

# FUNGOS

## Os primórdios do sexo

*Os fungos atraem o interesse de pesquisadores devido a aspectos que podem ajudar a compreender melhor a evolução e o funcionamento de todos os seres vivos. Uma interessante característica desses microrganismos é sua reprodução, que pode ser assexuada ou sexuada. A reprodução sexuada dos fungos ocorre de variadas maneiras, e seu estudo vem ajudando a revelar as origens da reprodução sexual mais complexa observada nos chamados organismos superiores, inclusive o homem.*

**Adlane Vilas Boas Ferreira**

*Laboratório de Genética Molecular e Microrganismos,  
Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais*

**Durante uma caminhada, ou no restaurante,** o leitor com certeza já se deparou com um cogumelo. Quem vê essa estrutura, porém, talvez não saiba que ela resulta de uma enorme teia de processos bioquímicos e genéticos ocorrida em alguns tipos de fungos, quando se reproduzem sexualmente. A reprodução sexual nos fungos não é tão complexa quanto nos vertebrados, mas já mostra a luta da natureza no sentido de gerar indivíduos diferentes através da mistura de genes de parceiros diferentes. Os detalhes moleculares desse sexo primitivo vêm sendo desvendados e podem revelar segredos da evolução de outras espécies, inclusive a humana.

Os fungos são microrganismos notáveis pela habilidade de se nutrir a partir das mais variadas moléculas (desde as simples, como açúcares, até hidrocarbonetos complexos, como os que formam o petróleo). Eles compõem um dos sete reinos em que se dividem os seres vivos, segundo a classificação mais recente (ver 'O que é fungo?'). Já foram descritas entre 70 mil e 100 mil espécies, distri-

buídas em todos os locais do mundo onde possam obter nutrientes, mas estima-se que isso represente apenas 20% das espécies existentes. Muitas espécies são úteis ao homem (como alimento, fermento ou fonte de remédios, por exemplo), mas outras podem provocar sérios danos à saúde ou principalmente a lavouras, já que os fungos são os principais agentes de doenças em plantas.

Nos fungos, a reprodução pode ser tanto assexual quanto sexual. A reprodução assexual pode ocorrer através da simples divisão celular por mitose, aumentando o número de células ou o volume do corpo, ou produzindo estruturas especializadas para dispersão do fungo, os esporos. Na mitose, a célula é duplicada e seu material genético é copiado integralmente, gerando novas células geneticamente idênticas. Quando a mitose ocorre em um fungo unicelular, como a levedura, o resultado é a formação de dois indivíduos independentes. Já nas espécies multicelulares, que têm células interconectadas umas às outras formando estruturas filamentosas (as hifas), cada no-



FOTO DE LUÍS H. ROSA

va divisão faz o corpo do fungo (o micélio, ou seja, o agregado das hifas) crescer radialmente, de tal modo que um só indivíduo pode atingir quilômetros de extensão! Esse tipo de crescimento é chamado vegetativo. A maior parte dos fungos pode produzir esporos assexuais (ou vegetativos) a partir de suas hifas. Tais esporos são liberados no ambiente e, ao germinar, geram indivíduos geneticamente iguais ao fungo de onde se originaram.

Já a reprodução sexual gera indivíduos geneticamente diferentes. Certas espécies de fungos dependem da presença de um 'parceiro' sexual (outro indivíduo, com diferenças genéticas) para realizar o acasalamento – e por isso são chamadas de autoestéreis ou heterotálicas. Mas a reprodução sexual pode ocorrer entre indivíduos com o mesmo material genético, ou entre duas células do mesmo indivíduo, graças a especificidades genéticas desses microrganismos. Nesse caso, o fungo é chamado de autofértil ou homotálico. Este artigo trata da reprodução sexuada em espécies ou linhagens heterotálicas.

## Os 'tipos de acasalamento'

Para que a reprodução sexuada dos fungos seja bem compreendida, é preciso explicar melhor os ciclos de vida dos diferentes fungos. Muitos desses organismos passam a maior parte de sua vida na forma haplóide (ou seja, tendo em suas células apenas uma cópia de cada cromossomo) e apresentam uma fase muito curta na forma diplóide (com duas cópias de cada cromossomo). Outros fungos podem passar toda a vida como diplóides, apresentando células haplóides apenas eventualmente. Já os vertebrados, como o homem, são sempre diplóides, e apenas suas células reprodutivas (gametas) são haplóides.

A reprodução sexuada depende da meiose, processo que, a partir de uma célula diplóide, produz células haplóides. Nos fungos, essa forma de reprodução só acontece sob certas circunstâncias. Quan- ▶

do há escassez de alguns nutrientes, por exemplo, alguns fungos ‘sentem’ que o ambiente deixou de ser propício a seu crescimento vegetativo e procuram ‘atrair’ um parceiro adequado para cruzar.

