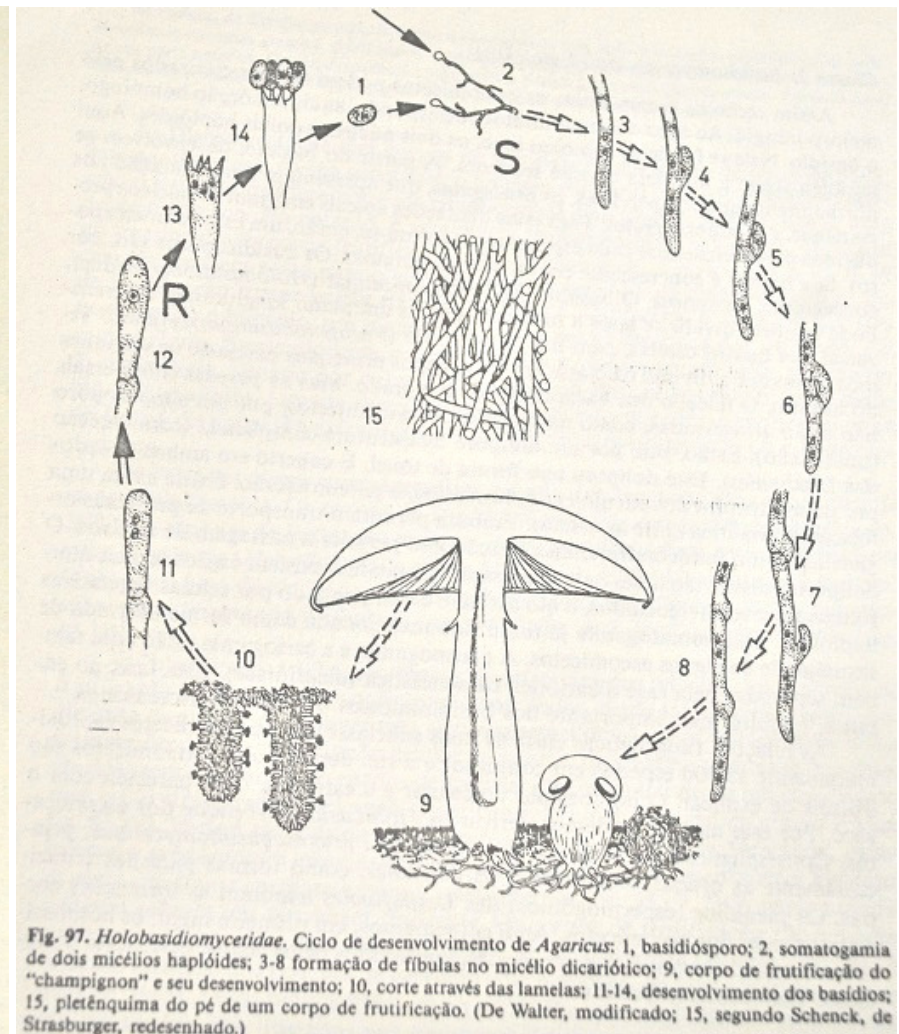
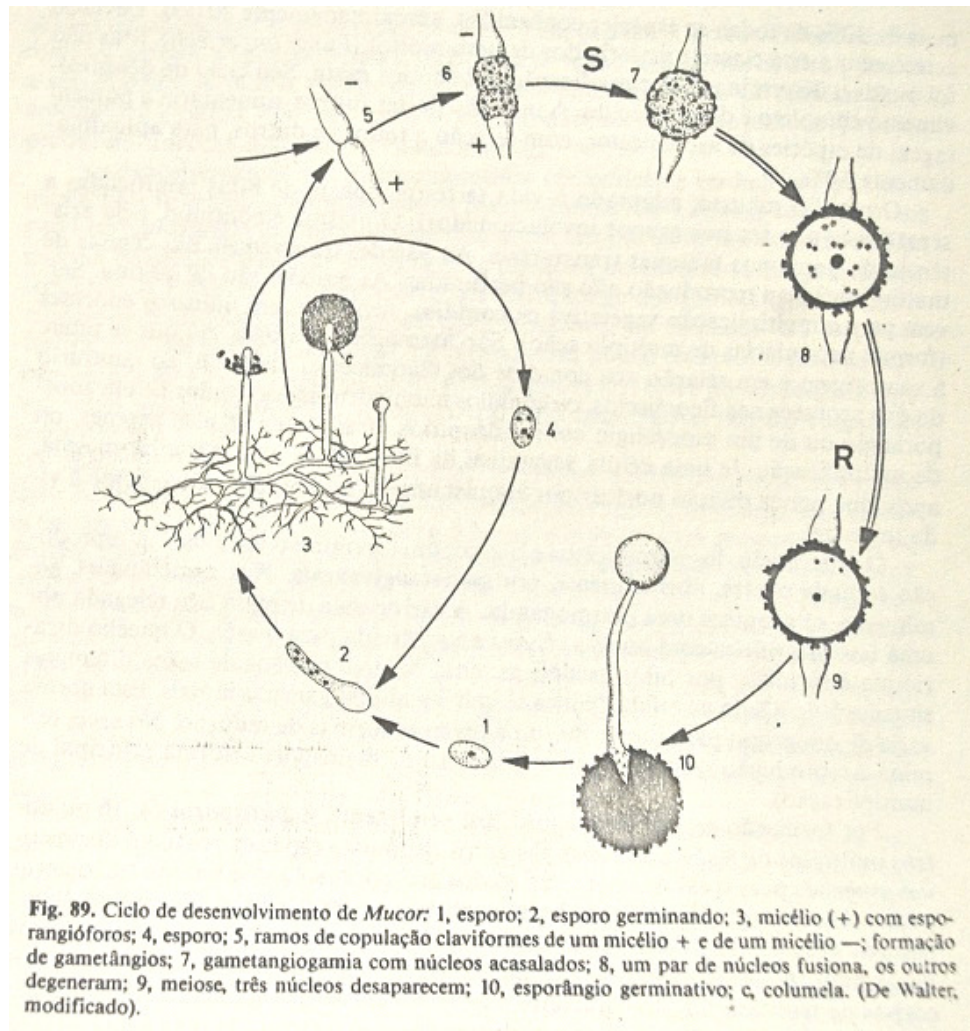


TÓPICOS EM FUNGOS E FUNGOS LIQUENIZADOS





Todos os materiais das próximas páginas foram retirados de:

- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTIS, H. **Biologia Vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986.

CAPÍTULO 11

Fungos

São os fungos tão distintos das algas, briófitas e plantas vasculares, quanto o são dos animais. Merecem discussão neste texto, em face do magno interesse intrínseco que apresentam e porque têm sido, tradicionalmente, agrupados com as plantas. Aqui, porém, serão tratados como um reino distinto, os Fungos (*Fungi*), constituindo um dos cinco principais grupos de organismos vivos discutidos no Capítulo 9.

Juntamente com as bactérias, vêm a ser os



Fig. 11.1 Micélio de um basíomiceto sobre um tronco em decomposição.

seres encarregados da decomposição na biosfera (Fig. 11.1), sendo suas atividades tão necessárias à existência permanente do mundo que conhecemos quanto as dos seres produtores de alimento. Conforme vimos, a decomposição por fungos e bactérias libera gás carbônico na atmosfera e devolve ao solo compostos nitrogenados e outros materiais, onde poderão ser novamente usados pelos vegetais verdes e eventualmente pelos animais. Estimou-se que os 20 cm superiores da terra fértil possam conter perto de 5 toneladas de fungos e bactérias por hectare.

Na qualidade de decompositores, os fungos freqüentemente entram em conflito direto com os interesses do Homem. Como eles não distinguem um tronco apodrecido e caído na floresta de um dormente de estrada de ferro, podem atacar tanto um quanto o outro. Equipados com um poderoso arsenal de enzimas, capazes de decompor produtos orgânicos, os fungos, com freqüência, mostram-se nocivos e, não raramente, muito destrutivos. Isto é particularmente verdadeiro nos trópicos, já que ali a umidade e o calor promovem o seu crescimento; calculou-se que, durante a Segunda Guerra Mundial, menos de 50% dos suprimentos militares, enviados para áreas tropicais, chegaram em condições de uso. Tais seres atacam fazendas, tinta, papelão, couro, ceras, combustíveis, material isolante de cabos e arame, películas fotográficas e até mesmo a cobertura de lentes da aparelhagem ótica — na verdade, quaisquer substâncias que se possam conceber. Mesmo nas regiões temperadas, eles constituem os flagelos dos produtores de alimentos comerciais, crescendo sobre pão, frutas frescas, legumes, carnes e outros produtos.

A importância dos fungos como pragas comerciais é ampliada pela capacidade que denotam possuir de crescer sob grande amplitude de condições externas. Por exemplo, algumas linhagens de *Cladosporium herbarum*, que atacam a carne armazenada em frigorífico, chegam a crescer a -6°C; uma espécie de *Chaetomium* tem um crescimento ótimo a 50°C, podendo mesmo crescer a 60°C se for trans-

ferida gradualmente para aquela temperatura. Os esporos fúngicos podem sobreviver sob temperaturas ainda mais extremas.

Semelhantes capacidades, que fazem deles pragas comerciais tão importantes, poderão torná-los, no futuro, comercialmente valiosos. Alguns fungos possuem a propriedade, pouco observada, de hidrolisar a celulose dando origem à glicose, a qual pode, por sua vez, ser empregada em inúmeros processos industriais. O *Trichoderma viride*, uma das piores pragas no Pacífico Sul durante a Segunda Guerra Mundial, está sendo atualmente cultivado pelo Exército dos Estados Unidos; pretende-se construir uma fábrica capaz de transformar 90 toneladas de celulose, oriunda de restos de jornais, papéis velhos, palha, cascas de amendoim, etc., em glicose. Fábricas deste tipo estariam operando em grande escala por volta de 1980.

Muitos fungos abandonaram o seu papel de agentes decompositores e passaram a agressores de organismos vivos (Fig. 11.2). Uma multidão deles ataca as plantas, causando moléstias; bem mais de 5.000 espécies desempenham quejanda tarefa, prejudicando tanto valiosos vegetais cultivados quanto vegetais espontâneos. Atacando árvores vivas, eles originam a perda anual de mais de 20.000 toneladas cúbicas de madeira, no Estado da Califórnia tão somente. O homem e os animais domésticos estão sujeitos a sérias moléstias fúngicas.

Umas 100.000 espécies de fungos foram descritas, supondo-se haja mais umas 200.000 aguardando sua descoberta pelos micólogos (pessoas que estudam os fungos). Na realidade, é possível que existam tantas espécies de fungos quantas de plantas, embora muito menos tenham sido descritas até agora. Os fungos não mostram conexões evolutivas diretas com as plantas e aparentemente derivaram, de modo independente, de eucariotes unicelulares. Eles são extremamente diversificados, seja metabólica, seja estruturalmente, e, em geral, as linhas de diversificação encontradas nos fungos diferem marcadamente daquelas que se encontram em qualquer outro grupo de organismo.

