Por 63 anos dona Maria Bellé cultivou um fermento biológico para fazer pães, que ganhou de presente de casamento. Encantada com a singela história dessa senhora, a autora deste livro foi ao distrito do estado de São Paulo onde ela residiu até 2019, para registrar as etapas de produção do delicioso pão artesanal, que dona Maria Bellé cozeu no antigo forno de barro do sítio.

Sabemos que o trigo está para o pão, como ambos estão para a humanidade, desde aproximadamente dez mil anos antes da Era Cristã, quando nossos antepassados caçadores coletores ensaiaram as primeiras domesticações de plantas e animais. De lá para cá, a inventividade humana ampliou técnicas e conhecimentos. Fez do trigo a farinha e dela a massa rude, que evoluiu para as massas fermentadas de pães macios e saborosos.

Pelos caminhos dessas conquistas humanas, a autora reuniu achados arqueológicos, avanços científicos e tecnológicos das Ciências Físicas e Biológicas, que revelaram inclusive o mundo microscópico e nele leveduras e bactérias fermentativas. O fermento biológico, à base do fungo *Saccharomyces cerevisae*, espécie cultivada por décadas pela dona Maria Bellé, foi industrializado e, desta forma, adentrou a modernidade. Na ciência, esse fungo, de ecologia pouco conhecida, tornou-se protagonista e impulsionou estudos em genética, bioquímica e, mais recentemente, na área de nutrição. Essas são facetas da história de grandes desafios, curiosidades e belezas, que fizem parte da saga humana neste planeta, onde a vida engendrou-se e evolui desde aproximadamente 3,8 bilhões de anos.

ISBN: 978-65-00-18020-6
CL
9 786500 180206

Um Pão Recheados de Histórias
Lucia Maria Paleari

Um pão recheado de histórias

Lucia Maria Paleari

Lucia Maria Paleari

UM PÃO RECHEADO DE HISTÓRIAS

1ª edição

São Paulo
Lucia Maria Paleari
2021

Copyright © 2021

Edição do autor
lmpaleari@gmail.com

Todos os direitos reservados.
Reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação de direitos autorais (lei 9610/98).

Grafia consoante novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa

Normalização de bibliografia: Rosemary Cristina da Silva

Projeto Editorial, capa e fotos: Lucia Maria Paleari

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: **ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE - CRB 8/5651**

Paleari, Lucia Maria.
Um pão recheado de histórias / Lucia Maria Paleari. – São Paulo : O Autor, 2021
ePub

ISBN: 978-65-00-18020-6

1. Nutrição. 2. Educação. 3. Ecologia. 4. Microbiologia. 5. Probióticos. 6. Microbiota. 7. Leveduras (Fungos). 8. Panificação.

CDD 613

Dedico este livro à Senhora
Maria Joana Bellé Marques (*In memoriam*)
1932-2019

Sumário

Prefácio 7

Um presente inusitado 11

Fungi: um grupo de seres multifacetados 15

Os fungos na árvore da vida 28

Um entrave deveras desafiador 32

Uma trinca para dar o que falar 37

Decifrando, reinterpretando parentescos 43

Leveduras, seres diversos e versáteis 50

Alimentos fermentados na história da humanidade 59

Entre a nobreza e a vilania: Um alimento dos deuses! 62

Lácteos, uma diversidade para lá de inclusiva 77

O milagre que sacia e se perpetua 83

Era preciso fixar residência 84

Trigo: da vida silvestre ao pão primordial 92

Entre arte culinária e ciência *99*

Os ingredientes na alimentação da levedura *102*

Um verdadeiro laboratório *107*

Quando descanso é trabalho *113*

Da pedra ensolarada ao tijolo esbraseado *117*

Ritual e recompensa *121*

Fermentação, história e saúde *129*

Leveduras em novo cenário científico-tecnológico *136*

Rede complexa de fenômenos desafiadores *144*

Um probiota em questão *157*

Luzes e sombras nas pegadas do caminho *162*

Entre o passado e o futuro *169*

Bibliografia *191*

Glossário *217*

Prefácio

A Profa. Lúcia Maria, na apresentação da quarta capa deste livro, situa o conteúdo da obra na área das ciências físicas e biológicas. E de fato, como pesquisadora que sou pude perceber o rigor, o cuidado e a profundidade da pesquisa realizada sobre os vários temas desdobrados dessa área. Mas aqui eu quero argumentar que este livro transcende as ciências naturais, trazendo um rico conteúdo das ciências humanas. Nas suas páginas, de forma muito bem costurada, encontramos fortes elementos da nossa cultura. O pão, um dos alimentos mais antigos que se conhece e também por essa razão, mostra-se carregado de simbolismos. Repartir o pão, o pão de cada dia, o pão na mesa de cada um e até mesmo o pão que o diabo amassou... Pensar a fermentação a partir do pão por si só, já nos remete a um exército interdisciplinar incluindo, além da física e da biologia, ao menos elementos de história, geografia e antropologia. Mas quando a Profa. Lúcia Maria decidiu adotar uma personagem como inspiração para tratar dos processos físicos e biológicos envolvidos na fermentação, ela nos fez viajar do particular para o geral e do micro para o macro com muita criatividade. Foi uma leitura muito prazerosa. No entanto, eu não estaria sendo honesta se não me apresentasse como filha da personagem homenageada neste livro. E, tendo a honra deste prefácio, seria impossível não falar das lembranças que essa leitura me

suscitou e trazer aqui um pouco mais da nossa cultura alimentar. Minha mãe foi neta de imigrantes italianos, nasci e morei no sítio até o meu penúltimo ano de colégio. Éramos nove na família. No sítio moravam outras três famílias de tios e avós. Minha mãe fazia pão uma vez por semana com 5 kg de farinha e se o pão não durasse sete dias ela preparava polenta ou bolo de fubá para o café da manhã e lanche da tarde. No dia de fazer pão, por insistência dos filhos, algumas vezes ela fritava a própria massa para o café da manhã. Se o pão ficava velho, cortava-o em fatias que passava no ovo com açúcar e fritava para ser saboreado com o nome de "engana marido". Pão velho também servia para fazer almôndegas de carne moída. Nada ela perdia. Havia o que se costumava tratar de "trocar pão": cada família que fizesse uma fornada de pães mandava um deles para cada família dos tios e avós. Assim, todos no sítio tinham a chance de comer pão fresco mais vezes na semana. Minha mãe, que tinha a família maior, fazia pão com mais frequência, por isso recebia bem menos unidades do que mandava para as demais, mas esse tipo de conta não se considerava. Toda manhã ela acordava com a tarefa de providenciar o que deveria "ir no meio do pão das crianças", ou seja, no lanche dos filhos que iam para a escola: ovo frito, margarina, doce de abóbora, carne de porco da lata de banha, linguiça, tomate frito, almeirão cozido e refogado no alho... Diferentemente das outras mães, a minha não permitia que ingeríssemos pão com linguiça crua, nem pão com mortadela. Às vezes eu comia mortadela, porque uma professora que me encarregava de comprar o seu lanche, em troca me dava uma fatia. A mortadela não me faz bem, mas até hoje me atrai. O pão quentinho no ponto de derreter a margarina; a batata doce que a Tia Chica colocava ao sol para dias depois assar no forno a lenha, após a retirada dos pães; as brigas da minha mãe com o meu

pai, porque ele precisava "picar" lenha para esquentar o forno, e com as crianças maiores, para que elas pegassem folha de bananeira para forrar o forno e manivelassem para rodar os cilindros de pressionar a massa; o pão que naquele dia não cresceu; o pão que cresceu demais; a lenha molhada e o fogo "que não pegava"; o pão que ficou escuro porque daquela vez a farinha não era boa; o fubá para testar a temperatura do forno; a palha de milho que era usada para fazer a tampa da garrafa de fermento e o fermento que "explodiu" e jogou longe essa tampa; a minha mãe com o monte de filhos sentados à barra da sua saia, orgulhosamente contando a história do fermento que ela cultivava. Quantas lembranças... Muito obrigada Profa Maria Lucia por essa linda homenagem à Dona Maria Bellé, e por fazer com que o fermento que ela cultivou com tanto carinho anos a fio, se mantenha vivo alimentando as nossas recordações.

Maria Rita de Oliveira Marques
Botucatu, março de 2020.

Um presente inusitado

Era 1956. No povoado de Pouso Alegre, coração do estado de São Paulo, a jovem Maria Bellé, descendente de imigrantes italianos e àquela época com 25 anos, casava-se. Assim como acontece nos dias atuais, os noivos foram presenteados. Dentre os presentes recebidos houve um de valor inestimável, que a jovem Maria ganhou de sua mãe e que a acompanhou apor 63 anos.

Dê uma olhada na garrafa da fotografia ao lado. Quem imaginaria ganhar um líquido esbranquiçado como esse, de presente de casamento?

Acontece que nesse líquido são cultivados microrganismos, principalmente um tipo de fungo, conhecido por levedura (lêvedo) ou fermento, usado na preparação de massas à base de farinha, como pães, e de bebidas fermentadas, como vinho e cerveja. Foi com esse fermento que a Dona Maria preparou, semanalmente, os pães que seu marido e os sete filhos comeram em família e em companhia de amigos.

Contam historiadores, que na Europa antiga era costume as mães darem um pedaço de massa de pão fermentada às filhas

que se casavam, para que elas também pudessem fazer em suas casas um pão de boa qualidade e de sabor especial. Era verdadeiro legado, uma herança de família.

No caso de Dona Maria Bellé, embora o presente lhe tenha sido dado por sua mãe, o fermento chegou à família pelas mãos de uma tia, cujo filho comera um tipo de pão, segundo ele, muito gostoso. O garoto havia gostado tanto, que insistiu para que sua mãe conseguisse a receita com a amiga espanhola. Com a receita veio o grande segredo responsável pelas características especiais daquele pão: o recipiente contendo o líquido esbranquiçado, no qual era mantido o fungo e demais microrganismos usados para preparar a massa.

FUNGI: UM GRUPO DE SERES MULTIFACETADOS

Os cogumelos, as orelhas-de-pau, o bolor de pão e as micoses, assim como a levedura do fermento com o qual D. Maria Bellé foi presenteada, são exemplos bastante conhecidos de fungos. Esses seres vivos, outrora e erroneamente, foram classificados como plantas, tanto por não se locomoverem, como por, em diversos casos, assemelharem-se aos vegetais na aparência geral e na presença de células envoltas não apenas por delicada membrana denominada de plasmática (Figura 1A), mas também por uma parede celular resistente, localizada externamente à membrana plasmática (Figura 1B). No entanto, essa parede celular, que nos vegetais é constituída basicamente de celulose, nos fungos é composta de quitina, material presente no **exoesqueleto** de artrópodes como os insetos, lagostas e caranguejos (Figuras 1C e D). Em ambos os casos, das plantas e dos fungos, os materiais que compõem as paredes celulares são resistentes e impermeáveis, constituídos de longas moléculas lineares, que diferem entre si no tipo de unidade formadora e no tipo de ligação química que se estabelece entre as respectivas unidades (Figura 1E e F). A celulose é o composto orgânico mais abundante na Terra, seguido da quitina.

Além dessas diferenças entre os dois grupos, glicogênio e lipídeo são os materiais de reserva dos fungos, enquanto amido é o que se detecta nas plantas.

Os fungos ainda diferem das plantas em outra característica fundamental: não sintetizam alimento a partir da fotossíntese, uma vez que desprovidos de clorofila, pigmento que confere a cor verde aos vegetais. Por isso, nas cadeias alimentares, integram o grupo dos consumidores. Eles pertencem aos **heterobiontes** (he-

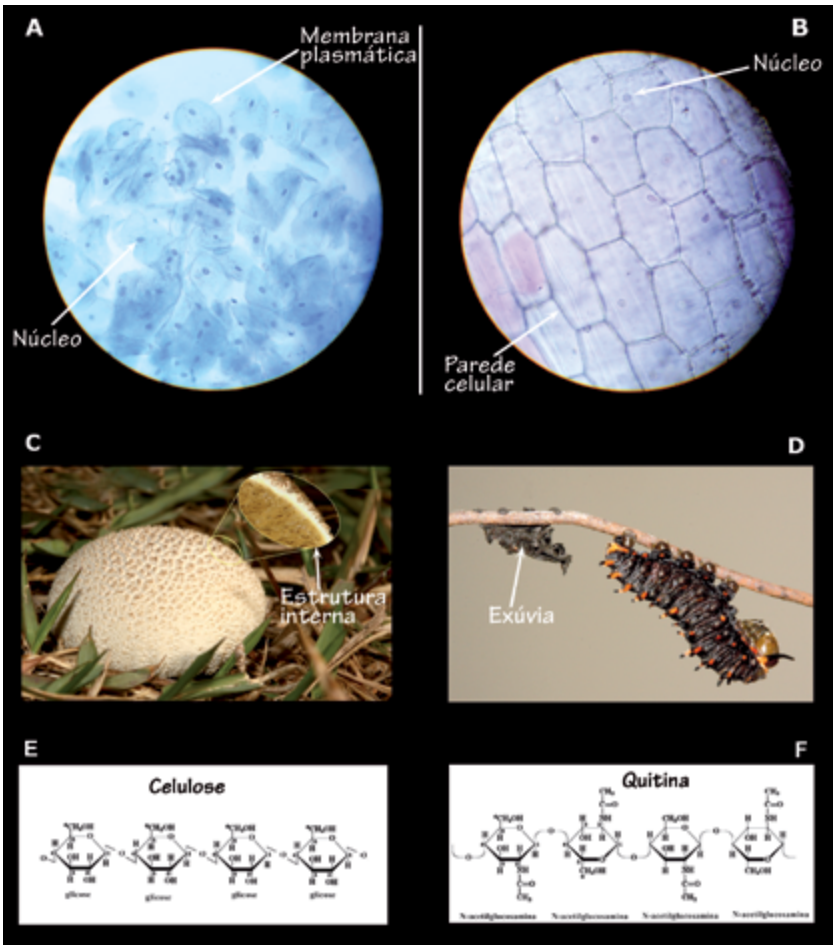

Figura 1: (A) Células da bochecha de uma pessoa, delimitadas por delicada película, composta basicamente de lipídio e proteína (lipoproteica), denominada de membrana citoplasmática; (B) células de uma planta, delimitadas por estrutura relativamente espessa, composta basicamente de celulose, denominada de parede celular; (C) fungo *Scleroderma* sp., que é ectomicorrízico (simbionte de raízes de plantas perenes), com detalhe da sua estrutura interna ao lado direito; (D) lagarta de inseto, que deixou para trás a exúvia, seu exoesqueleto constituído basicamente de quitina; (E) representação de parte da estrutura molecular de celulose – grupo hidroxila no carbono 2; (F) representação de parte da estrutura molecular de quitina – grupo amina acetilado no carbono 2.

tero = diferente; bionte = ser vivo), enquanto os organismos fotossintetizantes constituem os **fotobiontes** (foto = luz).

Como heterobiontes, os fungos obtêm energia, carbono e nitrogênio a partir de detritos orgânicos, como acontece com os **fungos sapróbios** (= **saprófitas**), ou de tecidos de animais atacados em vida, caso dos **fungos carnívoros**. Dentre estes há os **fungos predadores**, quando, por exemplo, estrangulam e matam suas vítimas e os **fungos parasíticos**, quando vão retirando do hospedeiro as substâncias de que necessitam, debilitando-o e até mesmo matando-o. Nesta condição será denominado de **fungo patogênico**, que quando em associação dessa natureza com plantas é conhecido como **fungo fitopatógeno**. Há ainda fungos que obtêm nutrientes de plantas, porém estabelecendo com elas uma interação que é benéfica para ambos os parceiros; uma simbiose conhecida como mutualística, que é o caso dos fungos micorrízicos, que se associam a raízes de plantas. Esses exemplos indicam que os fungos, apesar de recorrerem a diferentes estratégias para obtenção de alimentos, são todos consumidores, como é também o caso dos fungos associados a algas ou cianobactérias (**micobiontes**), que compõem o que foi denominado de líquens ou líquenes.

Sobre todos os substratos orgânicos que podem consumir, os fungos lançam substâncias denominadas de enzimas. Essas enzimas, que são um tipo de proteína, separam das longas cadeias moleculares (**polímeros**) os segmentos simples denominados de **monômeros** (mono = um; mero = parte, porção, simples). A glicose, por exemplo, é um monômero que poderá formar amido, celulose e quitina; os aminoácidos, compostos nitrogenados, também são monômeros que poderão formar proteínas etc. Esse processo de usar enzimas para obter monômeros de diversos polímeros é comum aos seres vivos. Quando o alimento passa pelo nosso tubo

digestivo ou quando uma planta carnívora se alimenta de uma mosca, o mesmo processo de produção de monômeros acontece.

Tal processo de degradação, quebrar moléculas complexas em suas unidades estruturais denominadas de monômeros, é conhecido também por digestão e acontece em seres vivos de todos os grupos. Alguns deles degradam substâncias fora de seus corpos para depois absorverem-nas, como fazem os fungos; outros lançam as enzimas em compartimentos dentro do próprio corpo, como fazemos nós quando secretamos enzimas no tubo digestivo. Após a absorção do material degradado, cada organismo irá utilizar os monômeros para construir as suas próprias moléculas mais complexas. Um exemplo simples desse processo de produção de moléculas específicas, isto é, diferentes das de qualquer outro indivíduo, inclusive da mesma espécie, é o das proteínas, que são polímeros formados de unidades de aminoácidos. Como na Natureza há 20 tipos distintos de aminoácidos disponíveis para que cada ser vivo possa construir suas próprias proteínas, portanto, proteinas diferentes das dos demais indivíduos, ele precisará combinar uma seleção própria de aminoácidos (número e tipo) com a disposição deles na cadeia proteica. Essas duas informações, que permitem construir proteínas específicas, estão no **código genético** de cada organismo, no **DNA** (Ácido Desoxirribonucleico), que também é peculiar de cada indivíduo. Dessa forma, uma proteína específica é como se fosse um código de barras ou *QR-code* (do inglês "Quick Response Code"/Código de Resposta Rápida), daqueles usados em produtos de supermercado ou associados a programas televisivos. Porém, com uma diferença: o código dos seres vivos é individual, como a impressão digital, ao passo que cada código de barras das mercadorias do supermercado vale para todos os produtos de um mesmo tipo e marca.

A capacidade de transformar materiais orgânicos em nutrientes, que podem tanto ficar no ambiente e voltar a compor substâncias inorgânicas, como serem utilizados por outros organismos, é a razão dos fungos saprofíticos terem sido classificados também como decompositores. Esse papel que eles desempenham nas cadeias alimentares, ao lado de certas bactérias, é fundamental para que na Natureza ocorra a ciclagem dos nutrientes como carbono, nitrogênio, oxigênio, e, dessa maneira, a renovação da vida na Terra. Portanto, se não houver atenção aos processos de manejo dos solos, para evitar que eles fiquem nus, demasiadamente expostos ao sol, e sob o efeito de venenos químicos, os decompositores neles presentes poderão ser mortos. Em sendo mortos, a transformação do material orgânico ficará comprometida, assim como a devolução dos nutrientes retirados pelas plantas, o que resulta em empobrecimento dos solos. Com isso, plantas terão dificuldades para se desenvolver ou serão impossibilitadas de se estabelecer nesses locais. Como consequência, é de esperar que haja problemas como: erosão, lavouras improdutivas, maiores dificuldades para recomposição de florestas etc. Derivando desses problemas, em rede complexa de eventos, é provável que se tenha em tempo relativamente curto, o **assoreamento** de rios, redução e até extinção de safras com elevação do custo dos alimentos, desempregos e evasão rural, desequilíbrios climáticos e assim por diante.