Nos fungos que passam quase todo o ciclo de vida na forma haplóide, a fusão de células reprodutivas (uma de cada parceiro) forma uma célula diplóide que, em geral, logo depois sofre meiose, gerando novamente células com apenas uma cópia dos cromossomos. Tais células são os esporos sexuais, que resistem melhor às condições adversas do meio, favorecendo a perpetuação da espécie. Os esporos sexuais são produzidos nos chamados ‘corpos de frutificação’. Cogumelos e trufas (um tipo de cogumelo subterrâneo) são corpos de frutificação de maior porte, mas em muitos fungos essas estruturas só podem ser vistas com lupa ou microscópio. Para formá-las, o fungo sofre mudanças fisiológicas e desenvolve estruturas que têm a finalidade de permitir a ‘atração’ de um parceiro sexual e realizar a meiose.

## O QUE É FUNGO?

Os fungos são organismos muito diversificados, embora todos sejam eucariotos (têm células com núcleo isolado por membrana), heterotróficos (não produzem o próprio alimento, como fazem plantas e algas), osmotróficos (absorvem o alimento, em vez de ingeri-lo) e possam se reproduzir por meio de esporos. Por isso, os sistemas de classificação mais atuais, como o dos norte-americanos David Patterson e Mitchell Sogin (1992), os distribuem em dois reinos: Cromista e Fungi. O primeiro inclui os fungos que apresentam flagelos e paredes de celulose, mais relacionados às algas e divididos em duas classes: hifocitridiomycetos (sem reprodução sexual, como *Hyphochytrium catenoides* e *Rhizidiomyces apophysatus*) e oomicetos (de água doce ou salgada, como *Phytophthora cinnamomi* e *Saprolegnia litoralis*). Já o reino Fungi, com o maior número de espécies, engloba os chamados fungos verdadeiros, com parede de quitina, mais conhecidos e estudados, e tem quatro classes: citridiomycetos (fungos aquáticos, com flagelo para natação nos gametas, como *Rhizidium braziliensis* e *Blastocladiella emersonii*), zigomicetos (não adaptados a ambientes aquáticos e com gametas sem flagelo, como *Rhizopus stolonifer* e *Mucor mucedo*), ascomicetos (com esporos, formados em estruturas denominadas ‘ascos’, como *Saccharomyces cerevisiae* e *Neurospora crassa*) e basidiomicetos (com esporos, formados em estruturas denominadas ‘basídios’, como *Agaricus campestris*, *Schizophyllum commune* e *Puccinia graminis*). Até há pouco tempo, os fungos que não têm uma fase sexual, como o ascomiceto *Penicillium chrisogenum*, eram incluídos na classe deuteromicetos, mas estudos moleculares vêm mostrando que são ascomicetos ou basidiomicetos.

Sabe-se que indivíduos de uma mesma espécie de fungos, quando entram em contato, ao crescer vegetativamente no mesmo local, podem até fundir suas hifas, se tiverem a mesma ‘identidade genética’. Na reprodução sexuada heterotática, porém, os parceiros de um cruzamento são geneticamente diferentes, embora idênticos no aspecto físico – a diferenciação morfológica sexual é rara nesses microrganismos. O que torna os fungos sexualmente distintos é a existência de certas seqüências genéticas em um parceiro e não no outro. Por isso, convencionou-se chamar esses parceiros não de macho e fêmea, mas, por exemplo, de ‘A’ ou ‘a’, ‘+’ ou ‘-’, ‘α’ ou ‘α’ etc.

Esse sistema genético, encontrado também em algas e protozoários, é conhecido como ‘tipo de acasalamento’ (em inglês, *mating-type*) e funciona como um cromossomo sexual primitivo. O tipo de acasalamento pode ser determinado de forma simples, por apenas um ‘loco’ (pequeno trecho do cromossomo onde se localizam os genes) que contenha seqüências variáveis de DNA, ou de maneira mais complexa, por dois ou mais locos, cada um com seqüências alternativas. Variantes diferentes do mesmo gene recebem o nome de alelos, mas, quando as regiões de um loco têm tamanho, seqüência de DNA e origem evolutiva diferentes, são chamadas de idiomorfos. Cada idiomorfo pode conter mais de uma seqüência codificadora de proteínas – ‘codificar’, em genética, significa ‘ter a informação necessária no DNA’ para a ‘construção’ de uma molécula de proteína (ou de RNA).

Para saber de modo mais detalhado como é o sexo nos fungos, vamos examinar o que acontece em algumas espécies desses organismos.

## O fungo unicelular *S. cerevisiae*

A levedura *Saccharomyces cerevisiae*, fungo unicelular muito utilizado na produção de pães, vinhos e cervejas, é um excelente modelo experimental. O loco *mating-type* dessa levedura (*MAT*) foi o primeiro a ser estudado em nível molecular, nos anos 80, o que auxiliou muito a compreensão dos sistemas de acasalamento em outros fungos. Na natureza, essa levedura apresenta autofertilidade, mas existem linhagens de laboratório que perderam essa capacidade e se tornaram auto-estéreis (heterotáticas). Nesse caso, existem indivíduos ‘a’ ou ‘α’, que têm os idiomorfos *MATa* e *MATα*, respectivamente.