Tradicionalmente, mixomicetos e fungos situam-se lado a lado. Houve época em que os dois grupos, juntamente com as bactérias, eram colocados numa única divisão, dita *Fungi*. Excetuando-se certas bactérias, esta divisão consistia inteiramente de organismos heterotróficos e morfológicamente simples. Mediante a crescente compreensão das diferenças fundamentais entre procariotes e eucariotes, os biólogos retiraram as bactérias da divisão *Fungi*. Em face da peculiar combinação de características que exibem, os mixomicetos passaram a ser atribuídos ao reino *Protista*; conseqüentemente, eles serão discutidos no capítulo das algas (Cap. 12). Assim, os chamados fungos verdadeiros foram elevados à categoria de reino, consistindo em uma única divisão, chamado de *Mycota*.



Fig. 11.2 Vespa morta por um fungo parasita.

BIOLOGIA DOS FUNGOS

Todos os fungos são filamentosos ou unicelulares; mesmo os cogumelos consistem simplesmente de uma série de filamentos arrumados apertadamente. Os filamentos fúngicos denominam-se *hifas* e a massa de hifas recebe o nome de *micélio* (Figs. 11.1 e 11.3). O crescimento das hifas processa-se pelas extremidades, mas as proteínas são sintetizadas por todo o micélio e levadas até as pontas das hifas pela corrente citoplasmática, fenômeno este muito bem desenvolvido nos fungos. Em 24 horas, uma colônia fúngica pode produzir mais de 1 quilômetro de micélio. As palavras "micélio" e "micólogo" procedem do grego *myketos*, que significa fungo.

Os fungos, dotados de rápido crescimento e forma filamentosa, demonstram um relacionamento com o ambiente muito diverso do que se encontra em qualquer outro grupo de organismos. Neles, a relação superfície/volume, é muito alta, o que significa que se acham em íntimo contacto com o meio. Com raras exceções, nenhuma parte de um fungo está a mais de uns poucos micrômetros do ambiente externo e deste se separa apenas mediante uma parede celular delgada e uma membrana plasmática. Conseqüentemente, um fungo provido de grande micélio pode ter um profundo efeito sobre as suas circunvizinhanças, por exemplo, na agregação do solo. As hifas, freqüentemente, podem fundir-se, mesmo quando surgem de diferentes esporos, dando origem, assim, a complicadas redes micelianas. Para manter esta espécie de íntimo relacionamento entre o fungo e o ambiente faz-se mister uma

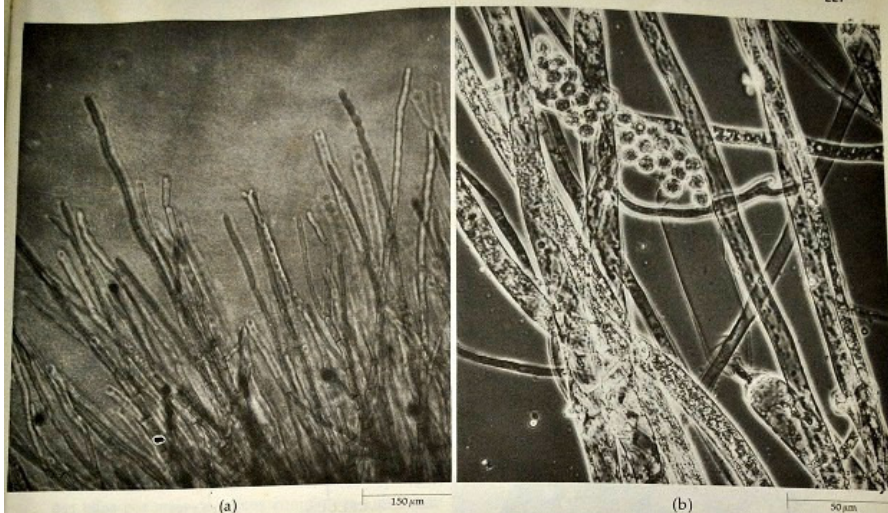


Fig. 11.3 (a) Micélio de uma espécie de *Aspergillus*. Os corpos escuros são estruturas assexuadas que produzem esporos. Este bolor foi cultivado colocando-se uma placa, que continha um meio de cultura simples, sobre o peitoril de uma janela, durante meia hora, em Nova Iorque. (b) Micélio do bolor aquático *Achlya ambisexualis*, mostrando um esporângio pondo zoósporos (esporos que nadam) em liberdade. (a, Eric V. Gravé.)

alta taxa metabólica. Ao demais, é preciso que todas as partes do fungo sejam metabolicamente ativas; os tipos de camadas quiescentes de tecidos encontrados, e.g., nas plantas superiores, faltam nos fungos. Enzimas e outras substâncias segregadas pelos fungos possuem intenso efeito nas redondezas e grande importância no capítulo da manutenção do próprio fungo.

Todos os fungos se revelam heterotróficos. Eles obtêm o alimento seja como sapróbios, organismos que vivem sobre matéria orgânica morta, seja como parasitas, que se nutrem sobre matéria viva. Em ambos os casos, as substâncias nutritivas são ingeridas por absorção após ter sido parcialmente digeridas por meio de enzimas, secretadas por fora da parede celular. Certos fungos, incluindo uma série de leveduras, têm a propriedade de ceder energia mediante a respiração anaeróbia, tal como sucede durante a produção de álcool etílico a partir da glicose. O glicogênio é o polissacarídeo fundamental que os fungos armazenam, como o é também nos animais.

Fungos saprobióticos levam, algumas vezes, hifas um tanto especializadas que se dizem rizóides, cujo papel é fixá-los ao substrato. As formas parasitárias, comumente, conduzem hifas especializadas chamadas de haustórios, os quais penetram nas células de outros seres e absorvem diretamente o seu nutrimento (Fig. 11.4).

Todos os fungos têm paredes celulares e a maioria gera esporos de algum tipo. Em geral, não se movem, porém representantes de umas poucas classes produzem células flageladas móveis (Fig. 11.3b).

A parede celular dos fungos

Entre as plantas e as algas, a parede celular é estruturada sobre uma base de celulose. Outras moléculas, como hemiceluloses e substâncias pécicas, encontram-se nas aberturas situadas entre as microfibrilas de celulose. Na maior parte dos grupos de fungos, a parede celular compõe-se, primariamente, de outro polissacarídeo — a quitina (Fig. 11.5), que vem a ser o mesmo material achado nas partes duras dos artrópodes. Nos oomicetos, entretanto, as paredes celulares mostram-se compostas, em grande parte, de d-glicose com um padrão diferente da celulose em matéria de ligação. Os oomicetos não se relacionam, provavelmente, de maneira direta com os demais fungos, tendo derivado independentemente de ancestrais protistas.

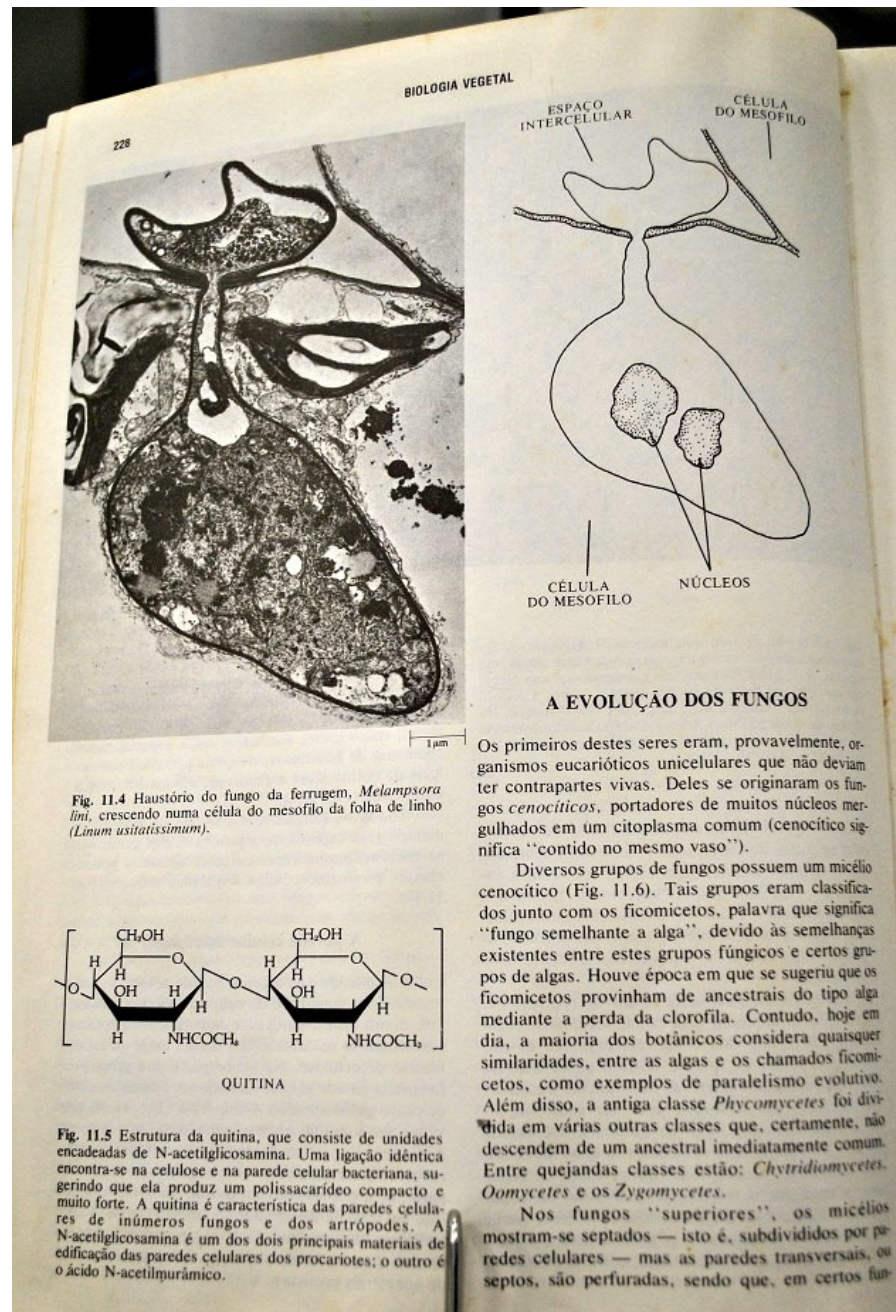


Fig. 11.4 Haustório do fungo da ferrugem, *Melampsora lini*, crescendo numa célula do mesofilo da folha de linho (*Linum usitatissimum*).

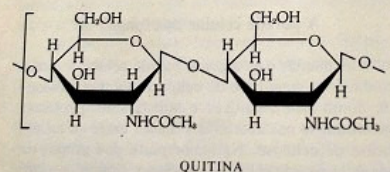
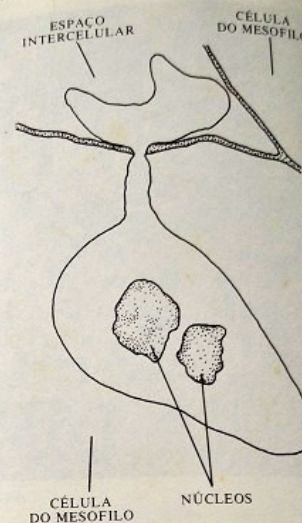


Fig. 11.5 Estrutura da quitina, que consiste de unidades encadeadas de N-acetilglicosamina. Uma ligação idêntica encontra-se na celulose e na parede celular bacteriana, sugerindo que ela produz um polissacarídeo compacto e muito forte. A quitina é característica das paredes celulares de inúmeros fungos e dos artrópodes. A N-acetilglicosamina é um dos dois principais materiais de edificação das paredes celulares dos procariotes; o outro é o ácido N-acetilpurâmico.