Não bastasse a relevância como decompositores nas cadeias alimentares, certos fungos podem se tornar aliados do Homem em uma tarefa também muito importante, uma tarefa antipoluição, quer seja poluição causada por produtos orgânicos acumulados em locais inadequados e em grande quantidade (ex. petróleo, fezes) ou produtos inorgânicos construídos industrialmente pelo Homem (ex. venenos químicos, tintas). Por meio des-

sa atividade fúngica, denominada de **biorremediação**, é possível minimizar diversos problemas ambientais, frutos de ações humanas, como: a) reduzir em solos e efluentes, por exemplo, a quantidade de substâncias tóxicas como os organoclorados, muito comuns nos venenos químicos utilizados na agricultura e em alguns medicamentos; b) degradar corantes sintéticos utilizados pela indústria têxtil e polietileno tereftalato (PET), substância que compõe as embalagens de refrigerantes; c) tratar o material orgânico de esgotos, antes de ser lançado em rios; d) minimizar ou resolver problemas causados por vazamentos de petróleo etc. Apesar dessa importante contribuição dos fungos, possibilitando-nos um ambiente mais adequado à vida, a velocidade das ações humanas, gerando quantidade absurda e diversidade crescente de poluentes, é desproporcionalmente maior do que as ações que eles realizam. Sendo assim, remediamos o mal, mas não conseguimos impedir suas consequências nefastas, que incluem doenças e morte de muitos seres vivos nos mais diversos ecossistemas. Um fato assaz preocupante é o do plástico, que tem sido produzido e descartado no ambiente de forma descomunal e indevida. Acumulando-se principalmente nos oceanos, o plástico das embalagens de produtos de limpeza, refrigerantes, água mineral e cosméticos tornou-se uma das maiores ameaças à vida. Animais marinhos não têm apenas sucumbido por ingerir as embalagens, como têm se contaminado com micropartículas, que resultam da degradação parcial dos plásticos. Peixes, por exemplo, contendo micropartículas em seus corpos, poderão ser consumidos por aves e seres humanos, que sofrerão as graves e mais acentuadas consequências desse tipo de poluição, devido ao fenômeno da **magnificação trófica**. Isso significa que em cada nível trófico hierarquicamente superior, cada organismo ingerirá maior número de itens alimentares

contaminados, o que potencializará seus efeitos. Esse fenômeno não se restringe ao plástico. Algumas substâncias contaminantes de solos e rios, também podem acumular mais nos corpos de organismos de níveis tróficos superiores, causando doenças graves e até a morte. É o caso do mercúrio orgânico (metilmercúrio), que se difunde rapidamente nos corpos dos seres aquáticos estabelecendo forte ligação com proteínas e causando graves problemas neurológicos. Não faltam exemplos mundiais de contaminação ambiental, como em rios no Brasil devido aos garimpos, mas talvez o mais emblemático deles seja o da contaminação da Baía de Minamata, no Japão de 1953. Esse evento resultou em grande mortalidade de peixes, gatos, mariscos e aves, além de humanos, que se não morreram ficaram permanentemente incapacitados.

Há ainda fungos, que em relação simbiótica do tipo mutualística com organismos fotobiontes (algas e cianobactérias), passaram a constituir o **líquen** (Figura 2), considerado uma **unidade morfofisiológica**. Isto quer dizer que se trata de um novo e único ser, com estrutura e processos físico-químicos integrados,

Figura 2: Líquen em poste de placa de trânsito (à esquerda) e dois tipos de liquens em tronco de árvore (à direita); o líquen vermelho é indicador de ar de excelente qualidade.

tendo a porção fotobionte produzindo matéria orgânica e a micobionte fornecendo água e minerais ao processo, além de proteção ao excesso de luz. Como se trata de componentes sensíveis à presença de substâncias poluentes, os liquens também acabaram sendo um aliado do ser humano para indicar a qualidade do ar, razão de terem sido denominados de biomonitores.

A presença de determinadas espécies de liquens em árvores, paredes e grades de casas, por exemplo, é indicativo de boa e até de excelente qualidade do ar (Figura 2). Quando essas espécies vão desaparecendo, é sinal de que o ar está se tornando impróprio devido, principalmente, ao aumento de veículos automotores e indústrias, que lançam produtos tóxicos à atmosfera. E os líquens não são considerados importantes apenas porque são capazes de nos alertar sobre a existência de poluição. Eles também podem ser analisados quimicamente, para sabermos quais foram os poluentes que penetraram nas suas células juntamente com o ar e lá permaneceram. Dentre os poluentes podem estar elementos químicos como cádmio, mercúrio, zinco, chumbo e enxofre, que são causadores de problemas graves ao Homem. Por isso, ao serem detectados nos liquens, medidas antipoluição poderão ser adotadas visando a boa qualidade ambiental e saúde humana.

Dois outros tipos de simbioses, de grande importância, existem entre fungos e plantas: a) **micorrízicas** (myco = fungo; rhiza = raiz) e b) **endofíticas** (endo = interior; phytos = plantas).

Associação micorrízica é um tipo de mutualismo muito comum, em que os fungos, na maioria das vezes dependentes das plantas hospedeiras, habitam suas raízes. Investigações a partir de materiais fósseis têm indicado que as micorrizas acompanham as plantas desde há 400 milhões de anos, quando elas se adapta-

ram ao ambiente terrestre.

Quando a planta emite suas raízes, fungos micorrízicos existentes no solo penetram-nas dando início ao mutualismo. As hifas podem estabelecer dois tipos principais de associação com as raízes das plantas: a) penetrar espaços intercelulares, isto é, espaços entre as células da epiderme e do córtex (**ectomicorrizas**), formando uma densa rede (rede de Hartig), que se estende para fora envolvendo as raízes laterais e b) avançar para o interior de células corticais (**endomicorriza**). As endomicorrizas mais comuns são aquelas em que as hifas, ao avançarem para o interior das células corticais, são envolvidas por suas membranas plasmáticas, resultando na formação de estruturas denominadas de vesículas e arbúsculos. Porém, há associações endomicorrízicas especiais, que são estabelecidas com plantas das famílias Ericaceae (associações ericóides) e Orquidaceae (associações orquidóides). Sementes de orquídeas, por exemplo, dependem de associação com certos fungos para poderem germinar.

Ao se estabelecem, as micorrizas que formam vesículas, arbúsculos e pelos radiculares, estes conhecidos dos botânicos por tricomas (prolongamentos de células da epiderme), reduzem ou suprimem o crescimento das raízes e a sua função de absorção de nutrientes e de água passa a ser exercida pelo fungo. A rede de hifas que penetra no solo é grande e, portanto, amplia a área de contato e a capacidade de absorção que as plantas teriam apenas com suas raízes. Com isso, essas plantas recebem mais água e nutrientes como o fósforo, elemento que tem sido o mais bem documentado, nitrogênio e potássio. Em contrapartida, os fungos obtêm das plantas o carbono, a partir de açúcares e lipídeos. Com nutrientes em abundância, as plantas tendem a crescer mais, emitir maior número de flores, atrair mais polinizadores e a frutificar em abun-

dância. Na ausência de micorrizas, espécies de árvores podem ser enormemente prejudicadas ou podem até mesmo deixar de existir. Essa possibilidade pode ser comprovada, quando pinheiros europeus introduzidos nos Estados Unidos da América do Norte, só cresceram bem após terem sido inoculados artificialmente com fungos micorrízicos, obtidos dos solos de seus países de origem.

As micorrizas também podem acarretar maior produção e liberação de substâncias voláteis capazes de atrair inimigos naturais de insetos herbívoros, o que confere proteção à planta hospedeira. Há certas espécies de fungos micorrízicos, que ao crescerem avançando para fora das raízes, formam estruturas que humanos coletam e fazem delas uma iguaria muito apreciada.

Na associação endofítica, quase sempre assintomática, o fungo pode ser encontrado em espaços intercelulares ou intracelulares de ramos ou de raízes das plantas hospedeiras, que são beneficiadas e podem resistir e crescer, principalmente em ambientes adversos, estressantes. Alguns fungos endofíticos são também entomopatógenos (entomo = inseto; patos = doença), isto é, causam doenças em insetos herbívoros, portanto, atuam também em defesa das plantas.

O conhecimento atual sobre os fungos é relativamente vasto e com contribuições de diferentes áreas da biologia, como a micologia (estudo dos fungos), sistemática (classificação dos seres vivos), genética (herança biológica), bioquímica (estudo dos processos químicos nos seres vivos), biologia celular (composição e funcionamento das células), ecologia (estudo das interações entre os seres vivos) e biologia molecular (composição e organização de moléculas que compõem e caracterizam os seres vivos, com destaque para o material hereditário). Contudo, ainda há

divergências entre estudiosos sobre a pertinência e forma de organização dos seres vivos que o compõem ou que deveriam fazer parte desse grupo. Tais divergências decorrem dos diferentes critérios adotados por diferentes pesquisadores, ao longo da história da classificação dos seres vivos. Embora o ideal seja adotar critérios objetivos e compartilhados por todos os estudiosos de todos os países, de maneira a facilitar o estudo, a comunicação e o estabelecimento de bases unificadoras, isso nem sempre acontece. Às vezes, certos parâmetros escolhidos não são os mesmos e nem a escala de valores, atribuída àqueles que são comuns, é a mesma. Isso por causa de maior ou menor interferência subjetiva, que pode ter a ver com a área de estudo do pesquisador ou de suas convicções pessoais. Além disso, os avanços tecnológicos podem alcançar pesquisadores de diferentes países em diferentes tempos, e mesmo se aceitos, podem levar à adoção das novas tecnologias em diferentes momentos, provocando divergências de mais longa ou curta duração.

No entanto, os critérios assumidos sempre seguem uma lógica e acabam por definir um sistema, que agrupa os seres vivos de forma ordenada e compreensível. Na história da biologia é possível encontrar agrupamentos, que levaram em conta: o ambiente onde os seres viviam (ex. aquático, terrestre, pantanoso); a capacidade de locomoção ou de fixidez, como os animais e as plantas, respectivamente; forma de obtenção de nutrientes, de acordo com os respectivos posicionamentos nas cadeias alimentares (produtor, consumidor, decompositor); presença de determinadas estruturas macroscópicas (ex. coluna vertebral, flores) ou microscópicas (ex. células com ou sem núcleo definido, cloroplastos) etc. O ponto de partida foi relativamente simples, mas com o passar do tempo tornou-se mais complexo, impulsionado tanto pelo co-

nhecimento ampliado e aprofundado do mundo vivo, como pelos avanços tecnológicos. Partimos de observações gerais a olho desarmado, para observações de células ao microscópio óptico e posteriormente ao microscópio eletrônico, que nos forneceram mais riqueza de detalhes acerca das organelas e entendimento de suas respectivas funções; passamos dos testes com base em mudança de cores para verificar a produção de certas substâncias, até análises bioquímicas que favoreceram a elaboração de explicações sobre processos intracelulares e chegamos ao sequenciamento das bases que compõem as estruturas do DNA e RNA, responsáveis pelas informações hereditárias dos seres vivos. Partimos, portanto, da elaboração de agrupamentos simples dos seres vivos, feitos para facilitar as investigações, e chegamos a sistemas de classificação que pressupõem relações de parentesco entre os organismos, de acordo com a visão evolutiva.

Os fungos na árvore da vida

Um dos mais influentes sistemas de classificação, encontrados em livros-textos das Ciências Biológicas, foi definido por Robert H. Whittaker, um ecólogo que inicialmente substituiu a tradicional divisão dos seres vivos em animais e vegetais, por outra em que eles passaram a integrar três reinos: o dos produtores, o dos consumidores e o dos decompositores. Essa proposta teve como base as funções ecológicas dos organismos. O autor considerava que essa sua proposta de classificação era mais coerente do que outras que surgiram no mesmo período, baseadas em características morfológicas ou em relações filogenéticas, isto é, relações de parentesco entre os seres, que, do seu ponto de vista

eram resultado de conjecturas. Em seguida, ele redefiniu os grupos levando em conta, além da forma de nutrição, também a organização celular dos seres vivos e colocou os fungos em um grupo à parte. Isto porque, considerou que mesmo sendo decompositores, os fungos eram multicelulares e não unicelulares como as bactérias decompositoras, além de serem suficientemente distintos das algas e das plantas multicelulares, ambas produtoras. Com isso, ele compôs quatro reinos: dos animais, das plantas, dos fungos e dos protistas. Embora o Reino Protista devesse reunir todos os seres unicelulares, havia nele subgrupos com representantes multicelulares, o que o tornou um grupo heterogêneo. Também as algas e as cianobactérias, que deveriam integrar o reino das plantas por serem produtores na cadeia alimentar, acabaram no Reino Protista. Além disso, esse Reino abrigava seres conhecidos como protozoários, que são unicelulares porém com núcleo definido, diferentemente das bactérias, que mesmo sendo unicelulares não possuem núcleo definido. Contudo, esse foi um sistema considerado simples e conceitualmente coerente.

Na década de 1960, Whittaker criou o Reino Monera, no qual alocou os seres **procariontes**, seres que entre outras coisas que os caracterizam está o fato de não possuírem núcleo definido por membrana nuclear. Estabeleceu assim cinco reinos para os seres vivos: Monera, Protista, Fungi, Plantae e Animalia. Essa foi uma proposta adotada em muitos livros-textos das Ciências Biológicas e seguida por profissionais influentes, fato que a fez ser apontada como bem sucedida. Segundo um historiador da ciência, isso se deveu a duas razões. Uma delas tem a ver com a natureza da proposta, que incorporou a teoria evolutiva, mesmo sem levar em conta possíveis relações de parentesco entre seus integrantes, incorporou também a teoria celular e os processos

de obtenção de energia. A outra razão tem a ver com o contexto histórico político-social daquela época, que levou à valorização dos princípios organizadores na biologia, ao invés de meras descrições dos organismos.

Na década de 1970, assumindo os cinco reinos de Whittaker e apresentando contribuições relevantes para resolver problemas existentes no reino protista, surgiu Lynn Margulis com sua teoria da **endossimbiogênese sequencial**. Segundo essa teoria, o grupo dos seres que possuem núcleo definido (Eucarionte), sejam eles seres unicelulares ou seres multicelulares, resultariam de uma inovação evolutiva por simbiose de células procariontes, que existiriam independentemente umas das outras. Desse tipo de associação teriam surgido novos seres vivos dotados de núcleo e organelas como mitocôndrias e cloroplastos, integradas ao citoplasma dos parceiros e às suas atividades metabólicas. As primeiras células, maiores do que as bactérias mais simples, possuindo em seus interiores estruturas limitadas por finas membranas, foram encontradas fossilizadas em rochas de aproximadamente 1,5 bilhões de anos atrás. Esses fósseis são considerados evidências do maior evento evolutivo, que deu origem a todos os seres vivos conhecidos hoje por **eucariontes**. Em 1982, incorporando essa teoria a dados de morfologia, biologia do desenvolvimento, bioquímica e biologia molecular, entre outros, Margulis organizou e publicou com Karlene V. Schwartz, um sistema de classificação no livro Cinco Reinos, ao tempo em que avançavam os estudos moleculares e de classificação cladística. Esta forma de classificação baseava-se nas relações filogenéticas, relações hierárquicas de parentesco entre os seres vivos, de acordo com a teoria evolutiva, visando esclarecer sobre as suas respectivas genealogias.

Com a descoberta da existência de novos seres vivos,

os quais foram reunidos em um grupo denominado de Archaea, mais uma dificuldade se somou aos problemas envolvendo os organismos cujas células ou eram desprovidas de núcleos definidos (procariontes) ou possuíam núcleos definidos (eucariontes).

Com críticas tanto à separação entre procarionte e eucarionte, quanto à existência do reino Monera, surgiu no cenário da época Carl Woese, com uma nova proposta classificatória em 1977, baseada fortemente na filogenia molecular, que ganhara espaço no início dos anos de 1970. Após verificar que os eucariontes eram seres muito próximos entre si, e que os procariontes, dadas as suas diferenças, deveriam compor dois grupos, ele decidiu elaborar uma categoria hierarquicamente superior à de Reino, que foi denominada de Domínio. Os seres vivos foram então reunidos em três grandes domínios: Archaea (procariontes de ambientes de condições extremas), Bacteria e Eukarya, este reunindo todos os eucariontes, inclusive os fungos. Mesmo tendo sido um sistema bem recebido, com aceitação do domínio Archaea, os livros-textos das Ciências Biológicas insistiam em tratar os protistas como um grupo à parte, não abandonando a ideia de seres procariontes e eucariontes. Além disso, pesquisadores influentes davam apoio aos cinco reinos, como aconteceu com Lynn Margulis, que também manteve os fungos em um Reino próprio, inclusive em publicação de 2009 — "Kingdoms & Domains" — obra realizada em coautoria com Michael J. Chapman. Nessa publicação, eles criticaram os três domínios de Woese por serem calcados em dados fortemente moleculares, negligenciando aspectos da biologia dos organismos e também por basearem-se em classificação monofilética, isto é, que considera como sendo de um determinado grupo taxonômico, os indivíduos supostamente originários de uma única linhagem evolutiva. Dessa forma, os seres reunidos em um

determinado grupo taxonômico seriam apenas aqueles considerados descendentes de um ancestral comum, critério que implicaria a necessidade de estabelecer inúmeros reinos. Por essas razões, Margulis acreditou que a proposta dos três domínios, para compreensão da diversidade biológica, dos princípios ecológicos e da biologia celular, seria pouco aprazível e esclarecedora, inclusive para professores e estudantes.

Um entrave deveras desafiador

Se tem sido difícil, ao longo da história das Ciências Biológicas, estabelecer um sistema de classificação consensual dos seres vivos para os táxons superiores ou mais inclusivos, abrangentes, que podem reunir maior número de seres de diversos subgrupos. A situação pode ser igualmente ou ainda mais difícil, quando se trata de táxons menos inclusivos.

A questão que a tudo subjaz refere-se ao conceito de espécie biológica. Esse táxon é a unidade fundamental em biologia, imprescindível para o reconhecimento de parentescos entre os seres vivos e para nortear os trabalhos de pesquisadores do mundo todo permitindo a comunicação adequada entre eles sobre os organismos em estudo. Desse conceito dependem inventários sobre diversidade biológica, estudos de conservação, pesquisas teóricas e práticas nas variadas áreas das Ciências Físicas e Biológicas (bioquímica, botânica, zoologia, fisiologia, entomologia, agronomia, medicina, nutrição etc.), que dependem da identificação correta dos organismos em questão. No entanto, trata-se de um conceito tão importante quão difícil de ser consensual, não apenas por nem sempre se cumprir o ideal de objetividade na escolha de critérios,

como também por não atender de forma plena toda a diversidade e complexidade dos seres vivos, em particular no caso dos fungos, dadas as suas peculiaridades biológicas.

Os critérios assumidos para descrever espécies e agrupá-las em taxa superiores em diferentes épocas e por diferentes grupos de pesquisadores foram variáveis ao longo da história da biologia, como já foi apresentado no item anterior. Em parte, devido ao estado do conhecimento e das técnicas utilizadas nas investigações dessa área, e, em parte, devido às exceções detectadas, de organismos que não atendem a certos critérios, devido a peculiaridades do grupo ou da espécie. Daí o surgimento de problemas filosóficos do que seja uma espécie natural e também problemas práticos, quando é obrigatória a identificação de uma espécie, como, por exemplo, no caso em que um médico, diante de uma doença infecciosa, tem de proceder à escolha de um remédio ou tipo de tratamento.