O ciclo de vida das linhagens heterotáticas de *S. cerevisiae* inclui uma fase haplóide relativa-

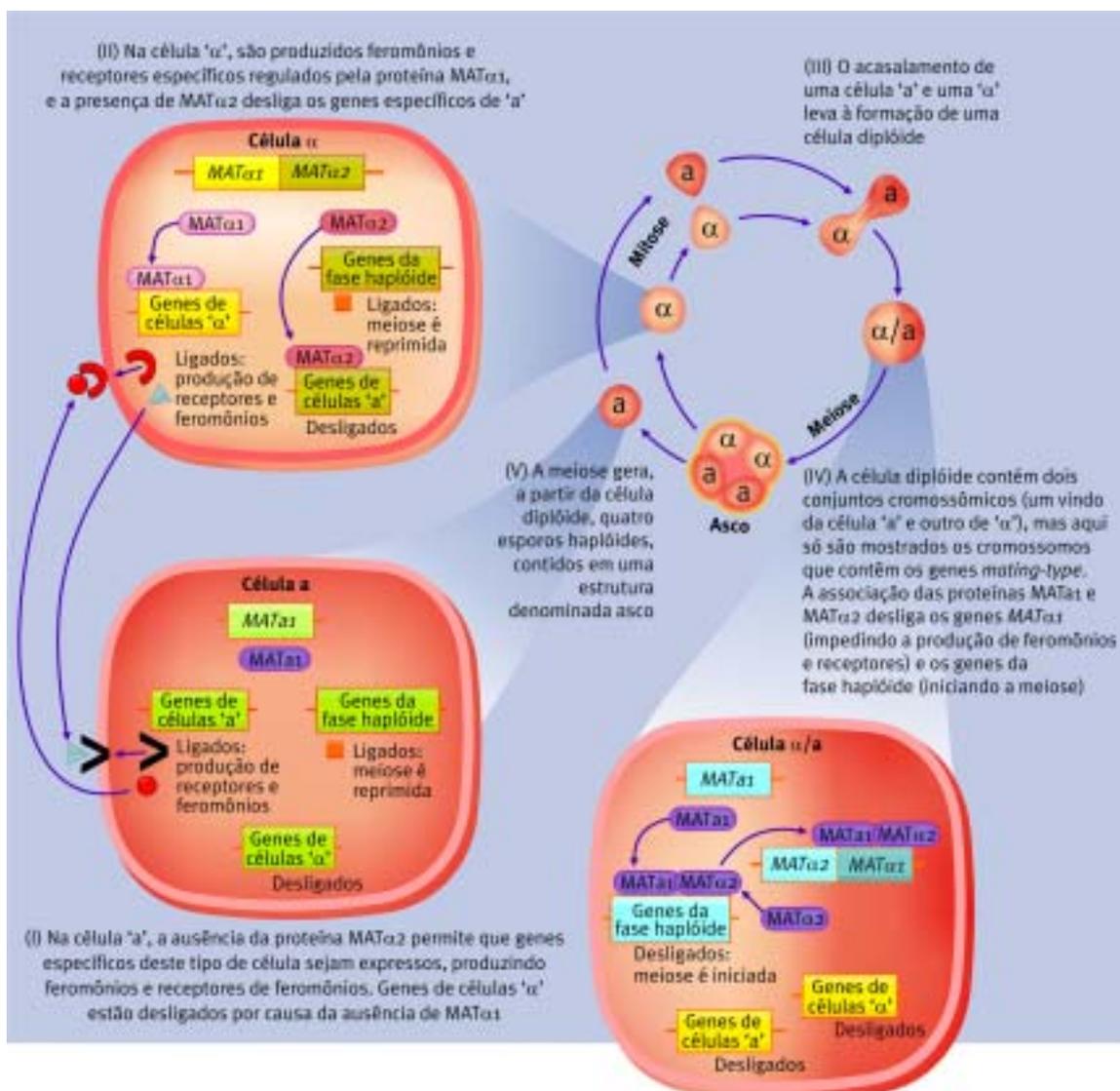


Figura 1. Ciclo de vida e funcionamento dos genes *mating-type* em linhagens auto-estéreis de *Saccharomyces cerevisiae*: a levedura passa por uma fase haplóide na qual os indivíduos 'a' e 'α' se dividem por mitose, mas eventualmente eles podem acasalar, formando um organismo diplóide que, ao sofrer meiose, gera quatro esporos que se tornarão indivíduos geneticamente diferentes devido à recombinação cromossômica

mente longa, em que as células se dividem por mitose (por um processo denominado brotamento) e uma fase diplóide de duração variável (figura 1). Os dois tipos celulares haplóides ('a' e 'α') têm idiomorfos diferentes no loco *mating-type*, mas em ambos estão ativos certos genes que reprimem a transcrição de outros genes necessários para a ocorrência da meiose.