A EVOLUÇÃO DOS FUNGOS

Os primeiros destes seres eram, provavelmente, organismos eucarióticos unicelulares que não deviam ter contrapartes vivas. Deles se originaram os fungos cenocíticos, portadores de muitos núcleos mergulhados em um citoplasma comum (cenocítico significa "contido no mesmo vaso").

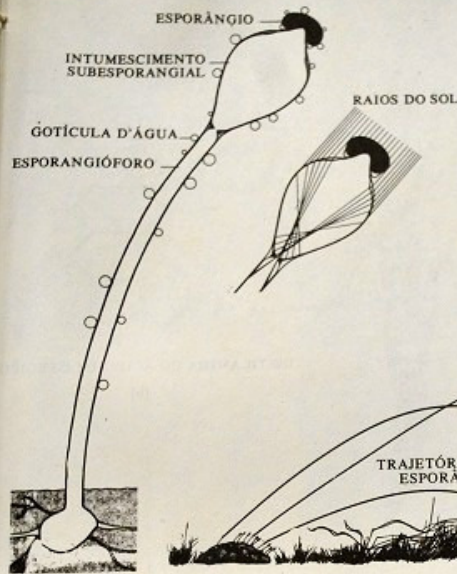
Diversos grupos de fungos possuem um micélio cenocítico (Fig. 11.6). Tais grupos eram classificados junto com os fomicetos, palavra que significa "fungo semelhante a alga", devido às semelhanças existentes entre estes grupos fúngicos e certos grupos de algas. Houve época em que se sugeriu que os fomicetos provinham de ancestrais do tipo alga mediante a perda da clorofila. Contudo, hoje em dia, a maioria dos botânicos considera quaisquer similaridades, entre as algas e os chamados fomicetos, como exemplos de paralelismo evolutivo. Além disso, a antiga classe *Phycomycetes* foi dividida em várias outras classes que, certamente, não descendem de um ancestral imediatamente comum. Entre quejandas classes estão: *Chytridiomycetes*, *Oomycetes* e os *Zygomycetes*.

Nos fungos "superiores", os micélios mostram-se septados — isto é, subdivididos por paredes celulares — mas as paredes transversais, ou septos, são perfuradas, sendo que, em certos fun-

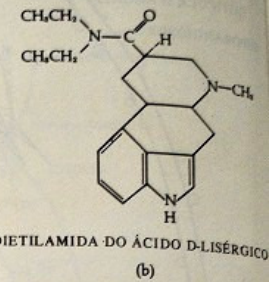
FOTOTAXIA EM UM FUNGO

No *Pilobolus*, um zigomiceto que cresce em esterco, os esporângios lançam-se na direção da luz. O esporângio orienta-se para a luz de modo que os raios de luz penetram no intumescimento subesporangial convergindo sobre uma área basal fotorreceptiva. A luz focalizada em outros pontos promove crescimento máximo do esporangióforo no lado oposto, onde ela não incide. A alta pressão da seiva, no vacúolo do intumescimento subesporangial, divide-o e faz voar pelos ares o esporângio até uns 2 metros. Quando este se desprende, o esporangióforo entra em colapso. O esporângio adere onde cai e se fixa numa folha de graminea, poderá ser ingerido por um herbívoro. Atravessa, então, o tubo digestivo do animal sem sofrer dano e será depositado no estrume para recomençar o ciclo.

(a) Uma densa colônia de *Pilobolus* crescendo sobre esterco de cavalo, estando os esporângios orientados na direção da luz. (b) O ápice de um esporangióforo. (c) Um esporângio no ato de ser atirado no espaço à medida que o intumescimento subesporangial murcha. O esporângio arrasta uma cauda de seiva vacuolar. (a,b, Eric V. Gravel).



TRAJETÓRIA DO ESPORÂNGIO



(a)

ERGOTISMO

Muitos ascomicetos são parasitas de plantas superiores. A doença vegetal chamada de esporão é causada pelo *Claviceps purpurea*, parasita do centeio e outras gramineas. Conquanto o esporão raramente gere sério prejuízo às plantações de centeio, o grão do centeio é pequena quantidade misturada com o grão do centeio é suficiente para produzir severa doença nos animais domésticos ou nas populações que comem o pão feito com tal farinha. O ergotismo, a intoxicação gerada por comer grãos infestados com o esporão, acompanha-se, frequentemente, de gangrena, espasmos nervosos, ilusões psicóticas e convulsões. Ocorria, comumente, durante a Idade Média, sendo então conhecido como "fogo de Santo Antonio". Uma epidemia, no ano de 994, matou mais de 40.000 pessoas. Em 1722, o ergotismo liquidou a cavalaria do Czar Pedro, o Grande, na véspera da batalha para a conquista da Turquia e, desta sorte, mudou o curso da História. Ainda em 1951, houve uma irrupção numa pequena aldeia francesa, na qual 30 pessoas ficaram temporariamente insanas, imaginando que estavam sendo perseguidas por demônios e serpentes; 5 delas morreram.

O esporão do centeio, que leva os músculos a se contraírem e os vasos sanguíneos a se constringirem, é utilizado em medicina. E, também, a fonte inicial da droga psicodélica denominada dietilamida do ácido lisérgico (LSD), cuja estrutura se vê em (b). Em (a) são visíveis, entre as espiguetas do centeio, as estruturas latentes e atro-púrpúreas do *Claviceps*.



Classe Ascomycetes

Esta classe compreende perto de 30.000 espécies descritas, incluindo muitas familiares e economicamente importantes. A maioria dos fungos azul-esverdeados, vermelhos e pardos, que estragam alimentos, são ascomicetos, inclusive a *Neurospora*, um bolor do pão de coloração salmão, o qual tem desempenhado papel notável na história da Genética moderna. Produzem inúmeras moléstias nas plantas, como o mildio dos frutos e as murchas de tantas plantas. As leveduras também são ascomicetos, bem como as trufas e morechas (Fig. 11.15). No conjunto, o grupo é relativamente pouco conhecido; milhares de espécies — algumas indubitavelmente de grande relevância econômica — aguardam descrição científica.

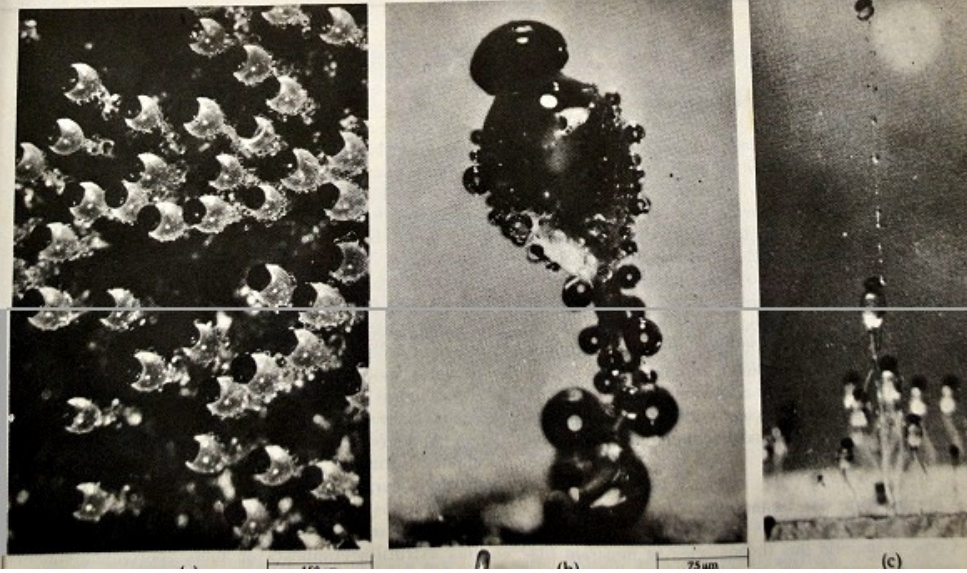
Características dos Ascomicetos

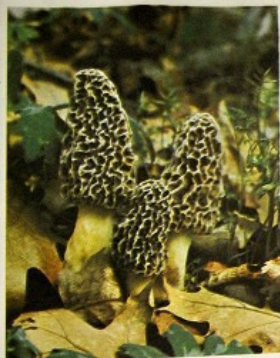
Como a maioria dos fungos, eles se mostram filamentosos quando em crescimento. Em geral, suas hifas são septadas (divididas por paredes transver-

sais), ao invés de asseptadas como acontece nos oomicetos e em quase todos os zigomicetos. Tais septos revelam-se perfurados, permitindo ao citoplasma e seus núcleos moverem-se livremente através deles (Fig. 11.7). As células hílicas do micélio vegetativo tanto podem ser uninucleadas quanto multinucleadas. Alguns ascomicetos são homotáticos; outros, heterotáticos.

A reprodução assexuada, na maioria deles, processa-se por meio da formação de esporos especializados, ditos *conídios* (do grego, com significado de "pó fino"), que se desprendem das extremidades de hifas modificadas, denominadas *conidióforos* ("portadoras de esporos"). Não há células flageladas no ciclo vital destes fungos.

A reprodução sexuada transcorre sempre mediante a formação do *asco* ("pequeno saco"), uma estrutura característica deste grupo e que o distingue de todos os demais fungos (Fig. 11.16). A formação do asco usualmente tem lugar no interior de uma estrutura composta de hifas apertadamente enoveladas, dita *ascocarpo*. Muitos destes se mostram macroscópicos e têm sido utilizados extensa-

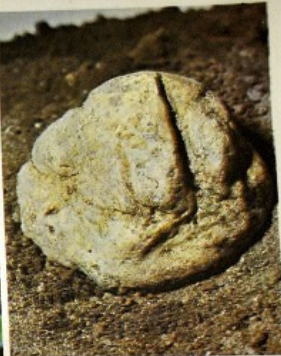




(a)



(b)



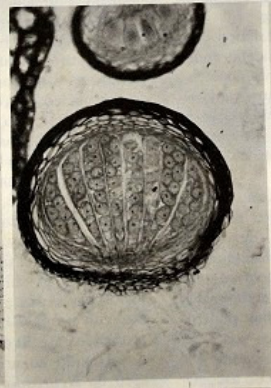
(c)

Fig. 11.15 Grandes e típicos ascomicetos. (a) *Morchella esculenta*, um dos melhores cogumelos comestíveis, apanhado usualmente nas matas temperadas. (b) *Sarcoscypha coccinea*, um belo cogumelo das matas. (c) Uma trufa, *Tuber melanosporum*. Nas trufas, que são cogumelos muito apreciados pelos gourmets, as estruturas portadoras

de esporos são produzidas debaixo da terra, onde permanecem fechadas; a liberação dos esporos só se dá mediante putrefação dos ascomarcos ou sua rotura por animais. Vivem como micorrizas dos carvalhos. Sua procura é feita por cães e porcos especialmente treinados. Não podem ser cultivados em escala comercial.