Nas primeiras tentativas de definir espécie foram usados caracteres morfológicos que se podiam visualizar. Lineu foi um marco nessa modalidade de classificação, baseada em certos caracteres morfológicos que, quando comuns a diversos organismos, levava os taxonomistas a reuni-los em uma mesma espécie. Algumas espécies que eram mais parecidas entre si também eram reunidas em sequência de táxons superiores. Dessa forma, havia como ainda há hoje, táxons superiores, que são mais inclusivos e táxons inferiores, que são mais exclusivos. Contudo, é importante destacar que no trabalho de Lineu, antes de meados do século XVIII, não se supunha qualquer relação de parentesco, uma filogenia entre os seres vivos, hipótese que surgiu em meados do século XIX com Darwin e a Teoria da Evolução.

Também foi Lineu, que ao descrever uma espécie o fez em

latim, nominando-a com duas palavras latinas: a primeira iniciando com letra maiúscula e a segunda com letra minúscula. Sendo assim, cada espécie descrita podia servir de referência para estudiosos de todos os cantos do mundo. Teoricamente, organismos de todo o planeta Terra poderiam ser identificados por comparação com tipos (referências), os quais depois de descritos deveriam ser depositados em coleções de museus ou particulares.

Mas, não tardaram a surgir limitações para aplicação desse conceito, como aconteceu, por exemplo, com espécies denominadas de **polimórficas** ou **policromáticas** (poli = muitas, diferentes; mórficas = formas; cromáticas = cor), muito comuns em insetos, ou espécies com **dimorfismo** (di = dois) sexual. Quando se faz coleta sem observar o contexto em que os indivíduos estão, fato comum principalmente a partir do século XVI com viajantes naturalistas, muitos exemplares com padrões de cores diferentes ou com diferentes tamanhos e estruturas são separados de acordo com esses padrões gerais. Foi assim que os muitos exemplares aparentemente diferentes acabaram descritos como espécies distintas e ganharam binômios latinos diferentes, até se descobrir que mesmo tendo formas e cores distintas podiam se acasalar e gerar prole. Fica claro assim, que outras informações complementares eram elucidativas e que apenas dados morfológicos não permitiriam definir quais indivíduos deveriam estar em um mesmo grupo específico.

Outro conceito, talvez o mais conhecido e considerado pelos biólogos, também foi proposto: o conceito biológico de espécie. Segundo ele, esse táxon comportaria apenas aqueles seres aparentados de tal forma, que, vivendo em mesmo ambiente, seriam capazes de cruzar entre si trocando material genético e gerando descendentes férteis. Este conceito é importante, útil em

muitas situações, mas difícil em algumas outras. Um exemplo refere-se a seres dos quais só se conhecem fêmeas, como acontece com a vespinha denominada de *Nemeritis canescens*. Trata-se de um parasitoide, cujas larvas consomem o corpo das larvas da traça da farinha, que quando adulta é uma pequena mariposa de nome científico *Anagasta kunhiella*. Os gametas femininos de *N. canescens* (**óvulos**), não são fertilizados por gametas masculinos (**espermatozóides**), que inexistem. Isso significa, que os ovos se formam mesmo sem que os óvulos sejam fertilizados. Quando isso acontece, a vespinha fêmea procura por larvas hospedeiras de *A. kunhiella*, para deixar sua prole. Utilizando um fino tubo existente na extremidade posterior do seu corpo, o ovipositor, a vespinha introduz um ovo em cada larva hospedeira, do qual eclodirá uma larvinha parasitóide, que crescerá alimentando-se dos tecidos até se transformar em pupa e, em seguida, em vespinha adulta. Todo esse processo de reprodução em que o ovo se forma sem a fertilização e dá origem a um novo indivíduo adulto da espécie, no caso fêmea, é denominado de **partenogênese**.

Alguns micologistas, por exemplo, que querem resolver sobre a identificação de fungos relacionados com as suas atividades práticas (ex. fungos patógenos de plantas), assumem um conceito ecológico de espécie. Segundo esse conceito, uma espécie comportaria indivíduos semelhantes adaptados morfológica e fisiologicamente a um determinado nicho, diferente daqueles ocupados por outros grupos de indivíduos muito próximos. Sendo assim, um determinado fungo associado a determinada espécie de planta e apresentando determinadas características morfofisiológicas adaptadas àquele nicho exclusivo seria identificado como uma espécie. No entanto, uma vez que nesse caso as informações genéticas são ignoradas, o conceito ecológico de espécie tem sido

considerado fraco e inadequado.

Outros pesquisadores são adeptos do conceito filogenético, segundo o qual espécie seria um grupo de indivíduos muito semelhantes entre si, que compartilhariam pelo menos um caractere próprio, contudo derivado de um ancestral comum, o que os caracterizaria como grupo monofilético (mono = um; filético = linhagem evolutiva). Para definir essas semelhanças, estudos atuais têm se baseado em comparações, principalmente de DNA mitocondrial, com resultados que, em certos casos, são equivalentes aos obtidos por meio de métodos da taxonomia clássica, mas que em outros casos são discrepantes deles, o que indica fragilidade conceitual e discussões sobre a pertinência do seu uso. Algo semelhante acontece, quando análises moleculares, de sequências de bases do material genético, indicam a existência de diferentes espécies convivendo em um mesmo habitat, mas que são indistinguíveis do ponto de vista das comparações morfológicas.

No caso dos fungos, ainda é preciso considerar pelo menos uma característica que lhes é peculiar e que dificulta trabalhos de descrição e de identificação: poderem apresentar uma fase sexuada (teleomorfica), quando produz estruturas reprodutivas características, e uma fase assexuada (anamórfica) em que não há esse tipo de estrutura. Essa necessidade advém do fato de que os aspectos morfológicos utilizados para definir uma espécie (conceito morfológico), mesmo refinados com o advento da microscopia eletrônica na década de 1930, baseiam-se sobremaneira em estruturas reprodutivas, que, no caso dos fungos, nem sempre são produzidas em meio de cultura ou são conhecidas, condições essas que inviabilizam a identificação. Dessa forma, assim como aconteceu com outros grupos de seres vivos, as limitações impos-

tas por características dessa natureza (teleomorfismo/anamorfismo), próprias dos fungos, dificultam e até mesmo inviabilizam a caracterização de diversas espécies.

Com os progressos no conhecimento da estrutura do material genético (DNA), a partir de 1953 com Watson e Crick, e de avançadas tecnologias ao final do século XX, estudos moleculares que consideram semelhanças e diferenças de determinadas sequências gênicas ganharam destaque, mesmo estando ainda pouco integrados a características fenotípicas (ex. formas, cores, substâncias) e pouco integradas também a características ecológicas dos fungos. Para alguns estudiosos, conseguir essa integração é condição para ampliar o entendimento da diversidade taxonômica e propriedades metabólicas de comunidades de fungos. Outros pesquisadores que revisaram a diversidade de fungos em 2017 acrescentaram que não houve ainda na biologia a definição de critérios objetivos para caracterização de espécie, de tal forma que não há, até o momento, um só conceito que possa ser aceito por pesquisadores no mundo todo.

Uma trinca para dar o que falar

O primeiro livro a tratar do grupo dos fungos sob a óptica evolucionista, conforme reportaram os autores de uma revisão acerca das relações de parentesco nesse grupo, teria sido publicado em 1866, época em que o mundo vivo, desde Lineu, era dividido apenas em plantas (seres fixos) e animais (seres que se locomovem). Segundo eles, nessa publicação de 1866 o autor teria colocado na base da árvore evolutiva dos fungos, representantes que apresentavam semelhanças com algas e certos fungos aquáticos. Deste gru-

po teriam derivado os fungos pertencentes ao grupo das orelhas de pau e os fungos do grupo conhecido pela produção de antibióticos, como a penincilina. Dezoito anos mais tarde, antes mesmo do advento da microscopia eletrônica, a nova versão desse livro traria outra organização dos fungos com base em caracteres morfológicos, anatômicos e químicos. Nesta versão haveria três grupos, sendo um deles com os representantes possuindo características de algas (ex. quitrídeos, bolores aquáticos), outro reunindo fungos responsáveis por alimentos fermentados e o terceiro com os cogumelos e orelhas de pau. Ao final da década de 1950 é que começaram a ser feitas alterações que acabaram por retirar do grupo dos fungos as espécies aquáticas mais aparentadas das algas (ex. Oomycota). A presença de parede celular composta de quitina, não detectada nos Oomycota, além de uma determinada rota bioquímica para a produção de aminoácido foram critérios definidos posteriormente como sendo próprios dos fungos, que apenas em 1969 foram retirados do reino das plantas por não realizarem fotossíntese.

Após longo e aprofundado estudo, cujas publicações entre 1967 e 1968 ajudaram a compor outra linha interpretativa sobre o processo evolutivo, a da endossimbiogênese, Lynn Margulis e Karlene V. Schwartz apresentaram, em 1982, uma proposta bastante razoável para agrupar os seres vivos, em particular os fungos. A proposta era bastante razoável, porque, conscientes das dificuldades relativas à classificação dos seres vivos, as autoras lançaram mão de critérios abrangentes, claros e coerentes, sem, contudo, perder de vista questões até então não resolvidas, que elas apontaram no livro-texto. Dessa forma, conseguiam aproximar estudantes e professores das questões da diversidade biológica, favorecendo a compreensão. Elas organizaram as espécies conhecidas até então, assim como Whittaker, em cinco grandes grupos, que

compuseram o que se denomina de **Reino**. Dentro de cada Reino, por ordem crescente de parentesco, os seres vivos costumam ser subdivididos em diferentes taxa, como por exemplo, **Filos** (ou Divisões), **Classes**, **Ordens**, **Gêneros** e **Espécies**.

Como visto no item anterior, apesar de espécie ser a unidade principal em biologia, a inexistência de um único e consensual conceito para esse táxon, gerou e ainda gera diversos problemas de ordem teórica e prática, bem como discussões entre pesquisadores que trabalham com grupos específicos pertencentes a diferentes taxa. Isso ocorre, porque, devido a peculiaridades de cada grupo específico, diferentes critérios foram priorizados. Mesmo assim, não é raro constatar-se limitações de tais critérios, o que exige a adoção de informações complementares de natureza bioquímica, do desenvolvimento, habitat ocupado etc., para dar suporte mais vigoroso às interpretações.

Portanto, é compreensível que diferentes propostas tenham sido elaboradas na tentativa de melhor organizar os seres vivos, em particular os fungos, em árvore genealógica, isto é, de acordo com a linha de parentesco, que os autores acreditavam existir entre os respectivos representantes.

O Reino dos Fungos soma hoje pouco mais de 144.000 espécies catalogadas[1]. São elas extremamente variadas quanto aos hábitos de vida, substâncias que produzem e papel que desempenham na Natureza. Variam muito também quanto às estruturas do corpo e formas de reprodução, características estas consideradas relevantes por Margulis e Schwartz, em 1982, para reuni-las em três subgrupos, denominados de Filos ou Divisões, do reino Fungi: 1) **Zygomycota** – grupo representado principalmente por fungos como o bolor de pão, um

1 http://www.speciesfungorum.org/Names/Names.asp. Acesso em: jan. de 2019.

fungo saprofítico; fungos entomopatógenos, causadores de doenças e mortes de insetos; e fungos que estabelecem simbioses com raízes de plantas, originando o que se conhece por micorrizas (Figura 3A); 2) os **Basidiomycota** – neste filo estão orelhas-de-pau; cogumelos; fungos causadores de doenças dos carvões, que atacam flores, raízes e grãos de cereais, como o milho e cevada (Figura 3B e C); uns poucos produtores

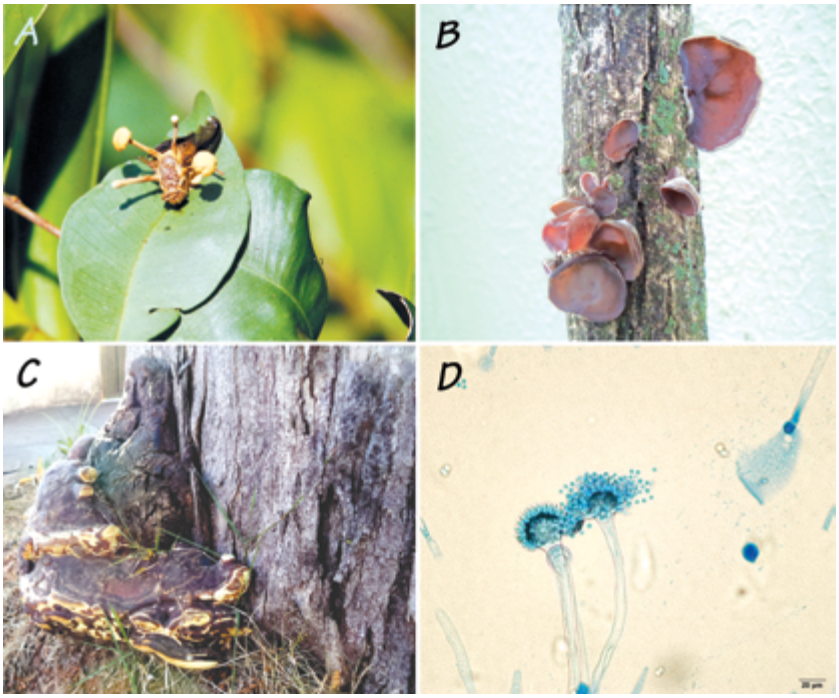

Figura 3: (A) *Cordiceps* sp. (Zygomycota), com corpos de frutificação externamente ao corpo do inseto atacado; (B) Orelha de pau *Auricularia* sp. (Basidiomycota), crescendo em ramo de árvore em decomposição; (C) *Ganoderma* sp. (Basidiomycota), crescendo na base de uma árvore em área urbana; (D) *Aspergillus flavus* (Ascomycota), fungo importante produtor de micotoxinas e também causador de infecções oportunistas em humanos e em outros animais (foto ao microscópio, objetiva 40x).

de alimentos fermentados e 3) os **Ascomycota** – filo composto principalmente por fungos responsáveis pela produção de antibióticos; doenças em animais e em plantas, como a vassoura-de-bruxa;

alimentos fermentados, como pães, vinhos, cervejas; e pela maior parte das associações mutualísticas com cianobactérias ou algas verdes, dando origem aos liquens, alguns dos quais também compostos por fungos Basidiomycota (Figura 3D).

Organizar os fungos nesses três Filos (ou Divisões) não foi tarefa fácil e nem pretendida como definitiva pelas autoras. Elas souberam apontar diversos problemas, certas de que eles seriam resolvidos com contribuições futuras de diferentes áreas, notadamente da biologia molecular. Em parte, porque sabiam que usar características gerais relacionadas não exclusivamente, mas fortemente à aparência (caracteres morfológicos) e modos de vida são importantes, mas insuficientes. De outra parte, porque conhecimentos mais detalhados e integrados sobre a composição molecular das células e do material genético, assim como da biologia das espécies, podem permitir aprofundamentos e esclarecimentos inimagináveis sobre aspectos imprescindíveis à compreensão mais fidedigna do grau de parentesco e organização dos taxa. Quanto a usar a presença ou ausência de caracteres bioquímicos e fisiológicos, marcadores filogenéticos em potencial, é preciso cautela, porque não detectar algum desses caracteres pode não significar a sua ausência no conjunto das informações genéticas, mas, simplesmente, que não está sendo expresso. Outra situação complicada é a dos liquens, porque os fungos que participam das simbioses são, em sua maioria, do filo Ascomycota, mas há alguns Basidiomycota. Além disso, os liquens não são os fungos que os compõem, tampouco as algas que com eles estão associadas, mas, sim, novos organismos. Sendo assim, como classificá-los?

Controvérsias, limitações e dificuldades à parte, Margulis e Schwartz assumiram organizar o Reino Fungi e o fizeram nessa trinca de filos com seus respectivos representantes, mes-

mo cientes dos problemas que à época já provocavam controvérsias. Para elas todas as espécies reunidas no Reino dos fungos possuem células com núcleo delimitado por membrana (eucarionte) e resultado de simbiogênese, paredes celulares compostas de quitina, e reprodução, em certos momentos da vida, por meio de **esporos**, estruturas estas que não possuem movimentos próprios, diferentes dos zoósporos, que elas entendiam serem próprios dos representantes do Reino Proctoctista.

Oito anos depois, Margulis e Michael Chapman reafirmaram a proposta de organizar o conhecimento existente sobre classificação dos seres vivos, com base na história de vida dos organismos, e, tanto quanto possível, levando em conta dados abrangentes e atualizados de genética, fisiologia, química e história fóssil. O resultado desse esforço foi apresentado no livro "Kingdoms and Domains", no qual eles mantiveram os seres vivos organizados em cinco Reinos, mas redefinindo alguns taxa. Particularmente no Reino Fungi duas mudanças mais gerais foram introduzidas. Uma delas foi a que admitiu o filo Lichenes, porque a associação entre um fotobionte (alga ou cianobactéria) e um micobionte (fungo, geralmente Ascomycota ou, menos comumente, Basidiomycota) foi reconhecida como nova unidade, resultante de simbiogênese. A outra mudança foi a incorporação do Filo Glomeromycota, para o qual foi transferida a ordem Glomales, até então integrante do Filo Zygomycota. Essa ordem é composta dos fungos endo e ectomicorrízicos, que estabelecem relações simbióticas com raízes de plantas. Acredita-se que as primeiras plantas, migrantes do ambiente aquático para o ambiente terrestre, se associaram a esses fungos e foram protegidas por eles, tanto da dessecação como da luz solar direta.

Proponentes de outras organizações classificatórias, prin-

cipalmente da área da microbiologia, optaram por diferentes grupos e rearranjo das espécies, assumindo basicamente resultados de pesquisas da biologia molecular. Essa linha de pesquisas têm estimulado muitos estudos e proporcionado resultados principalmente quantitativos e bastante específicos, mas que precisam ser integrados de forma adequada a conhecimentos morfológicos, fisiológicos, de reprodução e desenvolvimento dos organismos. Certos dessa necessidade, diversos pesquisadores têm dispendido esforços para promover essa integração.

Decifrando códigos, reinterpretando parentescos

Nas duas primeiras décadas do século XXI, os conhecimentos sobre a estrutura molecular do ácido desoxiribonucleico (DNA) e ácido ribonucleico (RNA) — materiais genéticos de células, de organelas como ribossomos e mitocôndrias, e de vírus — associados ao avanço das técnicas que permitem conhecer o tipo, o número e a sequência das unidades formadoras dessas estruturas, impulsionaram estudos cujos resultados levaram pesquisadores a reavaliar a natureza e o grau de parentesco de diversos grupos de seres vivos, em particular dos fungos e bactérias. Fundamentados principalmente nesses critérios da estrutura gênica, novas propostas de classificação foram apresentadas. Enquanto alguns seres semelhantes a fungos foram retirados desse grupo, vários microrganismos tidos como enigmáticos foram reunidos aos fungos.[2]

2 *Do teste de paternidade à arte de identificar fungos (disponível e: http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Educacao/Simbio-Logias/do_teste_de_paternidade_arte_identificar_fungos.pdf).*

Por ora, basta saber que foi possível estabelecer, a partir desses estudos, que na estrutura dos respectivos DNA há certa região onde ficam genes codificadores de RNA ribossômicos (rRNA). Os ribossomos são organelas celulares compostas de duas subunidades: a menor (SSU, do inglês "Small Sub Unit") e a maior (LSU, do inglês "Large Sub Unit"). Nesses materiais genéticos dos fungos identificaram-se genes, que ao longo da evolução mantiveram-se conservados, sem marcantes alterações em suas unidades de formação, os nucleotídeos. Por isso, são genes considerados característicos dos fungos, possíveis de serem usados como marcadores filogenéticos. Esses genes foram denominados de 18S, 5.8S e 28S. Entre eles há regiões conhecidas pelo nome de regiões espaçadoras internas (ITS1 e ITS2) — 18S**ITS1**5.8S**ITS2**28S — que, diferentemente das outras três, são regiões não conservadas. Por esta razão, isto é, terem sofrido diversas variações moleculares com o passar do tempo, se prestam a caracterizar e identificar espécies de fungos: aqueles que tiverem a mesma sequência de unidades estruturais (nucleotídeos) serão pertencentes à mesma espécie. Portanto, espécies distintas poderão ser consideradas tanto mais aparentadas, quanto mais semelhanças houver entre a sequência de nucleotídeos de suas regiões ITS1 e ITS2, um tipo de código de barras ou digital de cada espécie. Esse mesmo critério pode ser usado para definir quais espécies, por exemplo, poderão ser reunidas em um mesmo gênero.