Nos indivíduos 'a', o gene ativo para o acasalamento é o *MAT $\alpha$ 1* (do idiomorfo *MAT $\alpha$* ). Esse gene codifica uma proteína (MATA1), que atua como fator de transcrição para outras proteínas específicas (I, na figura 1) – isso significa que ela controla os genes que codificam tais proteínas. O gene *MAT $\alpha$ 1* tem uma região denominada HD (do inglês *homeodomain*, ou 'homodomínio'), típica de certos fatores transcricionais importantes também presentes em outras espécies (inclusive no homem). Nos indivíduos do outro tipo ('α'), estão ativos os genes *MAT $\alpha$ 1* e *MAT $\alpha$ 2* (do idiomorfo *MAT $\alpha$* ), que também codificam proteínas capazes de atuar co-

mo fatores de transcrição (II, na figura 1). *MAT $\alpha$ 2* também possui a região HD e *MAT $\alpha$ 1* tem uma região chamada domínio  $\alpha$ , presente em genes *mat* de outras espécies de fungos. Assim, indivíduos 'a' ou 'α' terão conjuntos de proteínas ligeiramente diferentes, controladas por esses diferentes fatores de transcrição.

Nas células 'α', por exemplo, a proteína MAT $\alpha$ 1 aumenta a transcrição de genes específicos dessas células (II, na figura 1) que codificam sinalizadores – denominados feromônios – do tipo 'α' (liberados para o meio externo) e receptores para feromônios do tipo 'a' (que se situam na superfície da levedura). A proteína MAT $\alpha$ 2, por sua vez, atua como um repressor da transcrição de genes específicos de células 'a' (ela desliga esses genes). As células 'a' também expressam seus próprios feromônios (do tipo 'a') e receptores (para feromônios 'α'), mas essa expressão não é regulada diretamente pela proteína

MATa1: ela só ocorre devido à ausência de MATα1. Portanto, cada tipo de célula libera seu feromônio específico e é capaz de reconhecer a presença do feromônio do parceiro, graças à interação bioquímica entre estes e os receptores correspondentes (situados na membrana externa das células).

No momento em que ocorre essa interação, os indivíduos haplóides param de se dividir por mitose e passam por complexas transformações bioquímicas e fisiológicas, que levam ao crescimento de uma célula na direção da outra, através de uma projeção celular (III, na figura 1). Na ponta dessas projeções ocorre uma fusão (o acasalamento), com a formação de uma célula diplóide (que

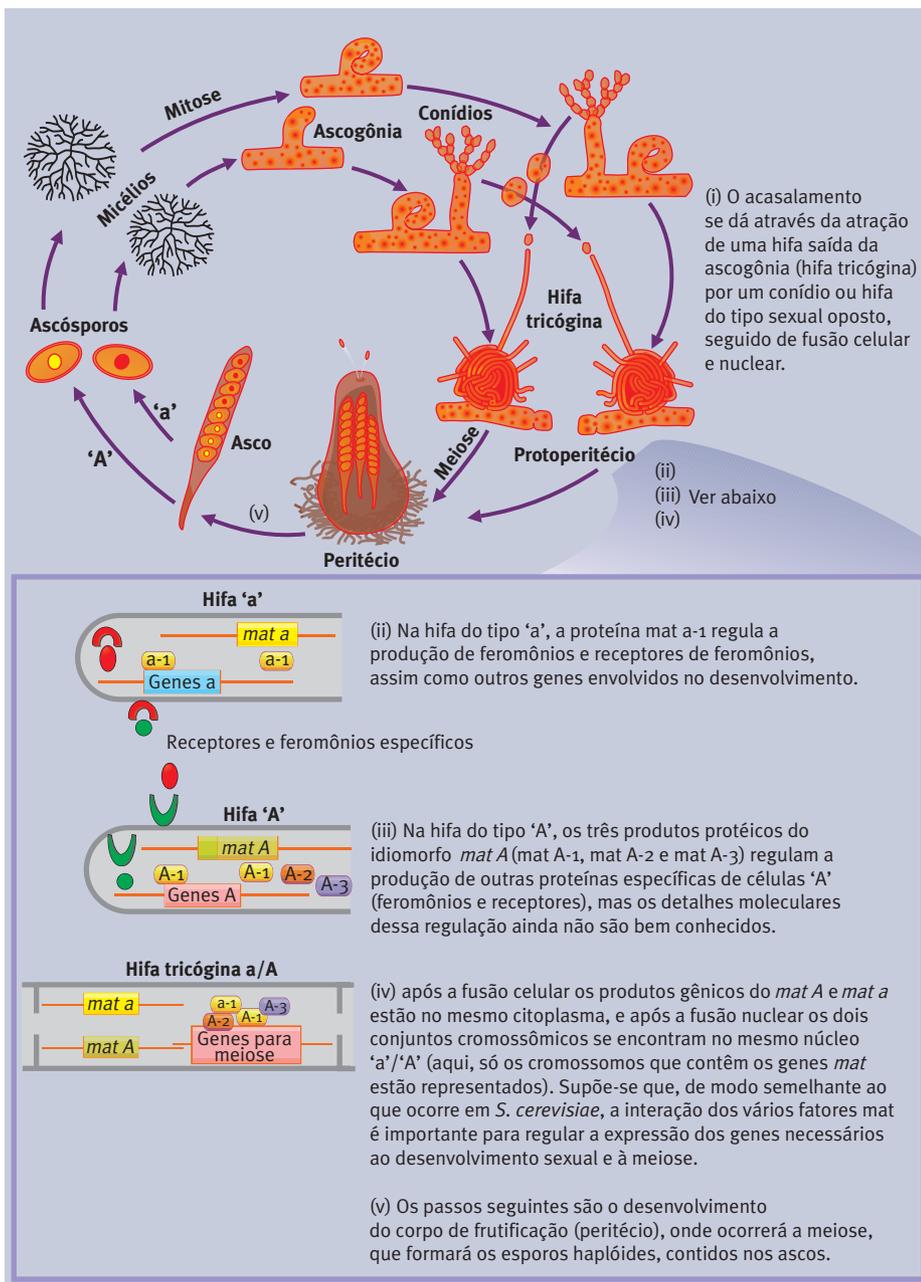
possui os dois idiomorfos, MATa e MATα).