(a)



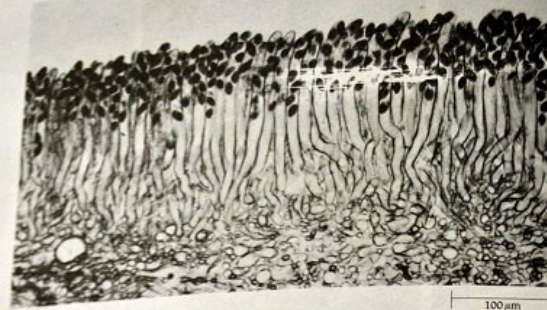
(b)



(c)

Fig. 11.16 Ascos. (a) Elettromicrografia mostrando dois ascos de *Ascodesmis nigricans*, nos quais os ascósporos estão amadurecendo. (b) Ascocarp de *Erysiphe aggregata*, onde se vêem os ascos e os ascósporos no seu interior. Semelhante ascocarp, completamente fechado,

chama-se cleistotécio. (c) Ascocarp de *Chaetomium eraticum*, mostrando os ascos e os ascósporos. Tal ascocarp, dotado de uma pequena abertura, é conhecido como peritécio. Observe o diminuto poro no ápice do peritécio. Ascos de *Neurospora* são vistos na Figura 3.1.



100µm

Fig. 11.17 Seção pela camada himenial de *Morchella*, vendo-se ascos e ascósporos. Entre os ascos há delgados filamentos estêreis, denominados paráfises.

mente na classificação dos ascomicetos. Os ascomarcos podem ser abertos e mais ou menos cistiformes (apotécios; Fig. 11.15b), fechados e globosos (cleistotécios; Fig. 11.16b), ou em forma de frasco dotado de um poro através do qual os ascósporos escapam (peritécios; Fig. 11.16c); os ascos, por via de regra, acham-se inseridos nas paredes internas dos ascomarcos. A camada composta de ascos chama-se himénio ou camada himenial (Fig. 11.17). Filamentos estêreis ou paráfises frequentemente tomam parte na constituição do himénio.

A Figura 11.18 ilustra o característico ciclo vital de um ascomiceto. Inicia-se o micélio com a germinação de um ascósporo e logo após começa a formação de conidióforos, com os seus conídios. Produzem-se levaduras sucessivas de conídios, geralmente multinucleados, durante a estação de crescimento, e são eles os principais responsáveis pela propagação e disseminação do fungo.

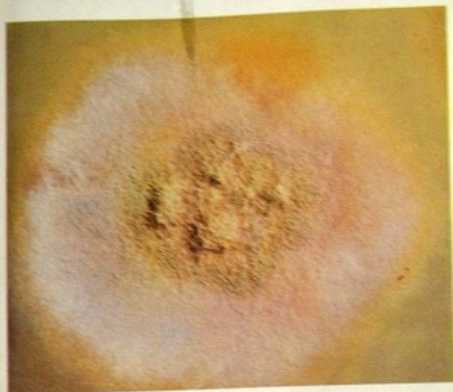
A geração dos ascos ocorre no mesmo micélio que produz os conídios, sendo precedida pela formação de gametângios multinucleados, denominados anterídios e ascogônios. O núcleo masculino do anterídio penetra no ascogônio através do tricógino. Em seguida, tem lugar a plasmogamia, ou fusão dos dois protoplastos. Os núcleos masculinos podem, então, emparelhar com núcleos femininos geneticamente distintos — mas não se fundem com eles. Filamentos híficos começam a crescer fora do ascogônio e a alongar-se formando hifas ascógenas. À medida que as hifas ascógenas se desenvolvem, migram pares de núcleos para o interior delas e ocorrem divisões mitóticas simultâneas na hifa e no ascogônio. As divisões celulares nas hifas ascógenas em desenvolvimento sucedem de tal maneira que as

células resultantes são binucleadas ou dicarióticas.

Os ascos surgem nas pontas de hifas ascógenas, dotadas de umas poucas células dicarióticas. Na formação de um asco, uma das células binucleadas da hifa dicariótica cresce formando um gancho ou báculo. Nesta célula em forma de cajado, os dois núcleos dividem-se de tal modo que as fibras do fuso se ordenam verticalmente e ficam paralelas. Dois dos núcleos-filhos permanecem juntos na ponta do gancho; um dos outros está próximo da ponta e o último situa-se perto do septo basal do gancho. Formam-se, então, dois septos, os quais dividem o gancho em 3 células, transformando-se em asco a mediana. É nesta célula central que se processa a cariogamia, fundindo-se os dois núcleos paternos para formar um núcleo diplóide (zigoto), o único núcleo diplóide que existe no ciclo vital dos *Ascomycetes*. Logo após a cariogamia, o jovem asco começa a alongar-se. O núcleo diplóide, então, sofre meiose, que se segue geralmente pela divisão mitótica, dando um total de 4 ou 8 núcleos. Estes núcleos haplóides, em seguida, isolam-se em segmentos organizados dando origem aos ascósporos. Na maioria dos ascomicetos, o asco torna-se túrgido na maturidade e, finalmente, explode, lançando violentamente os seus ascósporos no ar. Embora a maior parte das espécies lancem os seus esporos somente a uns 2 cm do asco, algumas conseguem propeli-los até 30 cm.

Devido ao arranjo linear dos ascósporos no asco do *Neurospora* (Fig. 3.1), os esporos individuais podem ser isolados por dissecação e cultivados separadamente. Em consequência, cada caso de recombinação e de *crossing-over*, que se dê durante a meiose, poderá ser surpreendido e analisado, o que fez do *Neurospora* uma importante ferramenta na compreensão dos processos genéticos.

cavernas e, ao voltar semanas depois, encontrou o queijo com aspecto marmoreo, picante e cheirando forte. Somente queijos oriundos da área em torno das referidas cavernas podem levar o nome de Roquefort. Outra espécie congênica, *P. camemberti*, transmite ao queijo Camembert suas qualidades peculiares. No Oriente, o molho e a pasta de soja são



(a)

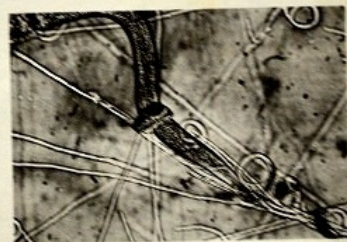


(b)

Fig. 11.20 Dois dos mais comuns gêneros de fungos imperfeitos, *Penicillium* e *Aspergillus*. (a) *Penicillium dupontii*. (b) *Aspergillus niger*, este mostrando o padrão concêntrico de crescimento oriundo de sucessivas descargas de esporos.

FUNGOS PREDADORES

Entre os mais especializados dos fungos estão os predadores, que desenvolveram vários mecanismos para capturar pequenos animais, usados como alimento. Alguns segregam uma substância viscosa sobre a superfície das hifas, nas quais animais como protozoários, rotíferos, insetos diminutos etc., podem ficar presos. Mais de 50 espécies de fungos capturam pequenos nematódios que abundam no solo. Na presença de uma população desses vermes (ou mesmo na água onde eles existam), as hifas fúngicas produzem laços ou alças que incham rapidamente, prendendo-os. É de presumir-se que o estímulo da parede celular aumente a quantidade de material osmoticamente ativo na célula, fazendo com que a água entre nas células e intensifique o seu turgor com rapidez. (a) O fungo imperfeito predador, *Arthrobotrys dactyloides* acaba de laçar um nematódio. A armadilha consta de anéis, cada um formado de 3 células, capazes de intumescerem velozmente até 3 vezes o seu tamanho habitual e garrotear o nematódio. Agarrado o verme, hifas crescem para o interior do corpo e o digerem. Quando disparado, o anel pode expandir-se completamente em um período inferior a um décimo de segundo. (b) Outro fungo apressador de nematódios, *Dactylella drechsleri*, que apanha os vermes mediante nódulos adesivos.



(a)



(b)

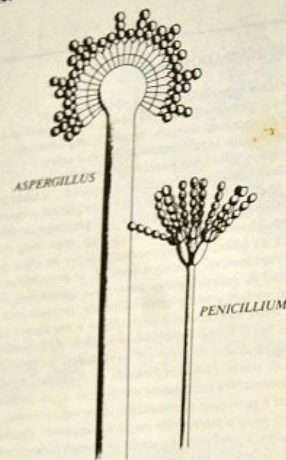


Fig. 11.21 Os característicos conidióforos de *Aspergillus* (apertamente unidos) e de *Penicillium* (os ramos mais abertos).

preparados pela fermentação da soja com *Aspergillus tamarii* e outros fungos imperfeitos. O *Aspergillus oryzae* é importante na etapa inicial da obtenção do saquê, a tradicional bebida alcoólica do Japão; ao término do processo, o *Saccharomyces cerevisiae* assume a hegemonia. O ácido cítrico é produzido comercialmente em grandes quantidades a partir de colônias de *Aspergillus* cultivadas em condições de grande acidez. Recentemente, o enriquecimento de forragens para os animais domésticos de criação, mediante a fermentação por *Aspergillus oryzae*, para aumentar o conteúdo protéico, vem sendo investigado em várias fazendas experimentais na Europa e na América.

Os antibióticos são substâncias produzidas por um organismo vivo que lesa outros organismos vivos, como as bactérias, pelo que podem ser terapêuticamente úteis ao homem. Alguns dos mais importantes são fornecidos por fungos imperfeitos. O primeiro antibiótico foi descoberto por Sir Alexander Fleming, o qual, em 1928, observou que uma cepa de *Penicillium* que contaminara uma cultura de *Staphylococcus*, crescendo sobre ágar, tinha paralisado completamente o crescimento da bactéria. Dez anos depois, Howard Florey e seus associados, em Oxford, purificaram a penicilina; depois, foi aos Estados Unidos para fomentar a produção da droga em grande escala. A demanda durante a Segunda Guerra Mundial foi tão ampla que a produção de

penicilina subiu de alguns milhões de unidades mensais, em 1942, para mais de 700 bilhões de unidades em 1945. A penicilina é eficaz na cura de muitas doenças bacterianas, incluindo não apenas pneumonia, mas também escarlatina, sífilis, gonorréia, difteria, febre reumática e outras. Muitas centenas de antibióticos têm sido descobertos, sendo que alguns, indiscutivelmente, desempenham um significativo papel ecológico na natureza.

Outro grupo de fungos imperfeitos, os dermatófitos, causam impigem e pé-de-atleta, doenças particularmente vulgares nos trópicos. Durante a Segunda Guerra Mundial, mais soldados tiveram de ser mandados de volta do Pacífico Sul em razão de infecções cutâneas do que por ferimentos recebidos em combate. Outro fungo, *Candida albicans*, sob certas condições semelhante às leveduras, causa o sapinho e outras infecções das mucosas. Os esporos fúngicos continuamente inalados podem determinar certas moléstias internas; sobretudo se atacarem os pulmões, poderão ser graves ou mesmo fatais.