Esse é o princípio, mas como geralmente acontece, na prática surgem diversas dificuldades. Elas geram debates e divergências entre pesquisadores, relativos, por exemplo, a:

— Quais genes marcadores definir para diferentes taxa? Quantos deles utilizar? Seriam os mesmos para todos os fungos?

Além disso, apesar das técnicas que permitem realizar sequenciamento de DNA e RNA terem sido muito aprimoradas nos últimos anos e o método ter ganhado popularidade, elas ainda são relativamente dispendiosas, não acessíveis em diversos estudos de campo. Além disso, seus resultados precisam ser cruzados com conhecimentos morfológicos, bioquímicos, de reprodução, desenvolvimento e ecologia dos fungos e contar com bases de dados seguras e mais robustas, para que sejam feitas as comparações e identificações de amostras. Esforços para isso estão sendo feitos, enquanto pesquisadores obtêm e interpretam dados, debatem as ideias e propõem novos e diferentes arranjos para composição de taxa do Reino Fungi.

Até o final do século XX, resultados de estudos baseados nessa abordagem conduziram a novas interpretações sobre caracteres de alguns organismos. Organismos esses, que ou se assemelhavam a fungos, mas eram considerados até então como proctotistas por Margulis e Schwartz, ou haviam sido reunidos em um dos três filos propostos por elas.

Embora ainda não haja consenso entre os estudiosos para adoção de um único sistema de classificação, certas evidências os têm levado a convergir em determinadas interpretações e elaboração de hipóteses, que podem incluir dados de características subcelulares, ainda pouco estudadas do ponto de vista da biologia celular.

Com a ampliação desses estudos da biologia molecular e reinterpretação das relações de parentesco, além dos Filos Zygomycota, Basidiomycota e Ascomycota foram inicialmente propostos os Filo Chytridiomycota — retirado de Proctoctista — e o Filo Glomeromycota — gênero destacado do filo Zygomycota.

Os Chytridiomycota são organismos amplamente espalhados do ártico aos trópicos vivendo em variados habitats. Dentre eles em água doce e salgada, geralmente parasitando algas e plânctons, mas principalmente em ambientes terrestres, como saprófitas em pólen e pele, no solo, em raízes de plantas como parasita etc. Por possuírem parede celular com quitina e certas características bioquímicas próprias dos fungos, houve quem os considerasse verdadeiros fungos desde a década de 1970. Porém, para outros estudiosos, eles deveriam constituir um grupo de transição entre protistas e fungos, uma vez que eram dotados de zoósporos móveis (undulipódeos) em determinada fase de vida, característica essa que verdadeiros fungos não apresentam. Possuir undulipódeos foi uma razão importante para Margulis e seus coautores, em 1982 e 2009, terem mantido os quitrídeos de fora do Reino Fungi, classificando-os no Reino Proctoctista, cujos seres foram assumidos como ancestrais dos fungos, de acordo com os resultados de sequenciamento gênico de rRNA. Outras características da biologia dos quitrídios (ex. detalhes da biologia celular, história de vida etc.) também pareceram suficientes para que eles não fossem considerados verdadeiros fungos por esses autores, não obstante o fato de serem, desde o início do século XX, assumidos como um grupo basal dos fungos, derivado de ancestrais com undulipódeos incolores.

Outra fonte de controvérsias têm sido os representantes do Filo Oomycota, seres que vivem principalmente em ecossistemas de água doce, mas também em ambiente marinho e associados a plantas e animais. Por possuírem estrutura de crescimento filamentosa e se alimentar de matéria em decomposição, já foram classificados como fungos. Porém, inicialmente a existência de zoósporos móveis e paredes celulares constituídas de

celulose e não de quitina, como os fungos, e, posteriormente, a sequência de nucletídeos do seu rRNA, estruturas dos zoósporos e aspectos do ciclo de vida, estudiosos optaram por classificá-los em diferentes reinos como Protoctista, Cromista, Heterokonta (= Straminipila), a depender dos critérios e interpretações adotados. Esse cenário revela-nos quão grande é o desafio de organizar os seres vivos em um sistema classificatório. Basta perceber, nesse caso, que com todos os avanços, o nível taxonômico dos Oomycota ainda não foi bem estabelecido.

Hoje, o número de investigações baseadas em sequenciamento gênico e acompanhadas de interpretações sobre aspectos quantitativos e qualitativos das análises, cresce velozmente e é responsável por ampliar consideravelmente o conhecimento genômico e, consequentemente, a resolução de questões filogenéticas. No entanto, isso não significa que haja condições imediatas de incorporá-los à taxonomia e de forma consistente. Em geral são dados usados em propostas que implicam em aumento do número de filos e de outros táxons, que além de exigirem constantes reorganizações do sistema de classificação, dificultam, de acordo com Margulis, a compreensão da diversidade e grau de parentesco dos seres vivos. Um exemplo pode ser verificado por meio da publicação de 2018 do "Royal Botanic Gardens (Kew)" que apresenta oito filos de fungos — Ascomycota; Basidiomycota; Blastocladiomycota; Zoopagomycota; Mucoromycota; Chytridiomycota; Cryptomycota e Microsporidia — dentre os quais estão Cryptomycota e Microsporidia, reconhecidamente motivo de controvérsias, devido à ausência de quitina na parede das células. No entanto, de acordo com dados genômicos, haveria nesses dois filos genes para a produção de quitina, bem como a presença dela em esporos. Mesmo assim, a aceitação desses filos não é unânime.

Por isso, de acordo com Margulis e Chapmann, fazer uso de características mais básicas capazes de definir os integrantes do Reino Fungi pode favorecer pessoas em geral a compreender a sua posição na árvore da vida e os papeis importantes que desempenham na Natureza. Nessa linha podemos então dizer que a maneira de reprodução mais difundida entre os fungos acontece por meio de esporos, que podem resistir a condições bastante adversas de escassez de água, calor e frio intensos. Alterando a forma de reprodução, ora por meio do desenvolvimento de esporos, ora por meio de conjugação de hifas ou de **fusão de células** geneticamente distintas, eles não apenas sobrevivem a intempéries, como mantêm a diversidade, ao reunir estruturas de composição genética diferentes.

Um exemplo dessas particularidades é o que se passa com um típico fungo Ascomycota durante a reprodução (Figura 4). Depois da germinação de um esporo haploide (n), que possui, portanto, metade do número total de cromossomos da espécie (2n), forma-se o micélio vegetativo. A partir de então e a depender das condições ambientais, o fungo poderá reproduzir-se assexuadamente ou sexuadamente.

A reprodução assexuada acontece quando uma hifa simples ou ramificada se diferencia em células denominadas de conidiogênicas, que produzem as estruturas reprodutivas conhecidas por conidiósporos, que ao se desprenderem do conidióforo poderão germinar e dar origem a uma nova hifa (Figura 4 – à esquerda).

Para que a reprodução sexuada se processe será necessário que duas hifas de tipos sexuais opostos (ex. hifa + e hifa –) se fundam (Figura 4 – à direita). Nesse evento, conhecido por **plasmogamia** (fusão de dois citoplasmas), os núcleos + e – ficam juntos na célula, mas não se fundem, condição conhecida como n + n. Cada

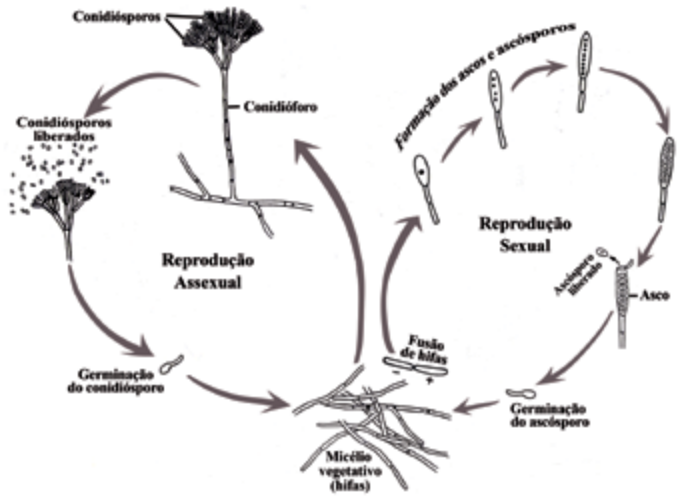

Figura 4: Ciclo de vida de um fungo Ascomycota.

um deles, portador de metade do número de cromossomos da espécie (n), se divide por mitose, isto é, os cromossomos de cada núcleo farão uma cópia de si mesmos. Desse processo resultarão 2 núcleos de cada tipo sexual, portanto, um total de 4 núcleos. Em seguida, dar-se-á a formação do asco e dos ascósporos, após se desenvolverem dois septos na hifa, que produzirão 3 compartimentos. Apenas um deles, o que dará origem a um tipo de saco (asco), ficará com dois núcleos, sendo um de cada tipo sexual. Estes núcleos agora se fundem por meio de um processo denominado de **cariogamia**, resultando um núcleo diploide (2n), isto é, com dois conjuntos de cromossomos semelhantes (homólogos), mas cada um deles contendo informações genéticas diferentes, vindas de cada hifa sexual (+ e –). Na sequência, cada homólogo será duplicado e uma divisão celular denominada de meiose, que normalmente acontece em duas etapas, dará origem a 4 núcleos haploides (n), os quais multiplicar-se-ão por mitose, formando 8 núcleos. Estes, ao serem envolvidos por paredes individuais passarão a ser denominados de ascósporos. Quando o asco se abrir e

os ascósporos forem liberados, estes poderão germinar formando novas hifas (Figura 4 – duas etapas finais do ciclo à direita).

Dentre os fungos verdadeiros, além dos ascósporos podem ser formados diferentes tipos de esporos por meio da reprodução sexuada: os zigósporos, os oósporos e os basidiósporos.

Leveduras, seres diversos e versáteis

Assim como há dificuldades para organizar os Filos do Reino Fungi e definir quais organismos podem ser considerados seus membros, não é menos desafiadora a tarefa de saber quais são os subgrupos denominados de gêneros, dentro dos quais são organizadas as espécies, principalmente quando se trata de seres microscópicos formados de uma só célula, como as leveduras. Consideradas a princípio como seres primitivos por serem unicelulares, as leveduras são hoje assumidas como tendo evoluído de fungos multicelulares dos três filos, principalmente Ascomycota.

Para organizar os subgrupos de gêneros e espécies, as principais características morfológicas e fisiológicas costumam ser de grande importância. Em caso de haver reprodução sexuada, a capacidade de um casal ou de duas células especiais se fundirem originando descendentes semelhantes aos progenitores e também com capacidade de se reproduzir é outra condição básica para tais indivíduos serem considerados da mesma espécie. No entanto, mesmo quando isso acontece, alguns estudiosos reconhecem características particulares de certos indivíduos da espécie, as quais lhes servem para considerá-los pertencendo a uma linhagem diferente ou até mesmo a outra espécie. Essas são razões que nos

ajudam entender as dificuldades encontradas para classificar as leveduras, e, consequentemente, esclarecer aspectos evolutivos e ecológicos delas, que aos poucos estão sendo desvendados.

As leveduras fazem parte principalmente dos fungos Ascomycota e dos Basidiomycota e não produzem **hifas**, embora possam apresentar-se em estruturas alongadas como hifas (**pseudohifas**; pseudo = falsa). A maioria das espécies de hábito saprofítico está reunida em Basidiomycota.

Poucas são as leveduras causadoras de micoses em plantas e em animais. No ser humano, uma espécie que habita normalmente o nosso trato gastrointestinal, urinário, respiratório, regiões cutâneas e circulação sanguínea sem nos causar qualquer problema, pode, em algumas situações, provocar doenças e até levar o doente à morte. Trata-se de *Candida albicans*, que é considerada patogênica quando passa a ser isolada constantemente e em grande quantidade a partir de lesões; nesta situação, se apresenta na forma filamentosa e não na forma globosa, forma esta que é própria do estado considerado não patogênico. Essa passagem de um ser inofensivo (forma globosa) a patogênico (forma lilamentosa), acontece em pessoas que estejam com profundas carências nutricionais, usando antibióticos intravenosos, que tenham o sistema imunológico debilitado, como os portadores da Síndrome da Imunodeficiência (AIDS) e transplantados, ou, ainda, em pessoas que façam uso de drogas ilícitas, como a heroína, sem qualquer tipo de cuidado ao utilizar agulhas perfurantes. Enquanto essa levedura convive com outros microrganismos componentes da nossa microbiota, ela se mantém em um nível populacional que não nos afeta, mas se um antibiótico, por exemplo, destruir parte da nossa microbiota, *C. albicans* proliferará e poderá causar diversas doenças. Por causa dessa característica, esse fungo é

considerado um ser oportunista. Se alguém estiver com o sistema imunológico normal poderá dar conta de destruir células dessa levedura que ultrapassem um nível populacional aceitável pelo seu corpo. Porém, esse não é o caso de pessoas que estão naturalmente muito deprimidas, tampouco passando por tratamentos que causem imunossupressão, isto é, tratamentos que reduzam a ação do sistema imunológico. Outro acontecimento que estimula a ação patogênica de *C. albicans* é o uso prolongado de antibióticos, principalmente de ação ampla, porque eles costumam destruir parte da microbiota do nosso corpo que interage com ela; sem essa microbiota em seu estado normal, *C. albicans* passa a agir de forma prejudicial. Os problemas causados por essa levedura podem ser restritos a uma determinada área do corpo, como é o caso da pele, ou serem generalizados (sistêmicos), manifestando-se nos rins, olhos, cérebro etc.

Das leveduras associadas a processos fermentativos que resultam em alimentos para nós humanos, têm sido destacadas *Saccharomyces cerevisiae*, *Debaryomyces hansenii*, *Yarrowia lipolytica* e *Kluyveromyces marxianus*. Importantes também, mas de menor relevância, são *Galactomyces geotrichum*, *Candida zeylanoides*, *Pichia* spp. e *Kloeckera apiculata*. Elas estão envolvidas na preparação de diversos alimentos e bebidas fermentados, sejam eles artesanais ou industriais, como pães, queijos, embutidos de carne (ex. salames), cidras, vinhos, cervejas, saquê e molho de soja (*shoyu*). Em geral, agem em associação com bactérias e fungos filamentosos. Há situações em que são usadas como colonizadoras pioneiras da matéria-prima, facilitando a ação de outros microrganismos como acontece na produção do queijo gorgonzola, quando *Saccharomyces cerevisae* atua inicialmente e favorece o crescimento posterior do fungo *Penicillium roqueforti*. Dessa for-

ma, certas características físicas (ex. maciez, textura) e qualidades organolépticas desejadas (ex. aroma, paladar) são acrescidas ao produto, que passa a ser mais apreciado e, consequentemente, valorizado, para além das suas propriedades nutricionais.

Essa mesma levedura, *Saccharomyces cerevisae,* é também o agente responsável pelos saborosos pães produzidos pela D. Maria Bellé. Ela faz parte do filo Ascomycota e seu nome pode ser abreviado para *S. cerevisiae*. Trata-se da espécie mais estudada e mais conhecida de levedura. Um desses estudos, que avaliou 651 linhagens dessa espécie, oriundas de 56 localidades de todas as partes do mundo, revelou a existência de diferenças moleculares no material genético dessa levedura, que levaram pesquisadores a organizar as linhagens em subgrupos relacionados a pão, cerveja, vinho e saquê, bem como estabelecer graus de parentesco entre elas. A facilidade de *S. cerevisiae* ser cultivada e manipulada em laboratório e nas residências, como fazem tantas pessoas interessadas na arte culinária, caso da D. Maria Bellé, é o fato dessa espécie se desenvolver tanto em locais oxigenados como desprovidos de oxigênio, bem como de se reproduzir assexuada e sexuadamente, além de resistir a maiores concentrações de álcool do que outros microrganismos. Essas são mais algumas facetas que fazem de *S. cerevisiae* um organismo especial em investigações científicas.

Essa espécie, tão importante na indústria alimentícia interessada em aprimorar processos de produção, que resultem em maior rendimento e qualidade dos produtos, principalmente pães e de bebidas, é também investigada por grupos que estudam os processos artesanais de fermentação. São esses processos os responsáveis pela produção de bebidas e alimentos típicos de povos do mundo todo. Na produção artesanal de pães, por exemplo, há uma grande diversidade de leveduras e bactérias, que conjunta-

mente fazem com que os produtos elaborados tenham características específicas, dependendo do local onde são produzidos.

O grande interesse em investigações sobre *S. cerevisiae* levou pesquisadores a ampliar muito os conhecimentos sobre reprodução celular e variações moleculares, que permitem reinterpretar grupos taxonômicos, aspectos evolutivos, processos bioquímicos que acontecem no interior da célula, aspectos genéticos ligados à estrutura do DNA, o papel de organelas e de substâncias intracelulares etc.

Apesar de tantos e tão sofisticados conhecimentos em nível celular e molecular, nas áreas da ecologia e biologia evolutiva os avanços foram modestos. De um lado, porque se desconhece a origem dessa espécie, que se encontra espalhada pelos vários cantos do mundo e de outro, por ela ter sido sido domesticada há muito tempo. Ao estabelecer estreita relação com essa espécie, utilizando-a em processos de fermentação alcoólica, o ser humano foi responsável pela seleção artificial de suas populações. Por isso, para estudos em ecologia e biologia evolutiva são preferidas espécies silvestres de *Saccharomyces*, como *S. paradoxus*, que é a mais bem estudada delas. Mais recentemente as outras cinco espécies desse gênero — *S. mikatae*, *S. kudriavzevii*, *S. arboricola*, *S. eubayanus*, *S. uvarum* — começaram a receber atenção dos estudiosos e, consequentemente, tem aumentado o número de novos dados, que poderão melhorar a nossa compreensão de aspectos evolutivos desses fungos.

Além de todas essas possibilidades de avanços do conhecimento biológico sobre os fermentos, traços culturais de diferentes povos, relacionados à produção de bebidas e alimentos fermentados a partir de *S. cerevisiae*, têm sido investigados e têm ajudado a

compor a História da Humanidade. Alguns desses traços culturais têm a ver com o uso de alimentos e bebidas em rituais sociais e religiosos; outros se referem à domesticação da levedura, plantas e animais; há ainda aqueles que tratam dos avanços em materiais e técnicas para a produção de utensílios e de máquinas apropriados ao acondicionamento e manipulação das matérias-primas necessárias à produção dos alimentos e bebidas fermentados. Isso tudo sem contar as buscas, mundo afora, pela origem e disseminação das espécies de *Saccharomyces* cultivadas pelo Homem.

Esse leque aberto de possibilidades de estudos, está, em grande parte, relacionado à capacidade de *S. cerevisiae* resistir, quando outros microrganismos já teriam perecido, em ambientes fermentativos nos quais o álcool é produzido rapidamente e atinge elevadas concentrações.