Com isso, as proteínas MATa1 e MATα2 agora são produzidas em um núcleo comum e de alguma forma se agregam (IV, na figura 1). Esse agregado assume funções diferentes das que as proteínas tinham quando separadas: desligam a transcrição de genes MATα1 e de genes específicos de células haplóides que, entre outras funções, reprimam a meiose. Ao mesmo tempo, a interação da proteína MATα2 com outras proteínas existentes na célula permite a expressão dos genes necessários para a meiose, acionando o processo. Com a meiose, a célula diplóide divide-se e gera quatro esporos haplóides (dois 'α' e dois 'a'), contidos em um corpo de frutificação microscópico denominado ascó (V, na figura 1).

## O fungo multicelular *N. crassa*

Outro modelo de grande importância é *Neurospora crassa*, um bolor alaranjado (ver 'Nomes legais e científicos'), descoberto ao infestar, no passado, padarias da França. Esse fungo multicelular não é danoso à saúde ou à agricultura e pode ser visto no Brasil em plantações de cana-de-açúcar, principalmente alguns dias após uma queimada. O loco *mating-type* de *N. crassa* (*mat*) também foi estudado em nível molecular e contém (como o de *S. cerevisiae*) seqüências codificadoras de fatores de transcrição.

Figura 2. Ciclo de vida e funcionamento dos genes *mating-type* de *Neurospora crassa* – esse fungo hermafrodita (todo indivíduo apresenta estruturas sexuais masculinas e femininas) também tem uma fase haplóide em que os indivíduos 'a' e 'A' se dividem por mitose. Quando acasalam, formam-se células diplóides que sofrem meiose, seguida de uma mitose, gerando oito esporos que podem germinar se encontrarem condições adequadas



*N. crassa* aparece na natureza como indivíduos ‘A’ ou ‘a’ (figura 2) e, por ser um fungo hermafrodita, ambos os tipos têm estruturas sexuais masculinas e femininas (i, na figura 2). As masculinas são os esporos assexuais (conídios) ou hifas, e as femininas são os protoperitécios, formados a partir de hifas especializadas, as ascogônias. Graças aos esforços para a caracterização dos genes *mating-type* nesse fungo, descobriu-se que nos indivíduos ‘a’ o gene *mat a-1* é essencial ao acasalamento. A proteína que ele codifica (*mat a-1*) é um fator de transcrição que aciona genes específicos do tipo ‘a’ (ii, na figura 2). Essa proteína apresenta, em uma região denominada HMG (do inglês *high mobility group*, ou ‘grupo de alta mobilidade’), semelhanças com proteínas de muitos outros organismos. É interessante notar que a região HMG também aparece na proteína SRY, fator de transcrição codificado por um gene do cromossomo Y de mamíferos, que determina a masculinidade ainda na fase embrionária. As semelhanças na região HMG sugerem algum tipo de evolução do sexo de formas mais simples para as mais complexas.

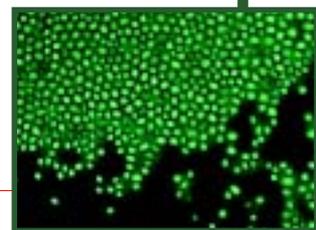
Já nos indivíduos ‘A’ de *N. crassa*, o principal envolvido no acasalamento é o gene *mat A-1* (iii, na figura 2), que codifica um fator de transcrição com uma região semelhante ao domínio  $\alpha 1$  presente no fator MAT $\alpha 1$  da levedura *S. cerevisiae*. Além de *mat A-1*, os indivíduos ‘A’ têm os genes *mat A-2* e *mat A-3*, que participam da formação dos esporos sexuais (os ascósporos). A proteína *mat A-2* mostra semelhanças com fatores de transcrição expressos pelo gene *mat* de outras espécies de fungos, e a proteína *mat A-3* também apresenta uma região HMG.

As interações dos fatores de transcrição com os genes por eles regulados já são bem conhecidas na levedura *S. cerevisiae*, mas ainda não estão muito claras em *N. crassa*. Sabe-se que, sob estresse nutricional e outras condições ambientais, os indivíduos haplóides de *N. crassa* produzem feromônios específicos, controlados por seus genes *mat* – para atrair o tipo sexual oposto. Essa atração faz com que uma hifa especializada (a hifa tricógina) cresça, a partir do protoperitécio, em direção à célula reprodutiva masculina (o conídio ou uma hifa). Isso acontece nos dois tipos de indivíduos, ‘a’ e ‘A’, já que são hermafroditas.