Em época recente, os fungos patogênicos para o homem, como o *Candida* e o *Aspergillus fumigatus*, tornaram-se mais freqüentes. Os produtos químicos administrados aos pacientes de transplantes a fim de suprimir as reações imunitárias normais, de modo que eles possam aceitar os órgãos transplantados, bem como os tecidos, reduzem igualmente as defesas do organismo contra os fungos e tornam os pacientes muito mais susceptíveis às moléstias micóticas. Alguns tratamentos químicos, tais como os da leucemia aguda, parecem reduzir também as defesas contra os ataques fúngicos e, portanto, está-se dando maior cuidado médico a quejandas doenças.

Os líquens

Constituem um grande grupo de *Ascomycetes** que podem crescer tão-somente em íntima associação com algas vivas. Existem também cerca de uma dúzia de basidiomicetos que se associam com algas, mas tais se mostram estreitamente afins de grupos dotados de vida livre; eles não formam um grupo distinto entre os líquens, que são todos, tipicamente, ascomicetos.

Obtendo sua nutrição das algas, eles invadiram os mais severos ambientes, por exemplo, rochas nuas (Fig. 11.22), e se diversificaram em mais ou menos 25.000 espécies de aparência variada. Uma delas, a *Verrucaria serpuloides* vive até permanentemente submersa na água marinha. Encontram-se algas de perto de 26 gêneros em combinação com estes ascomicetos, as quais incluem também cianofícias. Os gêneros mais difundidos são *Trebouxia* e

*Existem cerca de doze espécies de basidiomicetos que formam associações com algas, mas estão muito estreitamente relacionados com grupos de vida livre; não constituem um grupo distinto entre os líquens, mas são todos ascomicetos.

Trentepohlia, ao lado da alga azul *Nostoc*; um dos três aparece em cerca de 90% dos líquens.

Os líquens repartem-se amplamente na natureza. Ocorrem desde as regiões áridas desérticas até o Ártico, podendo colonizar solo safaro, troncos de

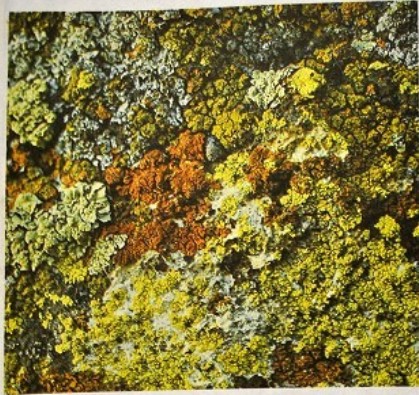


Fig. 11.22 Um mosaico de líquens crustáceos crescendo sobre rocha nua.



(a)

Fig. 11.23 Líquens. (a) Líquen foliáceo sobre raminhos mortos de uma árvore, no Mississippi. (*Parmelia perforata*) (b) Barba-de-velho (*Usnea* sp.), líquen arbustivo pendulo, comum, formando massas sobre os ramos das árvores.



(b)

árvore, rochas quentes pelo sol, mourões de cerca e picos alpestres batidos pelo vento, em todo o mundo (Fig. 11.23). Com frequência, eles são os primeiros colonizadores de áreas rochosas nuas. Na Antártida, existem mais de 350 espécies liquênicas, mas apenas duas espécies de plantas vasculares. Sete líquens alcançam os Queen Maud Mountains, a 86°03' de latitude sul. Varia a cor dos líquens desde branco a negro, passando por nuances de vermelho, alaranjado, amarelo e verde, havendo muitas substâncias químicas especiais neles. Alguns se mostram tão delicados que parecem quase invisíveis; outros, como o chamado musgo das renas, podem cobrir quilômetros de terra. Com exceção deste, os líquens têm escassa importância econômica para o homem. Contudo, têm constituído, desde muito, objeto de investigações biológicas em virtude da natureza surpreendente da associação entre o fungo e suas algas inclusas. O parceiro fúngico aparentemente desempenha o papel principal na determinação da forma do líquen; recentemente, contudo, demonstrou-se que um único fungo, com diferentes tipos de algas, pode gerar indivíduos morfologicamente muito diversos, tradicionalmente colocados em gêneros distintos. As algas liquênicas soem ocorrer em estado livre, enquanto que os fungos, em geral, só vivem na natureza sob a forma de líquens.

Um certo número deles produz fragmentos especiais do talo, chamados *sorédios*, compostos de hifas fúngicas e de algas (Fig. 11.25). Os fungos liquênicos, comumente, também formam ascocarpos



(a)



(b)



(c)

Fig. 11.24 Líquens arbustivos. (a) *Cladonia cristatella*; cada porção mede cerca de 3 mm de altura. (b) *Teloschistes chrysophthalmus*. (c) *Cladonia subtenius*, dito comumente "musgo-das-renas", embora seja, de fato, um líquen.

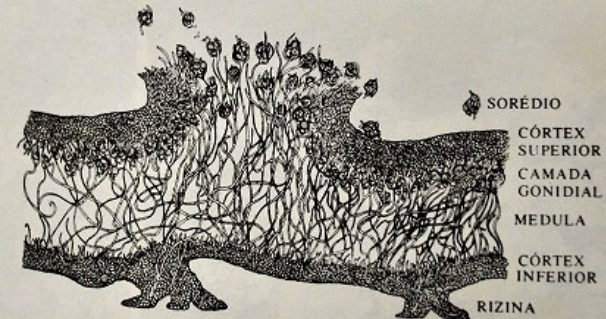


Fig. 11.25 Corte transversal de um líquen (*Lobaria verrucosa*). Os líquens mais simples constam de hifas fúngicas que abarcam colônias isoladas de algas. Nos líquens mais evoluídos, porém, as hifas e as células das algas organizam-se em um talo que possui forma de crescimento definida e estrutura peculiar. O líquen da figura tem 4 camadas evidenciáveis: 1. córtex superior, ou seja, uma superfície protetora de hifas geleificadas; 2. camada gonidial, que consiste de células da alga e de delgadas hifas

enoveladas; 3. medula, camada espessa de hifas frouxamente arrumadas e incolores; esta camada, que constitui cerca de dois terços da espessura do talo, parece servir como área de armazenagem, havendo células ampliadas, contendo gorduras, nas hifas; 4. córtex inferior, que é mais fino que o superior e coberto de projeções que o prendem ao substrato. Os sorédios são fragmentos formados de algas e hifas, por meio dos quais os líquens se reproduzem e espalham.

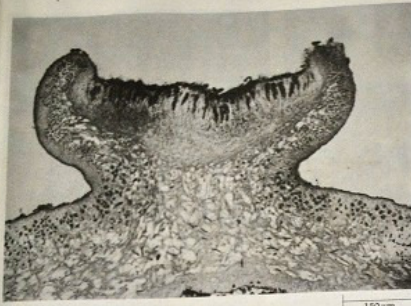


Fig. 11.26 Seção transversal de um líquen mostrando o apotécio, um ascocarpo aberto em forma de pires.

(Fig. 11.26), em tudo semelhantes aos dos demais fungos, salvo que, nos líquens, eles podem ser duradouros e gerar esporos continuamente durante anos.

Biologia dos líquens

Por que os líquens podem sobreviver em condições ambientais tão diversas a quaisquer outras formas de vida?

Pensou-se outrora que o seu sucesso procedia da proteção conferida pelos tecidos fúngicos às algas contra a dessecação. Na realidade, um dos principais fatores na sobrevivência dos líquens em meios áridos parece ser o fato de que eles secam completamente de maneira muito rápida. Na maioria dos casos, os líquens apresentam-se notavelmente secos *in natura*, com um conteúdo hídrico de 2 a 10% do seu peso seco. Quando o talo se desseca demasiado, a fotossíntese cessa; e neste estado de latência, tanto o sol ardente, como grandes extremos de calor ou frio, podem ser suportados. A cessação da fotossíntese depende, pelo menos em grande parte, do fato de que o córtex superior se torne mais espesso e mais opaco, quando dessecado, impedindo a passagem dos raios luminosos. Um líquen úmido é destruído por intensidades luminosas ou temperaturas que não podem prejudicar um líquen seco.

Mediante a umidificação pela chuva, o talo liquênico chega a absorver 3 a 35 vezes o seu próprio peso em água, num tempo curtíssimo. Se um talo seco e quebradiço for submerso em água, tornar-se-á tenro e flexível dentro de poucos minutos. Este vem a ser o simples processo físico da embebição — o líquen absorve água por um mecanismo semelhante

ao do papel mata-borrão — e um líquen morto absorve tanta água quanto um vivo.

Estes vegetais dúplices alcançam a máxima vitalidade, a julgar pela razão de fotossíntese, depois de serem empapados em água e começarem a secar. Sua intensidade de assimilação clorofiliana atinge o cume quando o conteúdo em água é de 65 a 90% do máximo que podem reter; abaixo desse nível, se o líquen continua a perder líquido, a fotossíntese decresce. Em muitos ambientes, o conteúdo hídrico do talo varia acentuadamente no curso do dia, processando-se quase toda a fotossíntese somente durante umas poucas horas, de preferência de manhã cedo, depois que o orvalho ou nevoeiro molhou-o.

Em consequência, os líquens exibem um ritmo de crescimento extremamente lento, o seu raio aumentando na proporção de aproximadamente 0,1 a 10 mm por ano. Calculando-se com auxílio deste dado, alguns líquens adultos podem, perfeitamente, ter vários milhares de anos. O crescimento máximo deles se observa somente em montanhas encobertas por nevoeiro (Fig. 13.1) e nos litorais.

Ao que parece, os líquens absorvem alguns minerais do substrato, o que é sugerido pelo fato de certas espécies serem caracteristicamente encontradas em determinadas categorias de rochas, solos ou troncos; porém, a maioria dos elementos absorvidos penetra no talo através do ar e da chuva. A absorção de elementos nutritivos da água pluvial é veloz, havendo concentração deles no talo. Como não dispõem de meios de excreção, os líquens mostram-se particularmente suscetíveis e sensíveis a compostos tóxicos, sendo mesmo o crescimento do seu talo um dos mais sensíveis indicadores dos componentes nocivos do ar poluído, e particularmente do gás sulfuroso (dióxido de enxofre). A absorção de substâncias tóxicas pelos líquens acarreta a degradação da clorofila.

Pelo menos em um caso, a capacidade dos líquens de absorver substâncias da água da chuva levou a consequências surpreendentes. Em estudos sobre a contaminação subsequente aos testes da bomba atômica, verificou-se que os esquilmos do Alasca e os lapões da Escandinávia apresentavam níveis inusitadamente elevados de radioatividade em seus organismos. Não eram esperados semelhantes achados porque se havia calculado que a quantidade de resíduos atômicos que alcançaria o chão, nos polos, seria muito menor do que nas regiões temperadas. O fator significativo, no caso, foi o musgo-das-renas (de fato, líquens) que absorveu os isótopos da atmosfera e os concentrou. Conforme o próprio nome indica, musgo-das-renas é o principal alimento destes animais e do caribú, os quais, a seu turno, constituem a principal fonte alimentar dos esquimós e dos lapões, os quais, desta maneira, vieram tornar-se repositórios de estrôncio e de cézio radioativos.