Quem trabalha na produção de vinho ou de pão habituou-se a perceber a presença de *S. cerevisiae* indiretamente, por meio do gás carbônico e do álcool que esse fungo produz enquanto a fermentação acontece. Porém, para observá-lo diretamente, e conhecer sua estrutura celular, é preciso dispor de, pelo menos, um microscópio óptico. Foi isso que fiz após ganhar uma amostra desse fungo da D. Maria Bellé. Preparei inicialmente uma lâmina de vidro usada em microscopia, com esfregaço do líquido de cultivo. Essa película contendo células da levedura ficou exposta ao ar para secar e, em seguida, foi coberta com um corante azul (Giemsa), para permitir melhor visualização. Esse material foi observado ao microscópio óptico e muitas imagens foram fotografadas. Uma delas pode ser apreciada na figura 5A. Por meio dela é possível identificar duas características peculiares às leveduras: a) existência de células isoladas e b) pequenas estruturas globosas, conhecidas por **gemas** ou **brotos**, acopladas ao lado de algumas

células. Isso significa que *S. cerevisiae*, diferente da maioria dos fungos, não produz hifas e se reproduz por **brotamento**, além de fazê-lo por fusão de células contendo materiais genéticos distin-

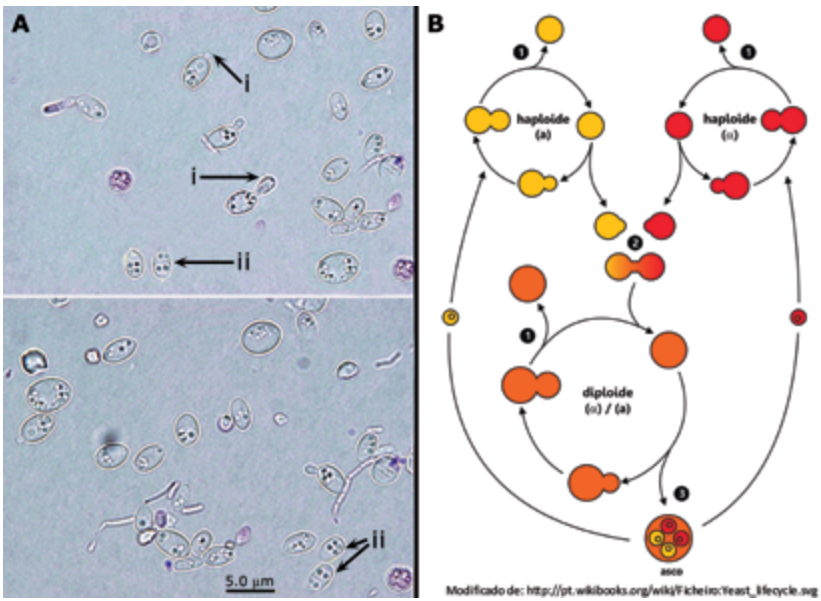

Figura 5: *Saccharomyces cerevisiae*: (A) fotos de células observadas ao microscópio óptico - (i) brotamento - fases de desenvolvimento crescente; (ii) asco com quatro ascósporos; (iii) célula diploide e (B) esquema de representação do ciclo reprodutivo (1) células contendo metade do material hereditário da espécie (n cromossomos - célula haploide), resultado da germinação de esporos de tipos sexuais diferentes ("a" e "α"), reproduzindo-se por brotamento, o que significa que o núcleo da célula filha receberá a mesma quantidade de cromossomos existentes no núcleo da célula mãe, após serem duplicados e, em seguida, divididos em dois lotes iguais (mitose); (2) duas células de tipos sexuais diferentes ("a" e "α") reúnem-se formando uma única, que, após a fusão dos núcleos terá o conjunto diploide (2n) de cromossomos, que poderá produzir célula 'filha' por brotamento, a qual receberá um núcleo com a mesma quantidade de material genético da célula mãe (2n cromossomos) após mitose, ou poderá, para resistir a ambiente pobre em nutriente, passar por outro tipo de divisão celular conhecido por meiose, que é quando, após a duplicação do material hereditário ele é repartido a quatro núcleos que serão haploides (n), denominados de ascósporos (~ esporos), contidos dentro de um saco denominado de asco (3). Cada esporo, estrutura resistente contendo cromossomo do tipo "a" ou "α", poderá germinar após o rompimento do asco, reproduzindo-se por brotamento quando o meio estiver rico em nutrientes (1).

tos, processo considerado como uma forma de reprodução sexuada (Figura 5B).

Conquanto a produção de alimentos e bebidas fermentados remonte há pelo menos 7000 mil anos antes da era cristã, as leveduras só foram observadas após a confecção dos primeiros microscópios, que surgiram em meados do século XVII. Coube a Antoine van Leeuwenhoek, em 1684, apresentar a célula de levedura existente nos preparados de pães e bebidas fermentadas. Mesmo assim, concebê-las como sendo seres vivos e responsáveis pelas características que apresentavam os alimentos e as bebidas fermentados, não foi um acontecimento imediato. Primeiramente, foi necessário aperfeiçoar o microscópio e chegar à constatação de que todos os seres vivos eram compostos por certas partes microscópicas que, embora dotadas de formatos e funções diferentes, constituíam uma unidade estrutural. Isso só aconteceu em meados do século XIX, com o florescimento da **teoria celular**, que foi creditada ao botânico Mathias Jacob Schleiden e ao zoólogo Theodor Schwann, devido as suas publicações de 1938 e 1939, respectivamente, apesar de Dutrochet ter formulado, em 1824, a mesma hipótese e de, em 1809, Lamarck já ter dito que não há corpo com vida se suas partes constituintes não forem tecidos celulares. Com relação à levedura, embora fosse observada em processos de fermentação, ela só foi comprovada como ser **anaeróbico** responsável por eles, com os experimentos desenvolvidos por Louis Pasteur em meados do século XIX.

Desde então, muito já se conhece a respeito de *S. cerevisiae*. Conhecimentos esses que possibilitaram grandes avanços científico-tecnológicos, tanto sobre a bioquímica celular, sequência do DNA e ação de determinados genes, como também sobre processos relacionados à produção de

alimentos fermentados e biocombustíveis.

No entanto, como quase sempre acontece em ciências, descobertas estimulam novos questionamentos que levam o Homem a ampliar e melhorar o conhecimento existente. E nessa empreitada, como vimos, nem mesmo a origem e evolução das leveduras e detalhes da relação que o ser humano estabeleceu com elas, desde os primórdios dos tempos, ficam de fora das investigações. Em razão da curiosidade, muitas vezes da necessidade e imaginação criativa do ser humano, que atualmente podem ser apoiadas em conhecimentos prévios já bem consolidados e tecnologia sofisticada, novas hipóteses são elaboradas e testadas. Quando certas hipóteses resistem aos muitos testes e se mostram coerentes com o arcabouço conceitual existente, elas podem galgar ao patamar de teoria científica, como aconteceu com a teoria atômica. Trata-se, portanto, de uma excelente explicação. Contudo, não nos deve surpreender a existência de outras formas de entendimento e de explicações para os mesmos fatos. Ver com a imaginação é a maneira utilizada pelo ser humano, para compreender a Natureza, apoiado em fatos e testes.

Nos primórdios da humanidade, os conhecimentos mítico, religioso e poético eram os que se destacavam. Mas, a partir do século XVII, o Homem foi se interessando por demonstrações e testes comprobatórios. Não bastavam mais as explicações para os fenômenos, em geral frágeis e dogmáticas, serem aparentemente lógicas ou apresentadas por alguém supostamente sábio.

Com o passar do tempo, a nova maneira de investigação dos fenômenos da Natureza, que buscava testar as ideias e discutir os resultados, permitiu-nos muitos avanços, que pos-

sibilitaram, por exemplo, melhorias na condição de vida do Homem. Contudo, por mais confiável que seja uma explicação denominada de científica, não a devemos assumir como verdade absoluta e achar, por isso, que se trata de um fato. Explicações científicas continuam sendo hipóteses e, como tal, devem ser sempre questionadas, testadas e aprimoradas ou abandonadas em favor de novas e melhores explicações, toda vez que não passarem nos testes.

Alimentos fermentados na história da humanidade

D. Maria Bellé, personagem que deu motivação para a construção desta história, não estudou biologia, mas aprendeu que para conseguir fazer com que o pão cresça, fique macio e saboroso é preciso, entre outras coisas, cultivar o fermento oferecendo-lhe alimento, que deve ser renovado constantemente. Desse alimento, as leveduras e bactérias que compõem o fermento retirarão os nutrientes de que necessitam para viver e reproduzir. Práticas comuns como essa da D. Maria Bellé, de manter o fermento e produzir os pães para a família em estreita relação com o desejo de sobrevivência e bem-estar de grupos humanos, costumam ser transmitidas de geração em geração, e, assim, ao mesmo tempo em que são perpetuadas, tornam-se passíveis de alterações e aprimoramento. Portanto, é possível que práticas culturais do presente tenham tido versões equivalentes em civilizações antigas.

Muitas questões aguçam a curiosidade humana sobre as origens e evolução dessa interação entre o ser humano com diversas espécies de leveduras e bactérias, que são responsáveis por inúmeros tipos de alimentos fermentados, tanto de origem

vegetal, como animal. Dentre as questões que costumamos levantar, quando nos deparamos com fermentados dos mais diversos tipos, estão:

— Quais teriam sido, por exemplo, as primeiras civilizações que utilizaram produtos fermentados como pães e bebidas?

— Em que tempo e condições essas práticas teriam acontecido?

— Quais eram as relações entre os fermentados e as práticas de obtenção ou produção das matérias-primas vegetais e animais que as sustentavam?

— Que acontecimentos diários, percepções e experiências as pessoas teriam tido com processos de fermentação e seus produtos, ao ponto de incorporá-los de alguma forma aos seus costumes?

Em busca de respostas, a essas e a outras questões sobre esse assunto, é que entram em cena os trabalhos dos arqueólogos e colaboradores de áreas variadas do conhecimento como historiadores, ecólogos, geólogos e geneticistas, entre outros. Nos escombros de povos que viveram em tempos passados, inscrições, objetos e fósseis, os especialistas buscam por informações. Informações que são verdadeiras peças do grande e complexo quebra-cabeça que é a História da Humanidade. Mas, para desvendar os mistérios e propor explicações convincentes sobre certos fenômenos perceptíveis, mas inacessíveis para nós que não fizemos parte daquele cenário, é preciso aliar, às pistas e conhecimentos científicos relacionados ao assunto, porções de sagacidade e de criatividade. Os estudiosos que contribuem para a compreensão dessa história têm a vantagem de dispor atualmente de uma série de conhecimentos bem organizados, assim como de equipamentos sofisticados que ampliam as capacidades naturais de percepção, análise e interpretação. Além disso, toda vez que investigam instrumentos, técnicas e rituais de

povos muito antigos, eles não deixam de levar em conta, sempre que possível, os equivalentes atuais de componentes culturais, como parâmetros de comparação.

Portanto, investigar e compreender fenômenos relacionados a civilizações do passado pode até mesmo ser um grande desafio, mas não pode ser encarado como tarefa impossível. Podemos, pois, intentar compreender como aconteciam as práticas de determinada época, e como o rico e vasto conhecimento tradicional foi sendo gerado. Práticas que contribuíram para o desenvolvimento de produtos fermentados como o pão, diversas bebidas, conservas e embutidos. São produtos que fazem parte e provavelmente foram produzidos de maneira independente por diferentes culturas, de povos estabelecidos muito distantes uns dos outros e supostamente antes de terem tido condições de se conhecerem. Essa é uma situação semelhante ao que aconteceu com a agricultura, que surgiu aproximadamente ao mesmo tempo nos diversos continentes. Resulta daí que cada fermentado revela sua origem dependente das práticas humanas, mas, em grande medida, de contributos ambientais próprios de cada região geográfica do planeta, onde se estabeleceram as respectivas populações humanas. Regiões com condições climáticas proporcionando maiores ou menores temperaturas, quantidades distintas de umidade relativa do ar e horas de luz solar por dia, bem como espécies endêmicas de vegetais, animais e microrganismos, que somados ao desenvolvimento de utensílios e procedimentos específicos caracterizam os respectivos fermentados.

No mais, parte-se do viés de que descobertas envolvendo fermentação de produtos vegetais e animais teriam ocorrido ao acaso, acidentalmente. E é provável que tenha sido assim mesmo, porque fermentação é um processo natural e que

acontece ainda hoje de maneira espontânea, independente de interferência humana. Uma vez que processos fermentativos podem ser observados a partir de alterações progressivas nos substratos ao longo do tempo, e em sendo o ser humano observador, curioso e experimentador por natureza, imagina-se que ele não tenha tardado a manipular e tirar algum proveito das novidades detectadas. Às vezes é mais fácil construir possíveis caminhos para as descobertas de como povos antigos desenvolveram seus produtos fermentados, com base em práticas atuais que conhecemos. Noutras, mesmo sem abrir mão de práticas conhecidas, talvez precisemos de investigações científicas mais sofisticadas, que acrescentem novos e consistentes dados para nos ajudar a elucidar os fatos. Mas, mesmo que incompletas, em alguns aspectos mais ou menos especulativas, as explicações e muitos fatos históricos sobre fermentados em civilizações datadas de mais de 4000 a.C. sustentam certas etapas da intensa relação estabelecida entre o ser humano e o mundo microbiano das fermentações. Mundo esse que transformou muitos vegetais e animais em alimentos mais duradouros, saborosos e nutritivos.

Entre a nobreza e a vilania: Um alimento dos deuses!

Esta singular e interessante história teve como palco o Continente Americano, na região tropical quente e úmida do noroeste da América do Sul e na Mesoamérica (centro-sul do México Guatemala e Belize). Ela se passou muito longe dos locais atribuídos às primeiras civilizações humanas, onde estudos arqueológicos pioneiros e essenciais revelaram os mais antigos registros de

produtos fermentados da história.

No noroeste da América do Sul, na Amazônia, evoluiu um gênero botânico do qual derivaram 22 espécies. Denominado por Lineu em 1753 de *Theobroma*, termo de origem grega que significa alimento de Deus (Theo = Deus; broma = alimento), esse gênero abriga duas espécies que se destacam ainda hoje entre povos da Amazônia: *Theobroma grandiflorum* e *T. cacao* (Figura 6), conhecidas principalmente pelo uso na culinária regional e também pelo emprego na indústria alimentícia e indústria de cosméticos. Enquanto *T. grandiflorum*, o cupuaçu da região norte do Brasil, é a espécie mais conhecida pelo uso da polpa que envolve as sementes, rendendo refresco, doces, sorvetes e geleias muito apreciados, o *T. cacao* é o inverso, destacando-se principalmente por dar origem ao cacau, alimento de ampla aceitação mundial, que a maioria das pessoas sequer imagina ter origem na fermentação.

Embora a composição genética das variedades e as condições do ambiente onde cresce o cacaueiro contribuam para definir as qualidades do cacau produzido, é a fermentação que desempenha papel fundamental na obtenção das mais finas e desejáveis qualidades, relativas a sabor, aroma e cor. Durante a fermentação são obtidas as amêndoas, estruturas compostas dos

Figura 6: Frutos de *Theobroma grandiflorum* (à esquerda) e de *Theobroma cacao* (à direita).

cotilédones das sementes desprovidas do embrião (Figura 7), que é morto durante a fase final desse processo. Na sequência as amêndoas ainda precisam ser secas, para depois serem processadas. Esta etapa inicia-se com a torra (importante para definição de aroma, sabor e cor), que é seguida da trituração e demais procedimentos relacionados à indústria do cacau.

Os conhecimentos, existentes até recentemente, levavam a acreditar que os povos sul-americanos não cultivavam o cacaueiro e nem sabiam fermentar as suas sementes. Acreditava-se que as plantas, que cresciam normalmente na floresta em condições de sombreamento, eram procuradas por eles, caçadores-coletores, para obtenção dos frutos, que lhes serviam de alimento. Esses fru-

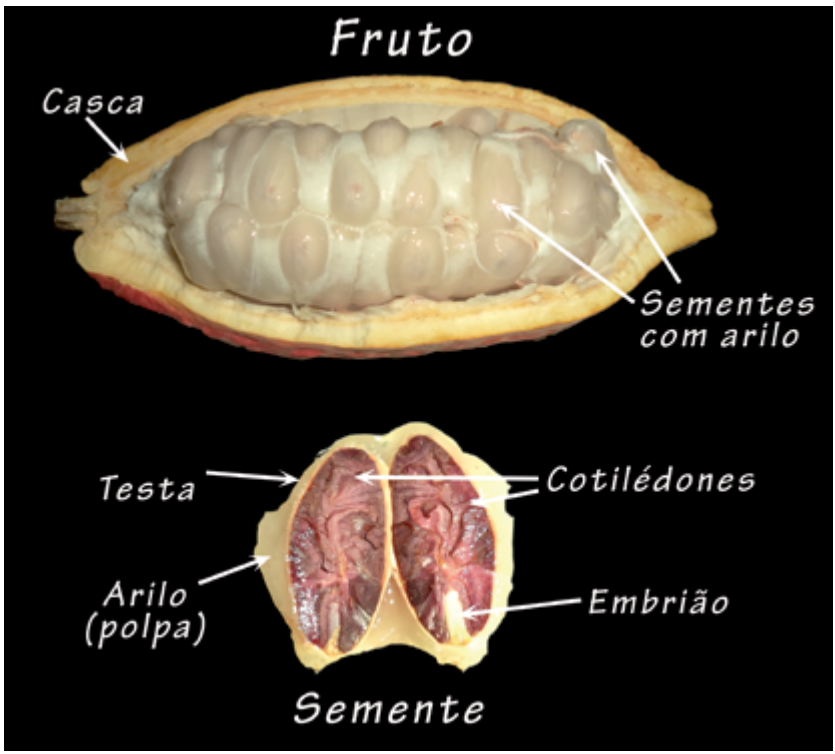

Figura 7: Fruto de cacau evidenciando as sementes (acima), com o arilo branco (polpa) e semente dissecada (abaixo), evidenciando estruturas internas e arilo.

tos, que se desenvolvem presos diretamente aos caules das árvores, têm a porção externa dura, espessa e recoberta por um tecido de cor verde na fase imatura e de cor amarela ou avermelhada quando amadurece (Figura 7). Como acontece até hoje, depois de quebrado esse invólucro, as sementes eram expostas e a polpa adocicada que as recobre podia ser consumida pelos nativos ao natural ou ser usada para fazer refresco e bebida alcoólica.

Pensava-se que depois de dispersar até a Mesoamérica, o *Theobroma cacao* teria passado a ser cultivado e as suas sementes fermentadas, conforme indicaram estudos da civilização Olmeca, cultura pré-colombiana que lá se estabeleceu entre os séculos XVIII e X a.C (1800 a.C. a 1000 a.C), precedendo os Maias e Astecas. Esses povos, além de usarem a polpa branca à semelhança dos amazônidas, teriam fermentado as sementes envolvidas por ela e produzido o cacau. Mais duradouro do que as sementes, o cacau costumava ser triturado por eles e misturado à água, resultando em uma bebida amarga, que na língua dos Astecas era "chocolatl", usada em ocasiões especiais e geralmente por elites. E não parava por aí, a importância das sementes de cacau para aquelas civilizações da Mesoamérica. Segundo Shophie Dobzhansky Coe, que foi arqueóloga, linguista e grande estudiosa da história do chocolate, as sementes também lhes serviam como moeda de troca para obtenção de outros produtos comestíveis e até mesmo para a compra de escravos. É provável que, em reconhecimento a esse valor monetário das sementes, a espécie tenha primeiramente recebido o nome latino de *Amygdalae pecuniariae*, que significa amêndoa de dinheiro, antes de Lineu rebatizá-la como *Theobroma cacao*.