Supõe-se que, de maneira semelhante ao que ocorre em *S. cerevisiae*, os receptores ficam na superfície e os feromônios são liberados no meio externo. Assim, quando uma célula feminina (hifa) se encontra com uma masculina (conídio ou hifa), elas se fundem e o núcleo masculino entra na célula feminina e avança até encontrar o núcleo desta. Nesse ponto, os quatro fatores de transcrição (*mat*

## NOMES LEIGOS E CIENTÍFICOS

Diversos fungos são conhecidos por nomes populares, embora as pessoas geralmente não saibam que todos são fungos, nem que os nomes comuns costumam englobar diferentes espécies. Assim, os termos ‘bolor’ e ‘mofo’ referem-se a fungos cujo micélio é visível a olho nu. Entre eles estão o mofo do queijo (*Penicillium*) e o bolor do pão (*Rhizopus*). O termo ‘cogumelo’ refere-se ao corpo de frutificação também visto a olho nu, mais comum nos basidiomicetos. As ‘trufas’ também são um tipo de cogumelo subterrâneo da classe dos ascomicetos. O micélio que gera esses corpos de frutificação em geral cresce no solo ou dentro de uma planta. São exemplos de cogumelos os conhecidos champignon e cogumelo-do-sol (gênero *Agaricus*), os vendidos como *funghi secchi* (*Boletus*) e as orelhas-de-pau (*Picnoporus*). Já ‘levedo’ se refere aos fungos unicelulares, com representantes tanto entre os basidiomicetos quanto entre os ascomicetos. São levedos os fermentos de pão e de cerveja (*Saccharomyces cerevisiae*) e o fungo causador do sapinho (*Candida albicans*).



*a-1*, do indivíduo ‘a’, e *mat A-1*, *A-2* e *A-3*, do indivíduo ‘A’, agora em um citoplasma comum) presumivelmente interagem para regular genes essenciais para os eventos seguintes (entre eles a formação, a partir do protoperitécio, do corpo de frutificação denominado peritécio).

Divisões por mitose ampliam o número de núcleos de cada tipo. Logo após, cada par de núcleos se funde, formando um núcleo diplóide (iv, na figura 2) que imediatamente sofre meiose, gerando oito esporos sexuais (ascósporos), pois nessa espécie os esporos sofrem uma mitose antes de serem liberados. Milhares de esporos sexuais (metade ‘a’ e metade ‘A’) são produzidos no peritécio, sendo expelidos por uma abertura (v, na figura 2). Eles germinarão, dando origem a novos indivíduos, se houver um choque térmico a 60°C (por isso se vê crescimento de *N. crassa* após queimadas de cana-de-açúcar).

As pesquisas anteriores da autora – e colaboradores da Universidade da Colúmbia Britânica (Vancouver, Canadá) e da Universidade Stanford (Stanford, Estados Unidos) –, envolvendo diferentes mutantes de *N. crassa* deficientes nos genes *mat*, mostraram que indivíduos sem o gene *mat A-1* (ou sem *mat a-1*) são estéreis, e que na ausência da dupla *mat A-2/mat A-3* a fertilidade é drasticamente comprometida (são gerados poucos esporos). Entretanto, se falta apenas um deles (*mat A-2* ou *mat A-3*), o mutante é fértil, sugerindo que um ▶

desses genes pode ser capaz de fazer o papel do outro. Além disso, a expressão de alguns genes envolvidos no desenvolvimento sexual (genes *sdv*) é afetada em todos esses diferentes mutantes, mostrando que os genes *mat* são peças centrais na regulação desse desenvolvimento.

Nossa curiosidade quanto a esses eventos tem nos levado a estudar a interação dessas diferentes proteínas em nosso laboratório, através de ensaios genéticos e bioquímicos *in vivo* e *in vitro*. Tentamos entender as características bioquímicas de cada um desses fatores protéicos e como eles afetam a expressão de genes importantes para o desenvolvimento do fungo. Conhecer os processos em um modelo genético abre horizontes para compreender processos semelhantes – e importantes – em outros organismos.

basidiomicetos. Existem sim, muitas semelhanças, mas ao mesmo tempo os mecanismos de reconhecimento e cruzamento nos basidiomicetos podem ser bastante distintos. Será possível, através da constatação e do estudo de diferenças e semelhanças, desvendar os mecanismos celulares que tornam os seres vivos distintos uns dos outros?