Natureza do relacionamento entre algas e fungos

Qual a relação existente entre os dois componentes do talo liquênico? É evidente que o fungo obtém nutrientes da alga, já que o líquen se comporta como um organismo assimilador de carbono, dependente apenas de luz, ar e minerais. De fato, o movimento de nutrientes da alga para o fungo foi estabelecido por meio da glicose contendo carbono marcado C^{14} , por meio da glicose contendo carbono marcado C^{14} . Nos líquens providos de cianofíceas, como *Nostoc*, a fixação de nitrogênio pela alga e sua transferência a fixação são, igualmente, importantes. As hifas do fungo compõem um apertado retículo em torno das células gonídias (Fig. 11.27). Na maioria dos líquens, os haustórios (hifas especializadas dos fungos parasitários) acham-se estreitamente aplicados às células verdes, raramente penetrando no protoplasto. A associação com um fungo afeta profundamente a natureza da produção metabólica das algas (Fig. 11.28).

É exequível separar as algas e o fungo num dado líquen, fazendo-os crescer isoladamente em culturas puras. Em tais condições, o fungo dá origem a colônias compactas, ao contrário do talo liquênico. Ele exige grande cópia de carboidratos complexos para o seu crescimento e, no geral, não chega a emitir corpos frutíferos em cultivo artificial. As algas isoladas crescem mais rapidamente quando estão em vida livre do que o fazem no interior do líquen. Daí ser mais adequado considerar a sociedade liquênica como parasitismo controlado da alga pelo fungo, antes que simbiose.

O principal objetivo da maioria dos liquenólogos durante muitas décadas foi sintetizar um líquen

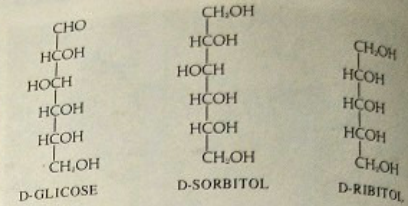


Fig. 11.28 Três compostos produzidos pelas algas liquênicas. As algas azuis, quando fazem parte dos líquens, por via de regra, segregam glicose. Nenhuma alga verde se conhece que excrete açúcar nas mesmas circunstâncias. Os dois álcoois, D-sorbitol e D-ribitol, são excretados em grandes quantidades por diferentes clorofíceas quando se associam com fungos para compor líquens. Em culturas destituídas de fungos, os produtos metabólicos das células são muito menos e bem mais variados.

partindo da alga e do fungo. Isto se revelou extraordinariamente difícil, por razões que só se tornaram claras quando a síntese, finalmente, foi levada a cabo, em torno de 1960, por Vernon Ahmadjian, então da Clark University. Este investigador verificou que as duas formas comportam algo semelhante a um líquen tão-somente sob condições desfavoráveis ao crescimento de ambos em separado; e que um líquen natural dissociar-se-ia em seus dois componentes sob condições favoráveis ao crescimento de ambos. No curso das tentativas de estabelecer a "liquenização", ele ainda descobriu que os fungos liquênicos pareciam lesar as células das algas e que, às vezes, destruíam-nas por completo.

Contrariamente ao pensamento de muitos liquenólogos anteriores, que acreditavam que novos líquens se estabeleciam quase exclusivamente por combinações de algas e fungos oriundos de líquens previamente existentes, Ahmadjian propôs que os corpos frutíferos, tão característicos dos líquens, não são estruturas sem função que sobraram de uma existência prévia em vida livre, mas desempenham um importante papel na produção dos líquens. Segundo esta hipótese, esporos dispersados pelo vento, dos fungos liquênicos, germinam quando entram em contacto com células livres de algas, em que passam a parasitar. As células verdes capazes de suportar a associação sobrevivem e se originam outro líquen. Se as células das algas não conseguem sobreviver, ambos os co-partícipes morrem.

Classe Basidiomycetes

Os mais vulgares de todos os fungos são os membros desta classe, que engloba umas 25.000 espécies descritas; temos aí os grandes cogumelos de chapéu, as orelhas-de-pau e importantes agentes fitopatogênicos, como as ferrugens e as fuligens. Distinguem-

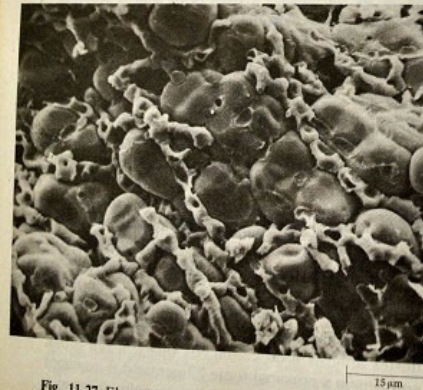


Fig. 11.27 Eletromicrografia de varredura da camada gonídial do líquen *Heppia lutosa*, revelando as hifas crescendo entre as células das algas, muito maiores.

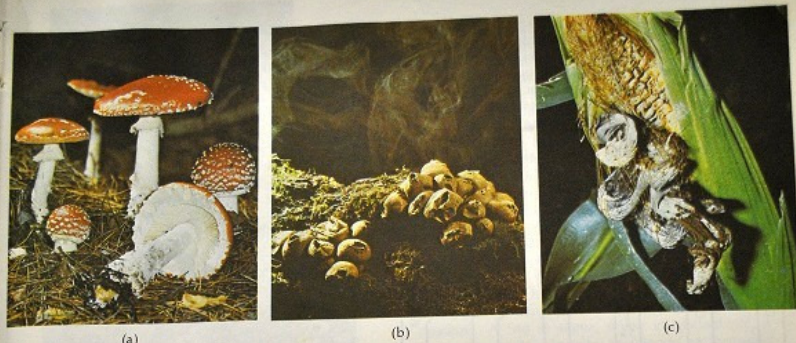


Fig. 11.29 Alguns basidiomicetos típicos. (a) *Amanita muscaria*, em várias fases do crescimento, com um deles arrancado para mostrar as lâminas, embaixo. Este gênero de cogumelos venenosos pode ser reconhecido pelo anel que está sobre a haste e a cúpula em torno da base. (b) *Lycoperdon ericetorum*. Os esporos estão sendo descarregados pelo poro situado no ápice de cada "bola" e dispersados pelo vento. (c) *Ustilago maydis*, causador de moléstia no milho (*Zea mays*), da qual resultam massas negras e pulverulentas, compostas de esporos.

se os basidiomicetos dos demais fungos pela produção de basidiósporos, que surgem sobre uma estrutura esporígena dita basídio. Inúmeras espécies, sem dúvida, aguardam sua descoberta embora os maiores basidiomicetos sejam os mais conhecidos dos fungos.

O micélio deles mostra-se sempre septado e na maioria das espécies atravessa três fases — primária, secundária e terciária — durante o ciclo vital do fungo. Ao germinar, o basidiósporo gera o micélio primário, que, inicialmente, pode ser multinucleado, mas logo surgem septos que tornam o micélio uninucleado em suas células (ou monocariótico). Comumente, aparece o micélio secundário pela fusão de hifas primárias de diferentes tipos sexuais — caso em que o micélio é heterocariótico — ou procede da ausência de septos após a formação do núcleo — instância em que ele é homocariótico. Em ambos os casos, o resultado é a formação de um micélio dicariótico (binucleado), porquanto a cariogamia (fusão de núcleos gaméticos) não segue, de imediato, a plasmogamia (fusão de protoplastos).

As células apicais do micélio secundário usualmente se dividem mediante a formação de grampos de conexão (Fig. 11.30). Tais grampos, que asseguram a colocação de um núcleo de cada tipo nas células-filhas, são muitíssimo característicos dos basidiomicetos. Os septos do micélio secundário des-

tes cogumelos são perfurados; porém, com exceção das ferrugens e fuligens, eles estão guarnecidos por estruturas grossas e semelhantes a tonel (Fig. 11.31). Nem sempre os núcleos conseguem passar através desses septos. Nos micélios heterocarióticos, nos quais parece ocorrer a migração nuclear, observa-se que os septos levam apenas poros simples e alargados, semelhantes aos dos ascomicetos (Fig. 11.7).

O micélio terciário origina-se diretamente do micélio secundário e forma os corpos frutíferos — os basidiocarpos — dos chamados fungos superiores. Como o micélio secundário, o terciário é dicariótico. A formação dos basidiocarpos pode necessitar de luz.

Os *Basidiomycetes* dividem-se em duas subclases, os *Homobasidiomycetes* e os *Heterobasidiomycetes*.

Subclasse Homobasidiomycetes

Neste grupo, temos grandes cogumelos como os chapéus e orelhas-de-pau, exemplificados nas Figuras 11.32 e 33. Todos os homobasidiomicetos produzem basidiocarpos, comparáveis aos ascocarpos dos ascomicetos. Além da presença de basidiocarpos, eles caracterizam-se pelos seus basídios clavi-formes e asseptados, cada um dos quais, em sua maioria, conduz 4 basidiósporos sobre diminutas projeções, ou *sterigmas* (Fig. 11.34). O que se conhece como "chapéu" ou "orelha" é o basidiocarpo. O chapéu consiste de uma porção superior dilatada, que é o *pileo*, presa a uma haste ou *estipe*. No início do desenvolvimento — na fase de "botão" — o cogumelo pode achar-se coberto por uma membrana, cuja rotura se processa com o crescimento dele. Em certos gêneros, restos dessa membrana são visíveis na parte superior do pileo e na

base do estipe como uma taça, ou *volva*. A superfície inferior do chapéu compõe-se de faixas radiadas de tecido, denominadas *lamelas* ou *lâminas*.

O micélio do qual surge o cogumelo se espalha subterraneamente, formando um anel, capaz de chegar a 30 m no diâmetro. Em uma área aberta, o micélio expande-se uniformemente em todas as direções, morrendo no centro e frutificando nos bordos externos, onde cresce mais vigorosamente

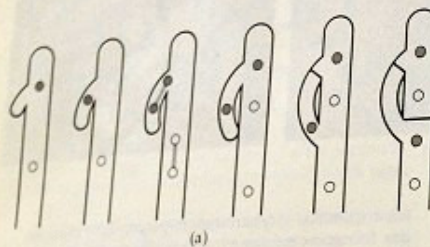
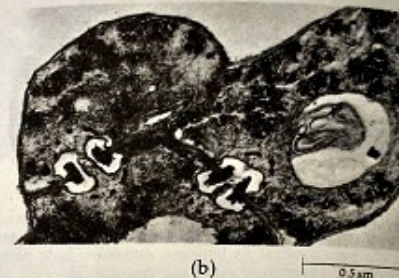


Fig. 11.30 (a) Distinguem-se as hifas dicarióticas, nos basidiomicetos, pela presença de grampos de conexão sobre os septos. Estes grampos são pontes temporárias que se formam durante a divisão celular e, segundo se presume,

porque nesta área há o material nutritivo mais recente. Em consequência, os cogumelos aparecem em círculo e, à medida que o micélio aumenta, os anéis se tornam cada vez maiores em diâmetro. Quejandos círculos de cogumelos são conhecidos, na legenda popular européia, como "anel das fadas" (Fig. 11.35).

Os cogumelos mais conhecidos pertencem ao grupo das *Agariciáceas*. O *Agaricus bisporus* é um



asseguram distribuição adequada dos dois tipos geneticamente distintos de núcleos, no basidiocarpo. (b) Grampos de conexão e septos característicos em uma hifa de *Coprinus lagopus*.