Os exploradores europeus, que chegaram às civilizações da Mesoamérica no século XVI d. C, estranharam o sabor da

bebida feita com amêndoas de cacau trituradas, mas habituaram-se a ele e acabaram sendo responsáveis pela divulgação do produtona Europa.

Até hoje não se sabe ao certo a maneira e os agentes responsáveis pela dispersão do cacaueiro à Mesoamérica, saído do seu centro de origem no alto Amazonas, onde está a maior diversidade genética da espécie. O mesmo não acontece com a introdução mais recente do *T. cacao* em outros continentes, que teria começado pela Guiné, levado do Brasil por portugueses; da Guiné a espécie foi para outros países da África, Ásia e Oceania.

A história contada a partir dos estudos da cultura Olmeca, que atribuiu às civilizações da Mesoamérica a primazia na domesticação do cacaueiro e fermentação das sementes por volta de 4000 anos atrás, foi colocada em xeque, quando em 2018 novos achados arqueológicos foram publicados sobre a cultura Mayo-Chinchipe, que habitou as terras altas ao sudeste do que hoje é o Equador, entre 5500 a.C a 1700 a.C. Esses achados revelaram, entre outras coisas, utensílios de aproximadamente 5300 anos atrás, que continham no interior resíduos de grãos de amido de cacau e de teobromina, substância esta que faz parte das sementes maduras do *T. cacao*. Analisando o DNA dos resíduos existentes nesses recipientes, os pesquisadores verificaram que ele é de cacaueiro e se assemelha ao DNA dos cacaueiros atuais. De acordo com tais dados os estudiosos não têm dúvidas de que são, por ora, os achados mais antigos evidenciando a domesticação e uso do cacau. É interessante notar, que resultados de alguns outros estudos arqueológicos realizados e em curso, na região Amazônica e região Sul do Brasil, têm igualmente sugerido que os povos nativos pré-colombianos manipulavam as florestas plantando árvores de in-

teresse alimentar e medicinal, como a araucária, por exemplo. A visão de que os povos mais antigos da América do Sul eram apenas caçadores-coletores, parece ultrapassada.

Atualmente, sabemos que o cacau, presente no chocolate em barras ou no chocolate em pó que se mistura ao leite e é usado também para produzir doces como bolachas, bolos e pudins, tem durabilidade maior do que as sementes que lhe deram origem. Alem disso, ele agregou tantos valores que atraiu o interesse de profissionais de diferentes áreas, principalmente ligados à saúde humana, à produção agrícola e biotecnológica. Os primeiros, da área da saúde, interessam-se por pesquisas que comprovem evidências de supostos benefícios aos seres humanos, relativos a funções cardiovasculares, gastrointestinais, processos inflamatórios, estimulação do sistema nervoso central, prevenção e tratamento de câncer, diabetes, redução de cárie dentária e ação como prebiótico e probiótico. Já os profissionais voltados à produção e biotecnologia, interessados em grande medida no valor de mercado, empenhando-se em garantir a boa qualidade do cacau e seus derivados, assim como vigor e alta produtividade do cacaueiro.

Contudo, antes dos resultados científicos atestarem o valor médico e nutricional do cacau, ele esteve sempre na berlinda. Conta-nos a história que usado pela elite após aportar na Espanha cristã no século XVI e considerado estimulante e afrodisíaco, um papa católico teria cogitado proibir o seu uso, mas que desistira após provar da bebida e considerá-la de sabor tão desagradável que seu uso não teria chance de vingar e de conquistar a população em geral. Mas, essa previsão de fato existiu, ela não se confirmou. Em parte, devido aos pioneiros na divulgação de receitas que tornavam a bebida mais palatável ao gosto do europeu, ao acrescentar-lhe açúcar e especiarias, e, em parte,

devido às avaliações favoráveis e recomendações de médicos da época, ainda que sob a contestação de alguns outros. Em meados do século XVII registrou-se a abertura de uma casa de chocolate em Londres e até o XVIII houve muito interesse e investigações sobre os supostos benefícios do uso do cacau, cuja manteiga foi recomendada para tratamento de hemorroida.

No século XX, já misturado ao açúcar refinado, leite em pó e sabendo-se ter certo teor de gorduras saturadas, o chocolate se viu na berlinda. Foi responsabilizado por problemas cardíacos, de obesidade e pelo surgimento de cárie dentária. Embora saibamos que o açúcar, principalmente o açúcar branco refinado, seja nocivo à saúde devido aos produtos químicos usados no processamento de branqueamento, no caso da obesidade e da cárie dentária ele não é, por si só, o vilão. Por se tratar de um carboidrato de alto valor energético, poderá resultar em obesidade se o seu consumo for excessivo. Já a cárie dentária surgirá, quando não houver a devida higienização bucal após seu consumo.

As pesquisas científicas sobre os efeitos benéficos do cacau avançaram e hoje os seus resultados, clínicos e bioquímicos, apontam não apenas para a existência de benefícios à saúde, como também que esses benefícios se devem a certos compostos existentes nos cotilédones das sementes. Em células especiais dessas estruturas, a planta armazena em bolsas microscópicas denominadas vacúolos, que existem no citoplasma, dois tipos de produtos: em vacúolos maiores ficam substâncias de um grupo denominado de **metabólitos secundários** e em vacúolos menores proteínas, amido e as gorduras, das quais se obtém a manteiga de cacau.

Os metabólitos secundários têm-se revelado importantes na comunicação e proteção das plantas. Enquanto alguns

deles agem contra agentes patogênicos (ex. fungos, bactérias, vírus) e herbívoros (ex. insetos, vertebrados), inibindo a ação ou funcionando como repelentes, há aqueles que podem atrair espécies úteis (ex. polinizadores, dispersores de sementes) e proteger contra raios ultravioletas. Não podemos nos esquecer de que o ser humano depende de vegetais para se alimentar, portanto, também está sujeito à ação tóxica de diversas dessas substâncias. Por isso, em detrimento das necessidades das plantas, falou mais alto ao Homem o seu próprio interesse, que o levou a selecionar variedades inofensivas delas, para plantar em monoculturas. Essas plantas, desprovidas de diversidade genética, desprovidas de suas defesas naturais e reunidas em monoculturas, não só passaram a ser localizadas com mais facilidade por herbívoros e atingidas por patógenos trazidos por eles ou pelo vento, como passaram a ser consumidas sem oferecer grandes riscos. Não faltam exemplos de lavouras que foram dizimadas ou sofreram grande perda depois disso. É possível citar o ataque do fungo *Phytophthora infestans* a plantações de batata na Irlanda, que levou a população à fome entre 1845 e 1849. Outros dois exemplos são do Brasil: a pimenta-do-reino em Tomé-Açú e a mandioca no Arquipélago de Marajó. O primeiro caso aconteceu na década de 1960, quando a pimenta-do-reino, introduzida em 1933 com o intuito de suprir os mercados da Ásia, teve sua cultura dizimada pelo fungo *Fusarium solani*, que ataca as raízes das plantas. O segundo exemplo ocorreu em maio de 2017, quando nuvens de gafanhotos atacaram plantações de mandioca, provocando enormes prejuízos econômicos aos marajoaras.

Nesses exemplos e em outras situações semelhantes, herbívoros e patógenos, que também são consumidores naturais das plantas, estavam sendo tão favorecidos quanto os humanos, que,

injustamente, passam a denominá-los de pragas. Na sequência, sentindo-se lesado em seus interesses, o ser humano buscou formas de não repartir com os demais herbívoros e com os microrganismos os alimentos plantados. Dentre diversas formas possíveis de fazê-lo, uma conquistou agricultores do mundo todo, pela suposta eficiência, rapidez e possibilidade de ser usada em extensas áreas de monoculturas, que foi o uso de venenos químicos produzidos em indústrias. De novo a ambiguidade: o que mata insetos e patógenos adoece e mata também seres humanos, mudando apenas a concentração necessária do produto e o tempo para apresentação de sintomas e morte. Alguns agricultores aprenderam com os erros e passaram a imitar a Natureza, que levou milhares de anos desenvolvendo sistemas nos quais a diversidade de espécies e a partilha são a base. Nesses ambientes, herbívoros e patógenos não costumam dizimar todos os indivíduos das espécies de plantas que eles consomem. Uma razão é que elas demoram mais a ser encontradas, já que estão espalhadas e protegidas em meio às demais existentes na área. A outra razão é que os herbívoros e patógenos podem ser alvo de seus próprios inimigos naturais (ex. predadores, parasitas, patógenos), que acabam por reduzir o tamanho das suas populações. É preciso lembrar também que predadores e parasitoides são, em geral, mais sensíveis do que os herbívoros e patógenos que atacam as plantações, por isso, se houver aplicação de agrotóxicos é quase certo que eles morrerão antes de suas presas e hospedeiros. Além disso, quando há diversidade de espécies, se algum ataque à lavoura acontecer, ele ficará restrito a uma área reduzida, evitando perda total, e permitindo ações mais simples e localizadas de erradicação do problema. Foi o que aprenderam os agricultores da colônia de descendentes de japoneses de Tomé-Açú, principalmente depois da experiência ruim

que tiveram com a pimenta do reino na década de 1960.

Mas, apesar do histórico de milhares de mortes e sofrimento de agricultores devido aos venenos químicos e do alto custo dos insumos, não é fácil convencer produtores rurais a abandonar esse tipo de prática nefasta, que acreditam eles ser a única maneira eficiente e rápida de matar patógenos e herbívoros, garantindo produtividade e lucro. São produtores que ignoram e não se dispõem a conhecer e dar o tempo necessário para implantar e atestar a eficiência de novas formas de manejo; métodos alternativos menos custosos, não poluentes, mais seguros e saudáveis de cultivo (ex. sistemas agroflorestais, hortas e frutíferas consorciadas com outras determinadas culturas e plantas ruderais, uso de inimigos naturais, plantio direto etc.). Pessoas insensatas, que insistem em agir contra a Natureza, de forma que afetam negativamente todos os seres vivos que participam da rede de interações nos diversos níveis tróficos. Nós mesmos, que ficamos à distância e apenas consumimos os produtos resultantes desse tipo de agricultura, vamos aos poucos nos contaminando e desenvolvendo doenças como câncer.

Outra faceta da história entre humanos e plantas começou provavelmente bem cedo, quando nossos ancestrais se deram conta de que certas plantas podiam ser usadas, por exemplo, como anti-inflamatório, estimulante e analgésico. Hoje se sabe que essas ações das plantas se devem também a metabólitos secundários, muitos dos quais já foram isolados e agora integram uma série de medicamentos usados, por exemplo, contra dor (morfina), no combate ao câncer (ex. taxol), insuficiência cardíaca (glicosídeos) etc.

Com relação aos metabólitos secundários, produzidos e

armazenados nos cotilédones das sementes do cacau, uma classificação foi elaborada levando em consideração as suas respectivas estruturas químicas. Sendo assim, eles podem pertencer ao grupo dos fenóis (ex. flavonoides, taninos) ou ao grupo dos pseudoalcaloides (ex. teobromina, cafeína, teofilina). Segundo as pesquisas já realizadas são eles os responsáveis por diversos dos benefícios à saúde e bem-estar humanos, reduzindo as chances de determinadas doenças se desenvolverem, ou atenuando-as e até mesmo eliminando-as. Os flavonoides, com destaque para as catequinas e epicatequinas, podem desempenhar papeis relevantes como antioxidantes, como protetores cardiovasculares e antitumorais. Resultados de estudos clínicos e laboratoriais já apontaram, por exemplo: prevenção de problemas resultantes de reações oxidativas, isto é, impedindo que radicais livres reajam com estruturas celulares provocando danos; alterações benéficas nos níveis de colesterol, com redução do LDL (do inglês "Low Density Lipotrotein") e aumento do HDL (do inglês "High Density Lipotrotein"); depressão de doenças inflamatórias; aumento da função do endotélio cardiovascular (camada de células da parede dos vasos sanguíneos); redução da agregação excessiva de plaquetas no sangue evitando assim a formação de trombos, mas mantendo normal a função anti-hemorrágica que as plaquetas têm ao promover reparos em regiões lesadas dos vasos; ação no intestino favorecendo espécies benéficas da microbiota, como lactobacilos, em detrimento de espécies prejudiciais; inibindo a ação de radicais livres sobre lipídeos de membranas celulares, mantendo dessa forma a produção de moléculas lipídicas ou derivadas de lipídios que regulam a resposta imune.

Quanto à manteiga de cacau, produto que durante certo tempo foi considerado vilão por se encontrar em quantidade ex-

pressiva nas amêndoas (> 50%) e por ser rica em gorduras saturadas, hoje é vista com outros olhos. Para entender a razão dessa mudança é preciso lembrar que as gorduras saturadas, que são aquelas nas quais os átomos de carbono ligam-se entre si e aos 3 hidrogênios por meio de ligações químicas simples, são insolúveis no sangue e podem formar placas. Estas aderem às paredes dos vasos, reduzindo o fluxo sanguíneo e a elasticidade das artérias, causando hipertensão. No entanto, com o cacau esses problemas não acontecem, apesar de toda a gordura saturada que possui. A razão dessa peculiaridade, de acordo com os estudos científficos realizados, é que 1/3 dessa gordura é ácido esteárico, um tipo de gordura saturada responsável pelo comportamento particular do cacau, que resulta em resposta colesterolêmica neutra em humanos. Isso quer dizer que a gordura saturada da manteiga de cacau não promove alterações prejudiciais nos níveis de colesterol (HDL e LDL) no sangue, como acontece com outras gorduras saturadas, que favorecem o aumento do LDL. Os resultados dos estudos realizados indicaram que mais de 90% do que é ingerido do ácido esteárico é absorvido e que, no fígado, ele é rapidamente convertido em ácido oleico, que é monoinsaturado.

Estudos clínicos, fisiológicos e bioquímicos continuam a ser desenvolvidos para que se possa compreender mais apropriadamente a forma como os diferentes compostos presentes no cacau são absorvidos, como atuam no metabolismo do corpo, como são eliminados e também como reagem com outros componentes que fazem parte da dieta humana. Só assim poder-se-á prescrever as quantidades e condições adequadas de consumo, de forma a obter-se os melhores resultados. Um exemplo ilustrativo refere-se a uma substância existente no cacau, denominada de ácido oxálico. Sabe-se que ela tende a se ligar ao cálcio impedindo-o de

ser aproveitado pelo corpo, na dinâmica de renovação de ossos e dentes. Por isso, tem-se desaconselhado consumir cacau e seus derivados, em determinadas concentrações, junto com alimentos ricos em cálcio, como o leite.

Não bastassem todas as propriedades que valorizam o cacau, ainda é preciso considerar a sensação agradável, prazerosa que ele provoca. O que talvez as pessoas em geral não saibam é que essa sensação de prazer nos é dada não apenas devido às qualidades de sabor, odor e textura do cacau, mas também pela ação das metaxantinas (pseudoalcalóides), principalmente a teobromina e em menor quantidade a cafeína que há nele. Por serem substâncias estimulantes do sistema nervoso central, elas aumentam a nossa disposição e sensação de bem-estar.

Essas são as características do cacau que faz do chocolate, um dos produtos mais consumidos hoje em dia pelas pessoas, tendo sido transformado em mercadoria de grande valor comercial no mercado mundial. Além do mais, cresce o número daqueles que passam a se interessar por produtos melhores, isto é, com maior concentração de cacau e um cacau de qualidade (ex. nibs – cacau puro em pedaços de amêndoas; chocolate escuro – mais cacau e menos ingredientes complementares). Por isso, o cacaueiro tem merecido atenção especial durante a germinação das sementes, seleção de mudas, plantio, manejo de culturas e colheita, e nas etapas de processamento das amêndoas. Sabe-se que as qualidades sensoriais e quantidade de fenóis das quais elas dependem, diferem entre as variedades de *Theobroma cacao* utilizadas. Por isso, para obter-se o melhor de cada variedade é preciso dispensar-lhe cuidados especiais e específicos, principalmente no processo de fermentação e torrefação de suas sementes. Esses cuidados são necessários para que a redução dos

fenóis, que normalmente ocorre nessas etapas devido às grandes variações de temperatura e pH (acidez/alcalinidade), seja a menor possível, a fim de que se preservem e definam aroma, sabor e cor refinados, que valorizam o produto.

O processo de fermentação é variável nas suas diversas etapas a depender do lugar e maneiras como certos procedimentos são realizados. Porém, de maneira geral dura de 3 a 7 dias e inicia-se na lavoura, quando os frutos colhidos são quebrados e as sementes expostas são contaminadas com microrganismos do ambiente: fungos (leveduras e fungos filamentosos) e bactérias (lácticas, acéticas, bacilos). Essas sementes, geralmente colocadas em sacos de plástico limpos, são transportadas para caixas de fermentação, que possuem furos na base, por onde escoará o líquido originado. Compactadas nessas caixas, elas propiciam a formação de ambiente com pouco oxigênio (anaeróbico), no qual acontece a fermentação alcoólica, nos dois primeiros dias, realizada por muitas leveduras, que transformam os açúcares da polpa (sacarose e menor quantidade de glicose e frutose) em etanol e gás carbônico. Os fermentos mais comuns encontrados em recipientes de fermentação no Brasil são do gênero *Candida*, *Pichia* e *Saccharomyces*, com destaque para *S. cerevisae*, de crescimento rápido e bastante resistente ao etanol.

O líquido escoado pelos furos da base das caixas de fermentação, devido às transformações que ocorrem na polpa, permite a entrada de um pouco de oxigênio no meio. Com isso a população das bactérias lácteas vai aumentando, assim como o calor, até que a produção de ácido lático atinge o pico por volta do segundo dia; por não ser volátil ele mantém o meio ácido. Com o ambiente ácido, leveduras como *Kluyveromyces marxianus* agem sobre a pectina da polpa, um polí-

mero que com a celulose e a hemicelulose são responsáveis pela resistência das células vegetais. A quebra das moléculas de pectina faz crescer o volume de líquido, que é escoado pelos furos das caixas de fermentação.

Essas alterações que elevam a concentração alcoólica, o nível de oxigênio, a temperatura (30-35° C) e o pH (consumo do ácido cítrico) favorecem as bactérias acéticas, que transformam o etanol em ácido acético. Entre o terceiro e quarto dias ele atinge o pico e ao penetrar nas sementes mata o embrião que há em cada uma delas (Figura 7). Esse processo gera muito calor, que eleva a temperatura até por volta de 50° C. Nessas condições, proteases (enzimas) quebram certas proteínas (globulinas) em cadeias menores denominadas de peptídeos e em unidades estruturais de aminoácidos, que são precursores do sabor, aroma e até a cor do cacau.

O passo seguinte é o de secagem, quando o constante revolvimento das amêndoas livra-as de boa parte do volátil ácido acético, e, consequentemente, de sabores amargos e adstringentes, que poderiam se formar. Depois disso, as amêndoas podem ser armazenadas por mais de um ano, antes de serem torradas.

É na torrefação das amêndoas, que elas perdem a testa e acontece a reação de Maillard (= glicação quando acontece em seres vivos).