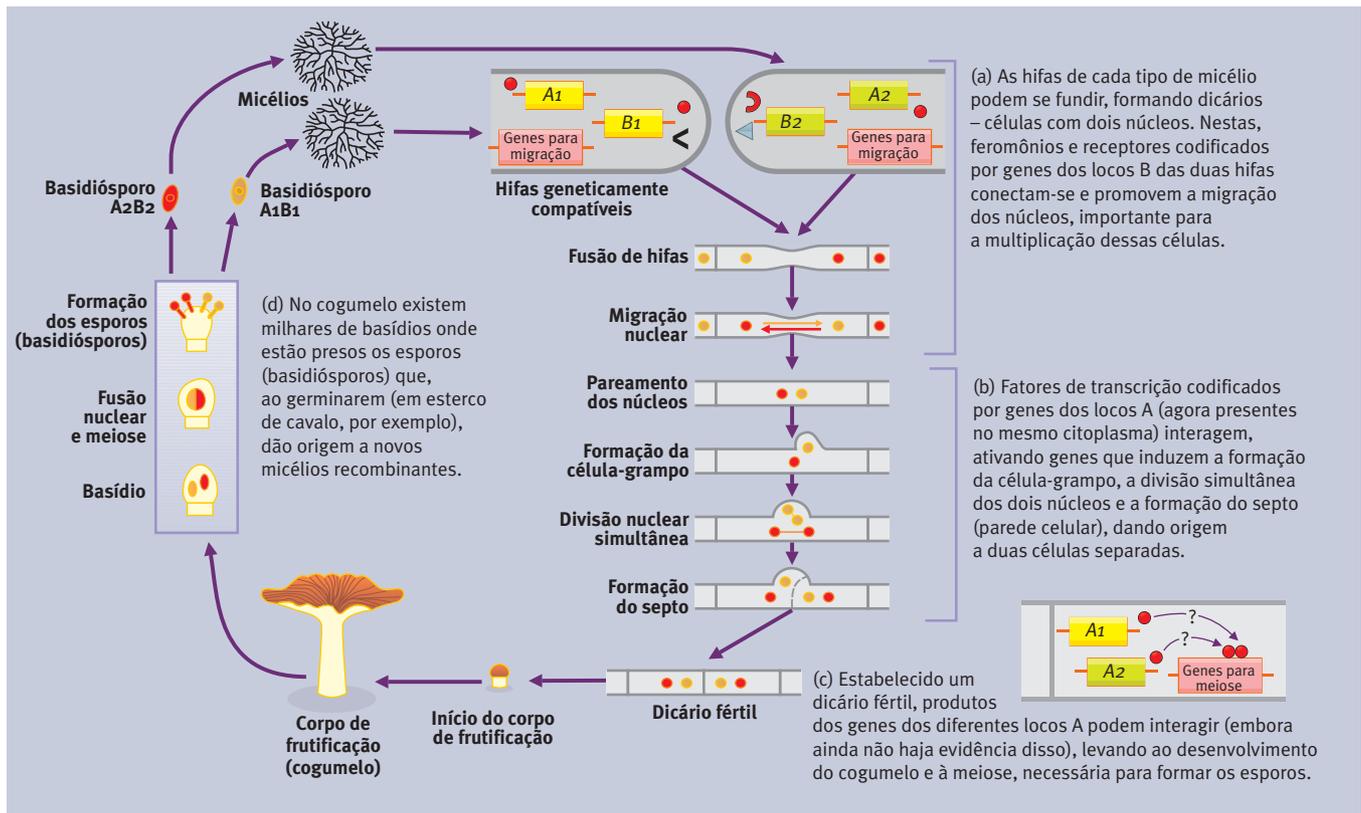
Na grande maioria dos basidiomicetos, a compatibilidade sexual, diferentemente do que ocorre em *S. cerevisiae* e *N. crassa* (dois ascomicetos), é controlada por dois locos *mat* não ligados no mesmo cromossomo. Para que dois parceiros acasalem, é necessário que contenham seqüências pelo menos ligeiramente diferentes nesses dois locos (alelos). Se, por exemplo, chamarmos esses dois locos de A e B, um cruzamento se dará entre indivíduos  $A_1B_1$  e  $A_2B_2$  (ou entre  $A_1B_2$  e  $A_2B_1$ ), mas não entre indivíduos que tenham a mesma seqüência em um dos locos, como  $A_1B_2$  e  $A_1B_1$  ou  $A_1B_1$  e  $A_2B_1$ . Na espécie *Coprinus cinereus*, por exemplo, há cerca de 120 alelos possíveis para o loco A e 100 para o loco B, os quais, combinados, podem resultar em cerca de 12 mil tipos de acasalamento. No sistema de um loco dos ascomicetos existem apenas dois tipos possíveis (por exemplo, 'a' e 'α').

Dentro de um cogumelo podem ser produzidos de milhões a trilhões de esporos sexuais (os basidiósporos), que são dispersados no ar. No solo, os

Figura 3. Ciclo de vida e funcionamento dos genes *mating-type* de *Coprinus cinereus*: os esporos produzidos no cogumelo dão origem a micélios com tipos genéticos distintos (com versões distintas dos genes A e B em seus locos *mat*), que podem acasalar entre si

## O sexo nos cogumelos

Os chamados bolores e os cogumelos são exemplos das duas mais importantes classes do reino Fungi: ascomicetos e basidiomicetos. Já que o cogumelo é um corpo de frutificação, pode-se concluir que processos de acasalamento semelhantes aos já descritos para outros fungos também ocorram entre os



esporos germinam, iniciando o crescimento de hifas haplóides, que podem crescer vegetativamente, produzindo esporos assexuais, ou podem se reproduzir sexuadamente. Quando se encontram (figura 3), essas hifas se fundem (a, na figura 3). Um dos locos *mat* codifica feromônios e receptores semelhantes aos de *S. cerevisiae*. A participação desses feromônios no acasalamento não está muito clara, já que nos basidiomicetos eles não são necessários para a atração entre os dois indivíduos, e sim para a migração dos núcleos dentro da hifa e formação de um tipo celular importante para reprodução (célula grampo) (b na figura 3).