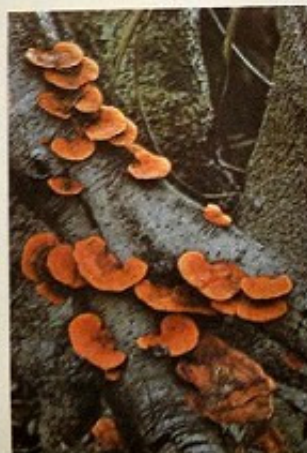




(a)



(b)



(c)



(d)

dos raros cogumelos que podem ser cultivados comercialmente; nos Estados Unidos, produzem-se, anualmente, umas 60 toneladas métricas. Aí, também, está incluído o gênero *Amanita*, composto das espécies mais venenosas. Apenas um bocado da branca *Amanita phalloides*, o "anjo destruidor", pode ser fatal. Alguns basidiomicetos contêm substâncias químicas que lhes conferem propriedades alucinogênicas (Fig. 11.36).

Na Natureza, a maior parte dos homobasidiomicetos reproduz-se sobretudo pela formação de basidiósporos. Um ciclo vital representativo da subclasse está diagramado na Figura 11.37. As lâminas da face inferior são os sítios onde se constituem basídios e basidiósporos. Os basídios nascem na camada superficial, ou himênio. Logo depois que o jovem basídio aumenta de tamanho, tem lugar a cariogamia. A isto se segue, quase imediatamente, a meiose do núcleo diplóide, resultando na formação de 4 núcleos haplóides. Cada um deles migra para dentro de um esterigma, que se amplia na extremidade para formar um basidiósporo uninucleado. A capacidade reprodutiva de um único cogumelo é

Fig. 11.32 Homobasidiomicetos. (a) *Boletus bovinus*. Neste grupo de cogumelos, as lamelas são substituídas por poros. (b) *Phallus impudicus*. Os basidiósporos soltam-se de uma massa mal-cheirosa e viscosa que está na ponta do cogumelo. Moscas, como a *Mydaea urbana*, vistas na figura, vêm buscar alimento e dispersam os esporos, que aderem às patas e ao corpo em grande cópia. (c) *Polyporus*, orelha-de-pau; muitos deste grupo são responsáveis pela maior parte da madeira podre. (d) Um fungo coral, *Clavaria formosa*, no Alasca. O himênio, a camada externa esporígena, está situado em todos os lados do basidiocarpo.



(a)



(b)

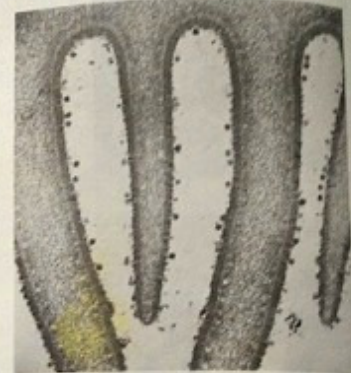
Fig. 11.33 (a) Fungo em forma de ninho, *Cyathus striatus*. As estruturas lenticulares, dentro dos "ninhos", contêm os basidiósporos e são lançadas a distância pelas gotas de chuva. (b) Uma estrela da terra, *Geaster triplex*. A camada externa acha-se dobrada para trás neste gênero.

enorme, produzindo bilhões de esporos no mesmo basidiocarpo; alguns destes geram vários trilhões de basidiósporos.

Subclasse Heterobasidiomycetes

Consiste de ferrugens, fuligens e cogumelos gelatinosos (Fig. 11.38). Estes últimos são principalmente saprófitos e, como na subclasse anterior, produzem basidiocarpos. Ferrugens e fuligens são parasitas das plantas vasculares. Não geram basidiocarpos, mas formam os seus esporos em agregados, ou *soros*. Coletivamente, os heterobasidiomicetos caracterizam-se pelos basídios septados, isto é, multilamelares.

Ferrugens e fuligens denotam imensa importân-



(a)



(b)



(c)

Fig. 11.34 *Coprinus* sp., um cogumelo frequente. (a) Seção através das lamelas. As margens relativamente escuras das lamelas constituem o himênio. (b) Camada himenial mostrando basídios em desenvolvimento e basidiospores. (c) Basidiospores quase maduros, unidos ao basídio pelos esterigmas.

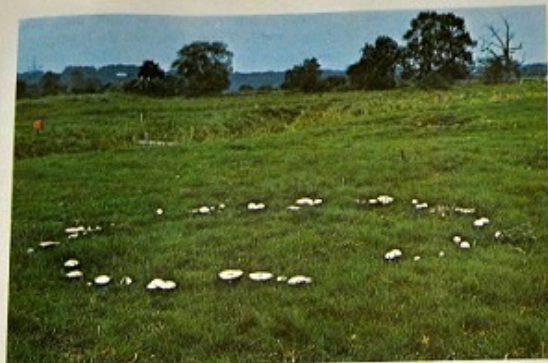


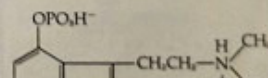
Fig. 11.35 O "anel de fada", formado pelo cogumelo em forma de guarda-chuva ou sombrinha, *Leptota procera*.



(a)



Fig. 11.36 Vários grupos indígenas, no Sul do México e América Central, ingerem certos basidiomicetos por suas propriedades alucinogênicas. Os cogumelos têm parte proeminente nas suas cerimônias religiosas. Um dos mais importantes destes cogumelos é o *Psilocybe mexicana*, representado na figura (a), que cresce em um pasto perto de Huautla de Jiménez, Oaxaca, México. (b) A xamã Maria Sabina está ingerindo *Psilocybe* no curso de uma cerimônia religiosa à meia-noite. A psilocibina (c) é a substância química responsável pelas visões coloridas experimentadas por aqueles que comem os cogumelos sagrados.



cia econômica, dando origem, anualmente e por toda parte, a prejuízos no valor de milhões de dólares.

Os ciclos vitais das ferrugens podem alcançar grande complexidade, constituindo tais agentes mórbidos um constante desafio aos fitopatologistas, cuja tarefa é mantê-los sob controle. Até pouco tempo, pensava-se que as ferrugens eram parasitas obrigatórias das plantas vasculares, mas, agora, várias espécies têm sido mantidas em cultura artificial. Algumas fuligens são também capazes de completar o seu desenvolvimento nestas condições. Uma fuligem típica está ilustrada na Figura 11.29c.

Servirá, para ilustrar o ciclo vital dos heterobasidiomicetos parasíticos, a *Puccinia graminis*, a

causa da ferrugem que enegrece o caule do trigo. Trata-se de uma das 7.000 espécies de ferrugem. Existem numerosas linhagens ou raças de *P. graminis* e, além do trigo, parasitam outros cereais como centeio, aveia e cevada, ao demais de não poucas gramineas selvagens. Ela determina contínuas perdas econômicas para o cultivador de trigo. Em um ano somente, as perdas em Minnesota, North Dakota, South Dakota e Canadá Ocidental montaram a quase 8 milhões de toneladas métricas. Já em 100 a.C., Plínio descrevia a ferrugem do trigo como "a peste máxima das plantações". Hoje, os fitopatologistas combatem a ferrugem do trigo mediante o melhoramento de variedades resistentes de trigo; todavia, as mutações e recombinações que ocorrem na

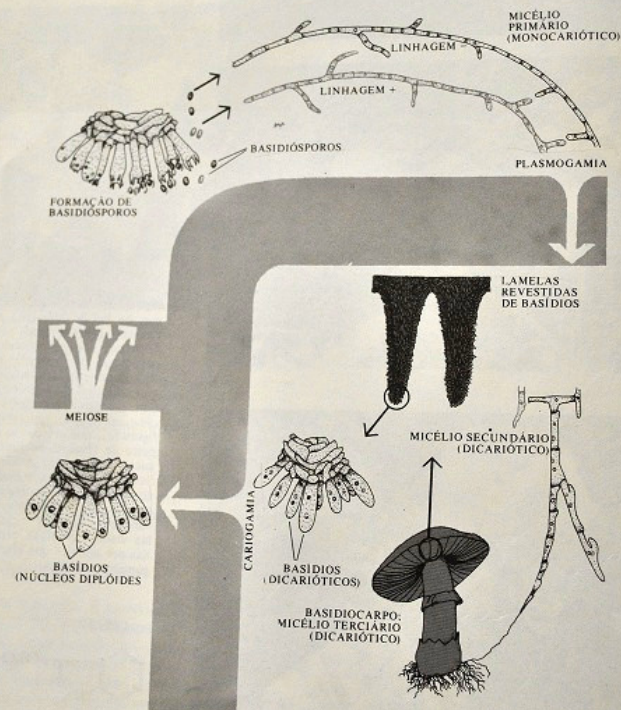


Fig. 11.37 Ciclo vital dos Homobasidiomicetos. Os micélios primários surgem dos basidiósporos. Micélios dicarióticos secundários formam-se nos micélios primários. Alguns micélios secundários se originam da fusão de hifas de

diferentes tipos em fecundação, nos quais os micélios são heterocarióticos. Os micélios secundários dividem-se e diferenciam-se dando origem a micélios terciários que geram os basidiocarpos.

uma *Puccinia graminis* é heteroica, isto é, necessita de dois hospedeiros diferentes para completar o seu ciclo biológico (os parasitas autóctones precisam de um só). Parte do seu ciclo passa-se no comum *Berberis vulgaris*; outra parte, sobre uma graminea. Um método de tentar controlar a *P. graminis* é a erradicação do berberis. Em 1755, a colónia de Massachusets baixou uma lei ordenando "quem quer que... tenha moitas de berberis em suas terras... deverá fazer com que seja extirpado ou destruído até o dia 13 de junho de 1760."

dicarióticos (Fig. 11.40a). Os eciosporos, por sua vez, infectam o trigo.

A primeira manifestação da infecção do trigo é o aparecimento de traços ou veios lineares, cor de ferrugem, sobre as folhas e caules (fase rubra).

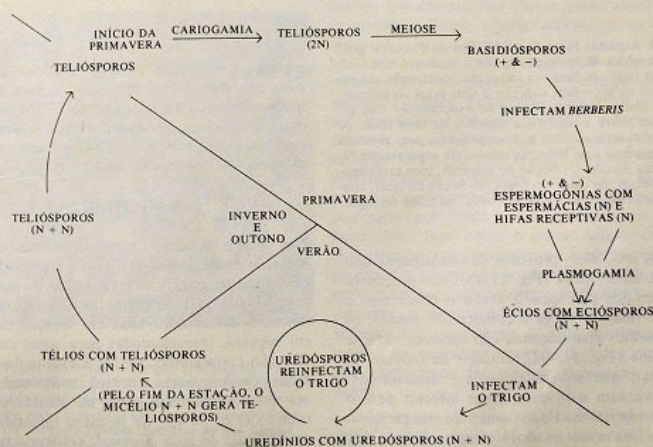


Fig. 11.39. Ciclo vital da ferrugem, *Puccinia graminis*.