Para que essa reação aconteça é preciso que o alimento, seja ele de origem vegetal ou animal, tenha aminoácidos (monômeros de proteínas) e açúcares redutores (ex. glicose, maltose, lactose), que são doadores de elétrons. É preciso que também haja água, ambiente alcalino, e que todos esses ingredientes sejam submetidos a temperaturas bastante elevadas. Nessas condições o alimento será palco de uma série de reações químicas,

durante as quais produtos voláteis serão liberados, dando os aromas próprios de cada alimento (ex. cheiro de pão, de churrasco), enquanto na etapa final surge um composto químico denominado melacoidina, que é um polímero com nitrogênio na molécula, responsável pela cor marrom que aparece no alimento torrado, assado ou frito. Durante esse processo é que são gerados os compostos voláteis aromáticos e os demais compostos, que influenciarão no sabor, cor e textura do cacau.

Sabendo-se que amêndoas resultantes de processos de fermentação incompletos ficam mais ácidas do que o desejável, seria esperado que tivessem aroma e sabor menos apreciados, afinal, ambiente não ácido é condição para que a reação de Maillard aconteça a contento. Por isso, quando pesquisadores detectaram acidez em amêndoas de produção brasileira, devido à fermentação incompleta, experimentaram introduzir uma variedade híbrida do fungo *Kluyveromyces marxianus*, que é capaz de aumentar a quebra de pectina, na tentativa de favorecer as bactérias aeróbicas. E foi o que aconteceu. A drenagem da polpa aumentou nas primeiras 24h e também a degradação de proteínas, o que implicou em melhores qualidades do cacau produzido.

Lácteos, uma diversidade para lá de inclusiva

Os fermentados lácteos merecem destaque, não só por fazerem parte da vida do ser humano há milênios, mas também pela diversidade de produtos que originam, satisfazendo diferentes paladares e necessidades nutritivas.

Antes de tudo, lembremo-nos de que o ser humano e seus

parentes mamíferos têm como característica marcante alimentar seus recém-nascidos e jovens crias, com o precioso leite que as fêmeas fabricam. A experiência da amamentação, por ser restrita às fêmeas que geram filhos, constitui-se em uma fonte limitada e restrita de alimento, principalmente quando os humanos na condição de caçadores-coletores, não dispunham de condições favoráveis a criar muitos filhos. No entanto, não devem ter demorado a se dar conta da possibilidade do grupo consumir leite obtendo-o de fêmeas de outras espécies. São dois os registros mais antigos, que se conhece até o momento, sobre essa relação do ser humano com a obtenção de leite de outros animais. Um deles é o de uma ordenha retratada em pintura de 3.100 a.C., obtida em escavação na Mesopotâmia. O outro é registro escrito de 5.000 anos sobre relatos orais anteriores a essa data, que aconteciam na Índia sobre o uso comum de leite e produtos relacionados, o que indica que essa prática deve remontar ao período em que nossos ancestrais eram caçadores-coletores. Se de fato esses nossos ancestrais tinham por hábito usar leite, coletá-lo e acondicioná-lo para transportar e até mesmo para armazenar em abrigos, dependia da existência de recipientes adaptados para esse fim, como frutos secos e ocos ou estruturas moles igualmente ocas, como estômago de animais abatidos. Sendo o leite um líquido perecível e que ganha um aspecto característico, não homogêneo, ao talhar, seria inevitável constatar essa sua transformação, principalmente se acondicionado em estômago de animais.

Consideremos o leite regurgitado por um bebê após mamar, cheio de grumos e com forte odor ácido. Fato corriqueiro esse e que nos apresenta o leite de um jeito muito parecido ao que se vê em certas fases da produção de fermentados lácteos.

Hoje sabemos que o tipo de transformação que aconte-

ce com o leite regurgitado pelo bebê ou naquele que teria sido transportado em estômagos de animais, se deve à presença e ação de substâncias coagulantes, como ácidos e enzimas (quimiosina e pesina) que quebram proteínas.

Quando a enzima age no leite ela provoca modificações físico-químicas das micelas de caseína (proteína), cujas novas estruturas serão agregadas por meio de reações com o cálcio. Com essa alteração, forma-se uma rede consistente de grumos, que se destaca da porção mais aquosa, o soro. Quando dessa massa é retirada a parte líquida, obtém-se um dos mais apreciados produtos de fermentação: o queijo.

Conquanto o processo geral seja o mesmo, a produção de ácido e de outros compostos que conferem cheiro e o sabor típicos dos queijos, dependerá de certas condições físico-químicas, bem como dos microrganismos que se envolverem nesse processo, em geral, integram bactérias láticas pertencentes a diferentes gêneros (ex. *Lactobacillus, Lactococcus* e *Streptococcus*). Aos queijos mofados azuis, por exemplo, como o Roquefort e o Gorgonzola acrescenta-se o fungo *Penicillium roqueforti*, enquanto os queijos brancos, como o Brie e o Camembert, recebem o *Penicillium camemberti*. Esses dois fungos são fundamentais para a definição da aparência e sabor característicos desses queijos, que tantas pessoas mundo afora apreciam.

Sabemos que o leite pode também ser coagulado usando-se enzimas de vegetais e de microrganismos. Portanto, o leite pode ser talhado espontaneamente, devido à multiplicação de bactérias lácteas e fungos presentes no ambiente. Um leite assim, também conhecido por leite azedo, pode ser matéria prima de donas de casa, que com ele aprenderam a preparar saborosos doces, conhe-

cidos como doces de leite azedo.

É certo que esses conhecimentos bioquímicos e microbiológicos são relativamente recentes na história da humanidade. Não podemos nos esquecer de que o próprio mundo microbiano era completamente desconhecido até o século XIX e que doenças causadas por microrganismos eram concebidas como algo sobrenatural. Foi apenas a partir do século XIX, que começaram a surgir os resultados dos experimentos de Louis Pasteur sobre a existência e papel dos microrganismos. Portanto, antes disso os conhecimentos não deviam passar de constatações sobre aspecto do leite talhado e possíveis associações a situações específicas em que a coagulação acontecia, proporcionando maior durabilidade ao produto, que hoje sabemos se dever à ação do ácido que se forma e redução da quantidade de água, substância essencial à realização do metabolismo e sobrevivência dos microrganismos.

Além da maior durabilidade dos fermentados em geral e do leite em particular, as transformações imprimidas a certas substâncias de que são formados, conferindo-lhes novas e vantajosas propriedades, não devem ter passado despercebidas dos nossos antepassados, ao consumirem constantemente esses produtos. Imagina-se que sensações de bem-estar e percepções de melhoria de certas condições físicas, provavelmente já teriam sido suficientes para perpetuá-los, inclusive com transmissão das técnicas de preparo a outras pessoas. Com o passar do tempo e maior mobilidade de grupos humanos, foram aumentando também as chances dos fermentados de culturas específicas serem conhecidos e incorporados por outras.

Mais recentemente no Brasil, e preparado de maneira apenas artesanal, um fermentado lácteo levemente ácido e eferves-

cente, tem surpreendido por seus efeitos benéficos à saúde: o kefir. Composto de grânulos brancos com tons amarelados, ele tem aparência geral que lembra uma couve-flor. Essas características, assim como seu aroma e sabor se devem não a uma ou poucas espécies de microrganismos, como nos demais produtos fermentados, mas a um conjunto de numerosos participantes, que desenvolvem um metabolismo integrado. Espécies reunidas em uma simbiose de composição variável, a depender da origem do grão iniciador, agitação e temperatura na inoculação. Basicamente esse conjunto funcional é composto de muitas espécies de bactérias ácido-lácteas (ex. *Lactobacilus* spp., *Lactococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Leuconostoc mesenteroides*), leveduras (ex. *Saccharomyces* spp., *Candida* spp., *Kluyveromyces* spp., *Issatchenkia orientalis*, *Torulopsis holmii*, *Torulospora delbrueckii*, *Pichia fermentas*) e bactérias ácido-acéticas (ex. *Acetobacter* spp.) todas elas agregadas a uma matriz formada de polissacarídeo (molécula com muitas unidades de glicose e galactose) e proteínas.

O crescimento e a sobrevivência de cada uma das espécies componentes da simbiose dependem do conjunto. Do metabolismo integrado das espécies resulta a síntese de vitaminas (ex. D, K2, complexo B), fósforo, cálcio, magnésio, degradação de lactose pelo fungo de crescimento rápido e termotolerante *Kluyveromyces marxianus*, proteínas e gorduras, o que faz do kefir um alimento muito nutritivo e de fácil digestão. As bactérias lácteas degradam glicose em ácido lático, o que reduz o pH do meio e favorece a conservação do produto, enquanto as leveduras produzem etanol e gás carbônico. *Lactobacillus kefiri* é responsável por características do kefir como probiótico, com capacidade para inibir o crescimento de bactérias prejudiciais (ex. *Salmonella* sp., *Helicobacter pylori* e *E. coli*).

Conhecido há séculos na região do Cáucaso, local em que deve ter se originado, começou a ser difundido para outros países no final do século XIX. Acabou ganhando a Europa, Ásia e Américas pelo seu valor como alimento, inclusive para pessoas intolerantes a lactose, por agir como probiótico, hipocolesterolêmico, imunomodulador e por promover aumento da capacidade antimicrobiana e antitumoral. Cabe destacar mais uma vez que os diversos compostos que atuam nessas situações e também caracterizam o kefir pela textura, aroma e sabor são dependentes do metabolismo intergrado dos seus microrganismos componentes. Além de todas essas características especialmente importantes, o kefir ainda pode ser usado como cultura iniciadora ("starter") na produção de alguns tipos de queijos.

O mais surpreendente no kefir é a complexidade da sua estrutura, que se reflete na aparência em forma de grumos e no seu metabolismo, ambos típicos. Essas características são distintas das de outros fermentados lácteos e até mesmo de outros tipos de fermentados, como o de sementes de cacau. No entanto, em todos eles há espécies comuns de fungos (ex. *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Pichia fermentas*) e bactérias (ex. *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Acetobacter pasteurianus*). Esse fato é revelador de como as simbioses são mais do que meras reuniões de espécies. Como sistema complexo, o todo é mais e não pode ser simplesmente reduzido às partes que o compõe. Portanto, o estudo do kefir ou de qualquer outro tipo de simbiose, não pode se limitar aos papéis individuais de bactérias e de fungos que integram sua estrutura, mas avançar em busca que envolvem as propriedades emergentes do sistema, provavelmente responsáveis pelas características tão especiais do kefir.

O milagre que sacia e se perpetua

Como tantos outros alimentos resultado de fermentação, é bem provável que também o pão, mundialmente apreciado, resulte de eventos fortuitos observados, experimentados e aprimorados.

E como nenhum outro fermentado das mais diversas culturas, ele é símbolo de comunhão, saciação, vida. Não importa o tipo ou o formato, seja na mesa do pobre, do rico, do crente ou do ateu, lá está ele: o pão.

Talvez não seja absurdo pensar que o ato de mastigar e umedecer com saliva grãos inteiros de cereais crus pode ter inspirado a trituração com objetos como pedras, para depois, a farinha resultante, ser misturada com água. Essa massa, à espera de consumo, pode ter tido seu aspecto alterado, até mesmo o volume aumentado. Afinal, os grãos de cereais e os ambientes em geral povoados de leveduras e bactérias, podem ter colonizado a massa. Depois, num salto criativo ou apenas como resultado de mais um acaso sobre pedras aquecidas ao sol, a massa teria sido cozida. Ingerida depois disso, com nova textura e sabor, deve ter agradado o suficiente para que as pessoas repetissem, divulgassem e finalmente aprimorassem o processo, ajudando a conferir novas características aos pães.

Atribuída aos egípcios a façanha de dar início às primeiras massas fermentadas, por volta de 5.000 antes da era cristã (a.C.), teriam sido os gregos os responsáveis por aprimorá-las tornando-as levedadas, ao acrescentar-lhes lúpulo e mosto fresco, passo que conduziria a um tipo de pão mais assemelhado ao tipo dos que consumimos hoje. É provável que esse caminho esteja longe de ser assim tão simples e de-

finitivo, mesmo porque foi traçado de formas diferentes por povos de diversas regiões do planeta, que desenvolveram tipos próprios e característicos de pães.

Uma das questões que se põe é quanto à forma de obtenção dos grãos para produzir o pão, o qual chegou a ser moeda de troca no Egito, de tão importante que era. Outra questão tem a ver com o tipo de gramínea silvestre, que não era o mesmo nas diferentes regiões geográficas e cujos grãos eram a matéria-prima desse alimento. Talvez a única maneira de poder responder a essas questões, ainda que parcialmente, seja reunindo informações sobre relações estabelecidas entre o ser humano e os vegetais, ao longo da sua trajetória pela Terra.

Era preciso fixar residência

Foi a partir de empreitadas arqueológicas e estudos complementares integrados, que as relações do Homem com alimentos e bebidas fermentados foram sendo desvendadas. Alguns dos dados são conhecidos desde as primeiras décadas do século XX, quando, em um sítio arqueológico na China, os pesquisadores verificaram que por volta de 7000 a.C. já havia bebida fermentada produzida a partir de uma mistura de arroz, mel e fruta. Esses resultados foram obtidos a partir de análises químicas, que permitiram saber inclusive a composição da substância que ficara impregnada no interior de jarros, que deviam ser usados para colocar e servir a bebida. O fato de o cereal ser o arroz, e de ser cozido no vapor pelo povo chinês, sugeriu e faz estudiosos suporem que não haveria outro local no mundo tão propício ao desenvolvimento daquela bebida fermentada. Isso porque, após o cozimento, espo-

ros de fungos existentes no ar puderam se desenvolver no arroz úmido e quebrar o amido que o constitui em açúcares simples, que são comumente utilizados na fermentação alcoólica.

Aquele povo certamente não sabia que alguma espécie de ser vivo era responsável pela fermentação alcoólica e pelas propriedades daquela bebida, mas, na prática, já sabia como fazer para obtê-la. Sabia, por exemplo, que o arroz precisava estar cozido e ser acompanhado de mel e de fruta. Estes alimentos, que são rica fonte de energia para os animais, inclusive para o ser humano, também servem para o crescimento de microrganismos como bactérias e leveduras, que nesse processo geram gás carbônico e álcool etílico (etanol). Este álcool, usado desde a antiguidade como analgésico, inebriante e desinfetante, mais recentemente passou a ser a base de um combustível usado em veículos automotores.

Que a levedura, seja de que espécie for, é um ser vivo, nós o sabemos graças às investigações e resultados relativamente recentes, ocorridos pouco depois de meados do século XIX. A esses resultados acrescentamos, mais tarde, a descoberta de que as células da levedura mais conhecida de processos fermentativos, *Saccharomyces cerevisiae*, não ficam no ar. Elas são encontradas principalmente na superfície de frutos maduros, que ao verterem suco por meio de rachaduras, quando eles ainda se encontram na planta-mãe, permitirão que as células do fungo tenham acesso à água e a açúcares simples, como a frutose e glicose. Com esses materiais, as células da levedura, disseminadas por insetos que também se alimentam de suco das frutas, desenvolvem-se, reproduzem-se e realizam o processo de fermentação. Está claro, portanto, que foi esse aspecto da interação entre fruto e levedura que garantiu aos chineses, mesmo sem conhecimentos de **microbiologia**, semear com levedura os substratos utilizados para

obter as bebidas fermentadas.

Como sabemos, frutos que iniciaram o processo de fermentação sofrem alterações de aroma e sabor. Por isso, não é difícil imaginar que desde muito cedo nossos ancestrais tenham se dado conta da diferença entre esses frutos e aqueles íntegros. Porém, para que essa percepção avançasse e eles associassem tais mudanças às alterações do estado de consciência provocado pelo o álcool, exigia mais do que a ingestão de uns poucos frutos em fermentação. De outro lado, associar a produção de gás à fermentação seria improvável sem o armazenamento de sucos de frutas. Sendo assim, como explicar que nossos ancestrais tenham se dado conta da relação de causa-efeito entre a fermentação e esses dois fenômenos?

A compreensão de como eles podem ter se dado conta do poder inebriante do álcool, formado durante a fermentação, baseia-se em diversos estudos em diferentes áreas. Um deles refere-se a aspectos comportamentais de outros vertebrados, como, por exemplo, macacos e elefantes após ingerirem frutos em decomposição da planta *Durio zibethinus*. Trata-se de uma planta comum no oriente e pertencente à família das malváceas, como o hibisco, a caramboleira, o algodoeiro, o quiabeiro e o cacaueiro. Seus frutos maduros em fermentação exalam determinado odor que atrai alguns frugívoros. Ao consumirem inúmeros frutos, macacos e elefantes perdem coordenação motora e ficam cambaleantes, enquanto raposas voadoras, que são grandes morcegos, perdem a capacidade de **econavegação**. Isto quer dizer que elas perdem a capacidade de utilizar adequadamente o retorno das ondas sonoras, que, depois de emitidas pelo mamífero voltam a ele rebatidas por obstáculos, sinalizando-lhe o rumo a seguir, de forma a evitar choques.

Se essas espécies animais respondem aos efeitos provocados pelo álcool existente nos frutos em fermentação, por que não teriam os nossos ancestrais, caçadores-coletores, respondido da mesma forma ao se fartarem de frutos de época, produzidos em abundância?

A tarefa de caminhar em busca de alimentos não se afina com o uso de bagagem, ainda mais se pesada e quebradiça como a cerâmica, conhecida pelas suas boas condições de armazenar víveres e líquidos. Portanto, se os caçadores-coletores armazenavam sucos de frutas, é provável que isso tenha sido feito em recipientes leves e relativamente resistentes, como são, por exemplo, órgãos ocos (ex. estômago de animais) e certos frutos secos (ex. cabaças).

No Brasil, plantas como *Crescentia cujete*, da família Bignoniaceae, e *Lagenaria siceraria*, da família Curcubitaceae, dão origem, respectivamente, a cabaças e purungas. Esses frutos, depois de secos, apresentam cascas lenhosas e impermeáveis, bem como interiores espaçosos e ocos, após a retirada das sementes. Essas características fazem deles recipientes adequados para usos diversos, como consumo, armazenamento e transporte de mantimentos. Na região amazônica, com destaque para o Estado do Pará, as cabaças de *C. cujete,* cortadas como cuias, estão associadas, hoje em dia, principalmente ao consumo de uma comida típica, o tacacá, feito à base de goma de amido e de uma bebida fermentada, o tucupi, produtos obtidos da mandioca. Esses ingredientes são colocados na cuia, que ainda recebe camarão seco e ramos cozidos de jambu (*Acmella oleracea*), planta da família Asteraceae, à qual também pertencem chicória, alface, alcachofra, dente-de-leão. Já nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, com destaque para o estado do Paraná, as purungas prestam-se comumente ao armazenamento e transporte de água, que é consumida nas lavouras. No entanto, nem

todo lugar tem frutos como esses, que, por se tratar de material biológico, têm chances reduzidas de serem preservados no tempo e, assim, prestarem-se a estudos arqueológicos. Isto, porém, não significa inexistência de materiais dessa natureza como testemunhos históricos, haja vista a presença de cabaça, por exemplo, em sítio arqueológico no Peru, cujo fragmento com pintura do que seria uma divindade daquela civilização andina foi datado de 2.250 a.C.

Contudo, são os recipientes feitos em cerâmica, muitos dos quais moldados à semelhança do formato das cuias, os que mais ajudam a recompor diversos aspectos da história da humanidade, sobre usos que se faziam deles em diferentes culturas, dada sua durabilidade e possibilidade de preservação em estratos geológicos. Ainda que a produção de peças em cerâmica remonte à aproximadamente 24.000 a.C. — que é de quando datam pequenos objetos de argila cozida, as terracotas, em geral com formatos de figuras humanas e de outros animais — hoje se sabe que existiram vasilhames em cerâmica, no Japão, datados de aproximadamente 14.000 a.C. Sendo assim, foram moldados durante a última **Idade do Gelo**, que teria terminado em torno de 12.500 a.C.