Em seguida, as células das duas hifas se fundem, tornando-se dicários (células com dois núcleos). Estes podem se multiplicar, com a duplicação simultânea de cada um dos núcleos. Se os dois núcleos forem sexualmente compatíveis, ou seja, tiverem diferentes seqüências nos dois locos *mat*, os dicários serão férteis (c, na figura 3). A interação entre os dois locos dará início ao desenvolvimento do corpo de frutificação, o cogumelo, o que depende também da temperatura e da luminosidade. Dentro do cogumelo, em uma célula denominada basídio, os dois núcleos podem se fundir formando uma célula diplóide que, em seguida, sofre meiose para formar os esporos (d, na figura 3).

Nos cogumelos *C. cinereus* e *Schizophyllum commune*, as seqüências do segundo loco *mat* codificam fatores de transcrição que têm a região HD, também presente nos genes *MAT* de *S. cerevisiae*. Sabe-se que os fatores de transcrição dos diferentes indivíduos são capazes de se combinar ainda nos dicários (pois estão presentes no citoplasma comum), formando dímeros que ativam a produção das proteínas necessárias à meiose e ao desenvolvimento do cogumelo.

À medida que locos *mat* de outros fungos foram caracterizados, percebeu-se que determinados grupos de fungos (principalmente ascomicetos) possuíam genes com pequenas regiões muito semelhantes, ou seja, conservadas durante a evolução. Entre as várias espécies estudadas estavam as autoférteis. Na maioria desses fungos, o que se nota é a presença dos dois locos *mat* lado a lado no mesmo cromossomo. Por exemplo, o fitopatógeno *Gibberella zeae* contém os genes *MAT1* e *MAT2* e é capaz de se reproduzir sem precisar de um parceiro diferente. Experimentos de manipulação genética, onde foram criados indivíduos sem um dos genes *mat* (ora *MAT1*, ora *MAT2*), resultaram em sua transformação em linhagens auto-estéreis de *G. zeae*, que só podiam se reproduzir se uma linhagem cruzasse com outra.

Outro aspecto intrigante que vem sendo pesquisado é a presença de genes *mat*, ou genes seme-



Fungo do gênero *Coprinus* com corpos de frutificação (cogumelos) e com o micélio desenvolvido em meio de cultura, em laboratório

lhantes a eles, em fungos que não apresentam uma fase sexual conhecida, como por exemplo *Candida albicans*, levedura causadora da candidíase (sapinho), e outro fitopatógeno, *Fusarium oxysporum*. Genes *mat* de algumas dessas espécies, quando introduzidos por manipulação genética em outras espécies fúngicas de reprodução sexual, funcionaram tão bem quanto o próprio gene *mat* da espécie receptora. Isso provou a funcionalidade desses genes, levando a crer que a assexualidade de alguns fungos se deve à inativação não dos genes *mat*, mas de outros genes também importantes para o desenvolvimento sexual.

A evolução das técnicas de biologia molecular vem ajudando a ampliar os estudos sobre genes *mat* em diferentes fungos, sejam de importância agropecuária, médica ou biotecnológica. Entre os genes *mat* estudados em nosso laboratório – em colaboração com o Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Minas Gerais e com a Embrapa Milho e Sorgo –, estão os da espécie *Colletotrichum graminicola*, importante patógeno de culturas de gramíneas. A diversidade genética observada nesse fungo parece ser um grande fator para a falta de controle da doença por ele causada, a antracnose, que ocorre em milho, sorgo e outras gramíneas. Podemos, através de uma triagem dos genes *mat* de fungos isolados das plantas infectadas, inferir, através das proporções encontradas, se essas populações estão se reproduzindo sexualmente. Além da aplicação econômica, os estudos de genes *mat* têm servido, e prometem ainda servir substancialmente, para o entendimento de diversos mecanismos biológicos, como identidade celular, expressão gênica e controle do desenvolvimento dos seres vivos.

#### SUGESTÕES PARA LEITURA

- AZEVEDO, J.L. *Genética de microrganismos*. Goiânia, Editora da UFG, 1998.
- BROWNA, J. e CASSELTON, L. 'Mating in mushrooms: increasing the chances but prolonging the affair', in *Trends in Genetics*, v. 17 (7), p. 393, 2001.
- KENDRICK, B. 'The fifth kingdom', in [www.mycology.com/fifthtoc.html](http://www.mycology.com/fifthtoc.html)
- SOUZA, C.A.J., SILVA, C.C. e FERREIRA, A.V.B. 'Sex in Fungi: lessons of gene regulation', in *Genetics and Molecular Research*, v. 2 (1), p. 136, 2003 ([www.funpecpr.com.br](http://www.funpecpr.com.br))