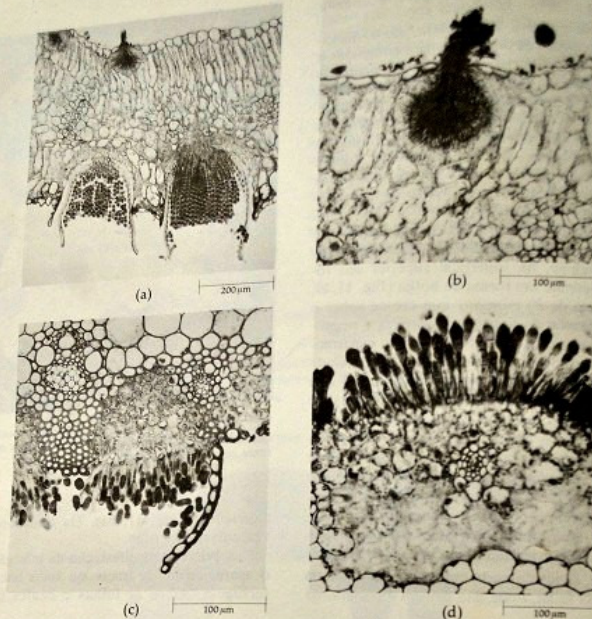


Fig. 11-40 Anomalias fases do ciclo vital da *Puccinia graminis*, causadora da ferrugem do trigo. (a) Seção transversal de uma folha de *Berberis* infectada, mostrando um espermogônio na superfície superior e dois esporos na inferior. Cada um contém muitas fileiras de esporos. (b) Um espermogônio sobre a superfície superior de uma folha de *Berberis*. Observe as hifas que se projetam pela abertura do espermogônio e as hifas portadoras de espermatécias revestindo sua parede. (c) Seção do uredíno, com uredósporos dicaríóticos, no caule do trigo. (d) Seção do télio, contendo esporos bicelulares e dicaríóticos, no caule do trigo.

meiose. Um basídio curto e cilíndrico emerge de cada uma das células teliospóricas, para dentro das quais migram os 4 núcleos haplóides. Septos surgem entre os núcleos, os quais, então, se encaminham para os esterigmas e se desenvolvem dando basidiósporos. Completa-se, desta sorte, o ciclo.

AS MICORRIZAS

Trata-se de *uredínios*, providos de *uredósporas* unicelulares e dicarióticas (Fig. 11.40c). Os *uredósporas* são gerados por todo o verão e reinfectam o trigo. Pelo final do verão e começo do outono, os soros vermelhos gradualmente vão escurecendo e se tornam *telhos* (Fig. 11.40d), dotados de *teliosporas* (fase negra), que são bicelulares e dicarióticas. Estes atravessam o inverno, sem infectar nem o trigo, nem o berberis. Pouco antes de sua germinação, na primavera, os dois núcleos haplóides fundem-se, dando nascimento a um núcleo diplóide. Com o início da germinação, entra em ação

Nos últimos anos, verificou-se que uma peculiar associação entre fungos e vegetais superiores desempenha um papel crucial no capítulo da nutrição mineral (Fig. 11.41). Se plântulas de inúmeras árvores florestais forem cultivadas em solução nutritiva e, em seguida, transplantadas para solos campestres, elas não conseguirão crescer e eventualmente morrerão por deficiência nutritiva, muito embora análises de solo mostrem haver ali abundância de nutrientes (Fig. 11.42). Se pequena quantidade (0,1% em volume) de terra florestal, contendo fungos, for adicionada ao referido solo à volta das raízes das plântulas, estas passarão a crescer vigorosamente.

A restauração do crescimento normal é causada pelo funcionamento de *micorrizas* (raízes contendo fungos), que são associações entre raízes e fungos simbióticos, íntimas e mutuamente benéficas.

Pensa-se que as micorrizas ocorrem em mais de 90% das famílias de plantas superiores. Apenas umas poucas famílias não se sabe se formam tais associações, entre as quais as crucíferas ou brassicáceas e as polygonáceas.

Inúmeras plantas parecem crescer normalmente se adequadamente supridas dos elementos essenciais, como o fósforo, ainda que faltem as micorrizas; porém crescem mal ou nada se não têm micorrizas quando aqueles elementos estão presentes em cópias limitantes. Em vista deste fato, parece possível que não sejam necessárias as vastas aplicações de fertilizantes, freqüentemente exigidas pelos solos agrícolas, se estiverem presentes nestes solos os elementos fúngicos e microbianos. Num relacionamento análogo, plantas paludícolas e aquáticas comumente não possuem um parceiro fúngico quando crescem n'água, mas as mesmas espécies precisam daquele associado para poderem manter-se em terra mais seca.

A importância das micorrizas tornou-se, primeiro, perceptível em ligação com os esforços iniciais para cultivar as mais vistosas de todas as plantas de estufa: as orquídeas. Elas levam sementes por assim dizer microscópicas que carecem de endosperma na maturidade, embora germinem prontamente para formar um pequeno maço de tecido, com poucas células, denominado *protocormo*. Este



Fig. 11.41 Retículo de raízes e fungos retirado de uma folha em decomposição na floresta amazônica. A pesquisa em curso indica que nos solos tropicais o principal reservatório de minerais não é o próprio solo, mas reside nos fungos edáficos. Os minerais passam diretamente dos fungos para as células vivas das raízes. Desta maneira, pouca matéria pinga no solo, onde pode ser eliminada pela lixiviação.

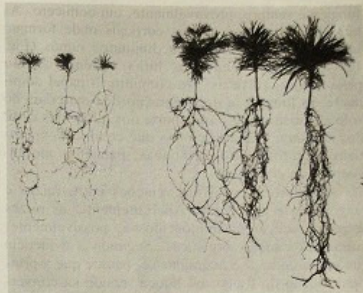


Fig. 11.42 Micorrizas e nutrição das árvores. Plântulas de *Pinus strobus*, aos 9 meses, foram cultivadas durante 2 meses em solução nutriente estéril e, depois, transplantadas para solo de praieira. As plântulas à esquerda sofreram transplante direto; as da direita estiveram, durante 2 semanas, em solo florestal antes de serem levadas para a praieira.

podé subsistir até uns 2 anos, mas não crescerá além disso a menos que venha a infectar-se com o fungo apropriado.

Nas associações de natureza micorrizal, em geral, apenas o córtex das raízes é invadido pelo fungo, que algumas vezes compõe uma bainha de hifas, ou manto fúngico, em torno da raiz. Nem o meristema apical, nem o cilíndrico vascular sofre invasão por parte do fungo. Raízes providas de micorriza usualmente não geram pêlos absorventes, assumindo o fungo, manifestamente, o encargo de absorver água e minerais.

Existem dois tipos principais de micorriza: *ectomicorriza* e *endomicorriza*. A maior parte das árvores das regiões temperadas, tais como os pinheiros, carvalhos e salgueiros, levam ectomicorrizas, caso em que as raízes estão envolvidas pelo manto de hifas. Dentro da raiz, as hifas do fungo acham-se principalmente confinadas aos espaços existentes entre as células corticais (Fig. 11.43). Os hormônios segregados pelo fungo fazem com que a raiz se ramifique. Isto, bem como o manto hífico, comunica uma peculiar aparência ramosa e edemaciada à micorriza. Os fungos são basicamente basidiomicetos, embora também sejam comuns ascomicetos. Provavelmente, a maioria dos cogumelos ocorre exclusivamente em associações do tipo micorriza, o que resulta na manifesta ocorrência deles em ligação com certos tipos de árvores e determina sua distribuição.

As endomicorrizas são muitíssimo mais comuns, estando presentes na maioria das fanerógamas, incluindo as já mencionadas orquídeas e várias coníferas (e.g., *Sequoia* e *Juniperus*). O elemento

fúngico é sempre, provavelmente, um oomiceto. As hifas penetram nas células corticais onde formam hélices, engrossamentos ou diminutos ramos (Fig. 11.44). Habitualmente, as hifas sofrem digestão pelas células corticais. No conjunto, o papel dominante do fungo é a desintegração dos materiais do solo e a absorção e o transporte dos nutrientes cedidos à planta. Plantas comuns que conduzem micorrizas são: tomateiro, orquídeas, macieira, morangueiro e as gramíneas.

A natureza exata das relações entre raízes e fungos não é conhecida. Aparentemente, as raízes secretam açúcares, aminoácidos e, possivelmente, outras substâncias orgânicas. Segundo a evidência que agora começa a acumular-se, parece que a principal função do fungo, no líquen, reside na conversão dos minerais edáficos e na decomposição de materiais em forma aproveitável. Por exemplo, se os fungos das micorrizas que estão no solo de viveiros forem mortos por fumigação, muitas plantas já não poderão utilizar o fósforo, mesmo que ele esteja presente sob a forma de compostos facilmente solúveis. Em condições naturais, o crescimento de plântulas parece ser, comumente, limitado pela quantidade de fósforo disponível na semente, até que uma associação do tipo micorriza possa ser estabelecida. Tais fungos simbióticos se mostram tão essenciais às árvores florestais que se podem considerar como parte do sistema radicular das árvores, com mais propriedade do que como habitantes independentes do solo. A distribuição de certas plantas floríferas, ao que parece, é controlada pelas tolerâncias fisiológicas dos fungos das suas micorrizas. *Ex gratia*, membros da família das ericáceas não conseguem suportar meios alcalinos, sendo bem conhecidos por suas associações com micorrizas; é bem possível que sejam os seus parceiros fúngicos, e não as próprias ericáceas, que não podem viver sob condições de alcalinidade.

De fato, um estudo dos fósseis de antigas plantas vasculares, que será objeto de discussão mais minuciosa no Capítulo 14, revelou que endomicorrizas eram outrora tão comuns como o são atualmente. Isto levou K.A. Pirozynski e D.W. Malloch, do Departamento de Agricultura do Canadá, a fazer uma sugestão muito interessante no sentido de que a evolução das associações de micorriza pode ter sido a fase decisiva na colonização da terra firme. Considerando os solos relativamente estéreis que havia no início da colonização da terra pelos vegetais, o papel desempenhado pelos fungos das micorrizas (sem dúvida oomicetos) pode ter sido de crucial significação, particularmente no que concerne à conversão de amônia em nitratos e à absorção de fósforo. Desta sorte, não teria sido um organismo isolado, mas antes uma associação simbiótica, comparável a um líquen, que inicialmente invadiu a terra. Assim como os líquens habitam locais demasiadamente severos para ambos os sócios em

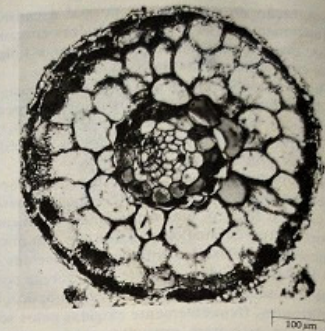


Fig. 11.43 Seção transversal de uma raizinha de *Pinus* com ectomicorriza. As hifas do fungo estão, em sua maior parte, confinadas aos espaços entre as células corticais.



Fig. 11.44 Hifas fúngicas nas células corticais da endomicorriza de uma raiz coraliforme de orquídea (*Corallorhiza*).

separado, também para os ancestrais das primeiras plantas vasculares o mesmo poderia ter sucedido.

SUMÁRIO

Os fungos, reino *Mycota*, ao lado das bactérias, vêm a ser os organismos encarregados da decomposição na biosfera, degradando produtos orgânicos e evoluindo carbono, nitrogênio e outros componen-