Portanto, é presumível que avanços notáveis, no que se refere à prática da fermentação, tenham acontecido após a sedentarização, fenômeno que, conforme indicam os estudos, ocorreu primeiramente com povos que habitavam a região das montanhas entre Turquia, Irã e Iraque, por volta de 11.000 a.C, com o Homem vivendo em cavernas e abrigos sob rochas. Até por volta de 9.000 a.C. acredita-se que a produção de alimentos era incipiente e que só depois desta época é que passaram a existir povoados permanentes e variedades domesticadas de animais e de plantas, como o trigo, cevada, lentilha. Tem então início o período que ficou conhecido como **Neolítico**, que vai até aproximadamente

4.000 a.C, com o surgimento da escrita na Mesopotâmia (Oriente Médio), região entre os rios Tigre e Eufrates.

Intriga alguns estudiosos o fato da agricultura ter sido desenvolvida pela primeira vez, com pouca diferença de tempo, em distintos e muito afastados locais da Terra, como o Crescente Fértil (sudoeste da Ásia), seguido do Norte da China e regiões das Américas. Nesse período, referido também como da **revolução agrícola**, com produção de lavouras e de animais domesticados, foram iniciadas as mudanças socioculturais da humanidade, provavelmente mais marcantes e velozes. Essas e outras explicações sobre fatos tão antigos, que permitem construir uma história plausível da agricultura e domesticação de animais, resultam de estudos arqueológicos interdisciplinares, que analisam, por exemplo, grãos de pólen, composição genética de plantas e dos primeiros humanos, bem como suas constituições óssea e dentária.

Assim, tem sido possível saber como se deu a substituição de vegetação, desmatamento, mudança de qualidade nutricional dos alimentos em diferentes locais e migração humana pelo planeta. Portanto, estabelecido em determinados locais, o Homem não teria mais a necessidade de migrar constantemente, carregando consigo os pertences, as provisões e a prole. Teria mais alimentos, que poderia inclusive armazenar, para utilizar em períodos desfavoráveis. Tais mudanças podem ter favorecido certo aumento no número de filhos gerados por mulher, bem como certa redução na taxa de mortalidade da população.

Essas supostas vantagens podem ter sobrepujado as possíveis desvantagens resultantes de árduo e monótono trabalho braçal na lavoura, redução da diversidade de alimentos e, consequentemente, da riqueza nutricional, haja vista: o notável crescimento

populacional; as mudanças socioculturais e os avanços tecnológicos que decorreram desse período. Contudo, não se descarta a possibilidade das mudanças ambientais e socioculturais determinadas pelas populações humanas terem sido de tal magnitude, que inviabilizaram a retomada do antigo modo de vida baseado na caça e coleta, que propiciava atividades e alimentos mais diversificados e adequados a um tipo de vida mais aprazível e saudável.

O novo rumo tomado pelos humanos, ainda que em meio a muitas perdas, pode ter favorecido a intensificação da produção de frutos e sucos, com armazenamento e, consequentemente, possibilidades de observações mais detalhadas de fermentados e de seus efeitos, resultando em estímulo ao surgimento e aprimoramento de técnicas para produção de bebidas alcoólicas.

Estudo arqueológico realizado na Geórgia, a nordeste da Turquia, entre o mar Negro e o mar Cáspio, resultou na primeira evidência biomolecular da existência de vinho, entre 6.000 a.C e 5.800 a.C, a partir de substâncias impregnadas nas paredes de objetos em cerâmica. No Neolítico, que aconteceu em tempo pós-glaciário, a elevação das temperaturas teria permitido a substituição da vegetação de estepe fria de artemísia existente nessa região do Oriente Próximo (Anatólia — porção asiática da Turquia; Levante — Síria, Líbano, Jordânia, Chipre, Israel e territórios Palestinos; Mesopotâmia — Iraque, e a Transcaucásia, composta pela Georgia, Armênia e Azerbaijão). Em lugar das artemísias teria surgido a savana de faias e pistaqueiras, entre as quais cresciam, principalmente, cereais selvagens (ex. cevada, o trigo — *Triticum monococcum* e *T. dicoccum*) e leguminosas (ex. lentilha e ervilha), entre às quais pastoreavam animais herbívoros como cabras selvagens, cervos, coelhos, asnos e aves. Registros indicam que o trigo e as cabras estavam domesticados desde

os 7.500 a.C. no Crescente Fértil.

Outra investigação sofisticada feita em resíduos deixados dentro de jarros de vinho egípcios, que datam de aproximadamente 3.150 a.C., indicou a presença de *Saccharomyces cerevisiae*. Os pesquisadores conseguiram extrair desse resíduo um trecho do Ácido Desoxirribonucleico (DNA) existente na organela celular denominada **ribossomo**, e amplificá-lo (copiá-lo inúmeras vezes)[3]. Esse trecho de DNA mostrou-se semelhante ao DNA de *S. cerevisiae* existente hoje em dia e utilizado normalmente pelo Homem.

Por outro lado, o uso da levedura como agente responsável pela produção de alimentos fermentados à base de cereais, como o pão e a cerveja, pode ter sido um passo ulterior na história da humanidade. Isso porque, diferente das frutas e néctares, que são ricas fontes de água e açúcares simples solúveis, como frutose e glicose, bem como de um conjunto de microrganismos fermentadores, os cereais somam características que desfavorecem a fermentação: têm pouco teor de água, possuem muita fibra e grande quantidade de carboidratos, principalmente o amido. Este carboidrato, que é um polímero natural, ou seja, uma longa molécula de açúcar, composta de unidades moleculares mais simples de glicose, é insolúvel e necessita da enzima amilase para ser quebrado, antes de servir ao processo fermentativo de *S. cerevisiae*. Essas condições talvez sejam responsáveis pelo fato de o registro mais antigo de bebida feita à base de cereal ser, segundo papiro egípcio, de aproximadamente 5.000 anos a.C., portanto, mais recente que o registro mais antigo de bebida fermentada de suco de uva.

---

3 Para saber sobre o processo de amplificação e histórico de descobertas relacionadas, veja: http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Educacao/Simbio-Logias/do_teste_paternidade_ arte_de_identificar_fungos.pdf).

Trigo: da vida silvestre ao pão primordial

Se *Triticum monococcum* e *T. dicoccum* já estavam domesticados por volta dos 7.500 a.C. no Crescente Fértil, é razoável imaginar que além das condições ambientais necessárias ao desenvolvimento dessas gramíneas, houve também, naquela região, a iniciativa humana de plantá-las e de selecioná-las artificialmente. Sabe-se hoje, por meio de estudos **arqueobotânicos** e de **genética molecular** de espécies de trigo, que esse processo de domesticação deve ter demorado milhares de anos. Uma explicação sugerida para tal feito é que, ao plantar cada nova safra, o Homem tenha escolhido as sementes maiores e que não haviam sofrido dispersão natural pela própria planta ou pelo vento. Posteriormente, já como trigo, mas ainda como uma variedade primitiva, ele teria chegado ao Egito.

Estudos indicam que as civilizações do chamado Crescente Fértil tiveram seus fundamentos econômicos e nutricionais baseados no trigo. Até hoje ele se destaca, além de outras espécies cultivadas, como a base da produção de alimentos, tanto doces quanto salgados. Nessa região, compreendida atualmente por Iraque, Afeganistão, Turquia, Kuwait, Síria, Israel e Palestina, é que floresceram as primeiras culturas urbanas, e cujas economias se baseavam especialmente no cultivo de grãos.

Não é possível precisar quem inventou o pão, que provavelmente passou por transformações marcantes até chegar à forma que conhecemos hoje. Porém, acredita-se que sua história tenha principiado ali, no Crescente Fértil, onde os povos já se alimentavam de grandes colheitas de grãos selvagens, principalmente cevada e trigo, há cerca de 22.500 anos, embora o pão propriamente

dito tenha surgido por volta de 5.000 anos atrás.

Para pensarmos na importância do processo que deu origem ao pão, esse alimento fundamental na dieta dos seres humanos, precisamos antes refletir sobre as características dos grãos, sua digestão e absorção pelos animais.

Sabemos que os grãos íntegros são de natureza bastante rígida, característica que dificulta triturá-los por meio da nossa mastigação e, consequentemente, de aumentar suas superfícies. Com poucas áreas expostas nos grãos, as nossas enzimas são impossibilitadas de agir adequadamente sobre as grandes moléculas que os compõem e de quebrá-las em suas unidades estruturais, para poderem ser absorvidas no nosso intestino. Portanto, sem trituração o aproveitamento dos nutrientes presentes nos grãos seria pequeno. É claro que os nossos ancestrais não sabiam nada sobre digestão e absorção de alimentos, mas de mastigação e de quebra de dentes eles, certamente, sabiam muito. Por isso, é provável que motivados pela necessidade de facilitar o consumo dos grãos, tenham usado pedras ou desenvolvido tipos de moendas simples para triturá-los antes de ingeri-los. Esse processamento, com etapas de hidratação, moagem e torra dos grãos, combinadas com outros processos acrescentados posteriormente, foram fundamentais para que pudessem obter e aproveitar os nutrientes presentes nas sementes de gramíneas. Assim é que a partir de diferentes grãos, torrados no fogo ou moídos utilizando-se pedras e posteriormente fervidos em água, obtinha-se um tipo de mingau, uma papa que, embora não devesse ser muito apetitosa, facilitava a ingestão e oferecia uma riqueza nutricional razoável, por disponibilizar amido, bem como vitaminas e minerais, que podiam ser absorvidos pelo sistema digestório.

Hoje sabemos que outros fatores interferem no processo de absorção do amido, como, por exemplo, a estrutura dos seus grânulos, formada por dois tipos de grandes moléculas: amilose e amilopectina. A primeira tem a absorção mais lenta, porque sua estrutura praticamente linear é mais compacta, o que dificulta o acesso da enzima amilase aos sítios de quebra. É por isso que alimentos ricos em amido contendo muita amilose demoram mais para serem digeridos. Outro fator que diminui a absorção é a presença de gorduras e proteínas associadas. Quando comparamos, por exemplo, o trigo duro, usado na produção de massas (pasta), com o trigo mole, mais indicado para produção de pães, verificamos que o primeiro tem maior interação amido-proteína. Esta interação diminui a velocidade de digestão do amido e de absorção da glicose. Dessa forma, explica-se, em parte, o porquê do consumo de massa fresca à base de farinha de trigo duro acabar resultando em uma resposta glicêmica menor, ou seja, em menor elevação dos níveis de glicose no sangue, quando comparado ao consumo do pão branco. Outro fator que também interfere no processo de absorção do amido está relacionado a características individuais, como o ato da mastigação (maior ou menor trituração), auxiliado pela amilase presente na saliva e o tempo de trânsito intestinal.

Embora todos esses fatores interfiram na absorção do carboidrato, o processamento de grãos, com destaque para os de trigo, cevada e centeio, por meio de moagem, umidificação e cozimento, foi um marco histórico na alimentação humana, por ter facilitado tanto o consumo como a digestão e absorção dos nutrientes presentes neles.

Mas, voltando aos nossos padeiros ancestrais, não podemos dizer que aquele mingau primitivo, que eles provavelmente faziam era propriamente um pão, mas certamente foi o embrião,

que ao longo do tempo desenvolveu-se com diversas modificações.

Três espécies de gramíneas cultivadas no Crescente Fértil — a cevada (*Hordeum vulgare*) e duas formas de trigo selvagem, o "Einkorn" (*T. monococcum*) e o "Emmer" (*T. dicoccum*) — foram citadas como fundamentais para permitir que o pão ganhasse a estrutura necessária e desejada. Isso porque seus grãos resultavam em uma massa suficientemente rígida, para que, quando assada, conseguisse aprisionar os gases formados durante a fermentação. Se assim foi, é provável que essas três gramíneas tenham sido as primeiras utilizadas na produção de alimento, que, neste caso, era apenas uma massa rústica.

Recentemente, alguns pesquisadores, trabalhando em sítio arqueológico no nordeste da Jordânia, fizeram uma descoberta ainda mais surpreendente. Ao realizarem um estudo da microestrutura e composição botânica de restos de comida carbonizada, verificaram que se tratava de um produto com características de pão, datado de 14.600 anos BP ("Before Present") ou, aproximadamente, 12.650 a. C. Por meio de investigações de alguns tecidos vegetais e de grânulos de amido, puderam obter dados também sobre as técnicas de processamento e preparação daquela comida, que teria sido produzida a partir de cereais silvestres e de tubérculos, como *Triticum boeoticum* e *Bolboschoenus glaucus*, respectivamente. Contudo, as evidências obtidas indicaram que o uso de grãos de cereais nesse período era ainda incipiente.

Na figura 8, podemos ver alguns detalhes das estruturas que compõem os grãos do trigo. Veja que sua cor nada tem a ver com a candura das farinhas brancas, que compramos no supermercado. Isso porque a maior parte das farinhas brancas é formada pelo endosperma, que fica dentro dos grãos (Figura 8

Figura 8: Trigo: (A) Aspecto de um conjunto de espigas; (B) Detalhe da espiga; (C) Espiga com grão de trigo quase totalmente exposto; (D) Grãos com película externa com a qual se produz o farelo e (E) Detalhes de estruturas existentes nos grãos.

D-E). Os primeiros produtores de pães sabiam que precisavam remover as camadas mais externas deles para acessar o conteúdo interno, mais palatável e que permitia obter uma massa mais flexível e apropriada à produção do pão. O processamento do grão do trigo, essencial para liberar a semente da palha, era conseguido socando-se os grãos em um almofariz – uma espécie de pilão de pedra. Em seguida, as camadas mais externas eram removidas peneirando-se ou fazendo a separação manualmente, de maneira a selecionar apenas as partes que mais interessavam.

Será, então, que a partir de uma massa rústica, composta de água e grãos triturados, seria possível obter pão?

Parece faltar algo nessa história...

Sem dúvida. Falta o grande responsável pelo milagre do pão: o fermento. Quando foi que ele entrou em cena e protagonizou essa história? É difícil definir um marco para esse aconte-

cimento, mas, em algum momento, aquele mingau deve ter sido contaminado com bactérias e leveduras do ambiente. Depois de certo tempo, o Homem deve ter percebido que não se tratava mais de uma pasta inerte, sem vida, porque nela surgiam inúmeras bolhas de gás. Era como se a massa houvesse ganhado vida. Vida microscópica que aqueles povos primitivos não podiam imaginar existir. Embora não se saiba ao certo se foi um processo acidental, acredita-se que, à época, leveduras residuais nos utensílios, utilizados previamente para a produção de outros alimentos como bebidas fermentadas (ex. cerveja), tenham invadido e fermentado a pasta de grãos ali depositada, transformando-a em uma clássica massa de pão: o pão primordial.

Entre arte culinária e ciência

Vimos que D. Maria Bellé, exímia produtora de pães, soube da necessidade de cultivar corretamente o fermento que ganhara, levando muito seriamente essa atividade.

Cultivar significa cuidar, estar atento às necessidades e oferecer tudo o que é preciso. Com qualquer ser vivo é assim. Portanto, foi imprescindível cuidar do fermento constantemente, para que ele se mantivesse vivo e saudável. Renovação de alimento, boas condições de temperatura, umidade, higiene e luminosidade, além de generosa dose de atenção são fundamentais para a vida prosperar, florescer. Por isso é que semanalmente, até 2019, D. Maria Bellé recorria à garrafinha, onde mantinha o fermento que ganhara há 63 anos (ver página 11), agitando-a para homogeneizar o conteúdo, que vertia em um recipiente de boca larga, no qual colocava previamente sal, açúcar, farinha de trigo e água filtrada.

Dessa forma, D. Maria Bellé alimentava as leveduras com os nutrientes necessários, para que se reproduzissem e recompusessem a população. Com esse procedimento, ela dava oportunidade para outros microrganismos naturalmente existentes na farinha adicionada e no ar, como bactérias que também participam da fermentação, integrarem aquele meio de cultivo, enriquecendo-o. Depois de aproximadamente 4h, ela enchia a garrafa com essa cultura renovada e a mantinha até a próxima fornada de pães. O volume restante D. Maria Bellé usava para preparar a massa daquele dia. Só assim ela dispunha de levedura suficiente, para deixar os pães do momento e das

futuras da fornada, crescidos e saborosos.

Se esse ritual não acontecesse pelo menos uma vez ao mês, privaria as leveduras do alimento e das condições necessárias à reprodução. Sem isso, elas esgotariam os recursos existentes e a população entraria em declínio até a extinção. Se isso acontecesse, não apenas a família da D. Maria Bellé seria privada de um alimento mais nutritivo e saboroso do que o industrial, como todos nós perderíamos uma linhagem de fermento, o que significa redução da diversidade da levedura, já tão ameaçada pelos processos industriais, para os quais poucas linhagens são escolhidas, selecionadas e comercializadas para uso.

Os ingredientes na alimentação da levedura

Além de ingredientes nutricionais imprescindíveis e em quantidade suficiente para suprir as necessidades metabólicas da levedura, permitindo que suas células se multipliquem e, consequentemente, a população cresça, é preciso que as condições ambientais também estejam adequadas quanto à temperatura (°C) e acidez (pH). A temperatura ideal para *S. cerevisiae* precisa ficar entre 20 e 30°C e nunca ultrapassar 55°C, que é quando as células morrem. Já o pH pode variar entre 4,5 e 5,5, valores que indicam acidez, embora *S. cerevisiae* consiga sobreviver no intervalo de pH 2 a 8,5, cujo limite inferior é de grande acidez e o superior é básico ou alcalino (acidez < **7** > alcalinidade).

Com relação aos ingredientes utilizados pela D. Maria Bellé para cultivo da levedura, a maior porção era constituida de substâncias fornecedoras de energia. Desse conjunto de

nutrientes, que costuma ser referido também como substrato, um deles é o açúcar da cana, também conhecido por açúcar de mesa, composto de moléculas de dois açúcares simples, portanto, dois monômeros: a glicose e a frutose. Por isso, a sacarose costuma ser classificada como **dissacarídeo**.

Outro componente do substrato, a fornecer principalmente energia à levedura, é a farinha de trigo, devido à grande quantidade de amido que ela possui. Por ser constituído pela união de monômeros de um mesmo tipo — neste caso moléculas de glicose — o amido é um **homopolissacarídeo** (homo = igual; poli = muitos), encontrado como material de reserva na batata, mandioca, e em diversos grãos, como o de trigo e milho.

A farinha, embora seja basicamente amido, contém quantidades modestas de proteínas, fibras, minerais, vitaminas e lipídios, de grande importância à levedura. Estes integrantes, no entanto, são ainda menos comuns nas farinhas brancas refinadas do que nas farinhas integrais, porque daquelas extraem-se a casca e o gérmen dos grãos de trigo, prática que leva à perda de aproximadamente 25% das vitaminas, dos antioxidantes, dos minerais e dos óleos.

O sal, que neste caso é geralmente o de cozinha (NaCl), também é um componente essencial e precisa ser bem dosado, porque embora seja responsável por dois nutrientes importantes para as células, o sódio (Na^+) e o cloro (Cl^-), em excesso poderá fazer sair tanta água de dentro da levedura, que ela murchará e não conseguirá realizar seu metabolismo a contento. Essa característica do sal é o que se denomina de poder **higroscópico**.

Alguns fenômenos, resultado do poder higroscópico do

sal, são de fácil percepção. Um deles é a umidificação do sal de cozinha dentro de saleiros em dias úmidos. Ao atrair vapor d'água da atmosfera, os grãos de sal dentro de saleiros aglomeram-se dificultando pulverizá-los sobre saladas, por exemplo.

Outro fenômeno é o do enrugamento que percebemos na nossa pele, quando saímos do mar após um tempo de exposição a sua água salgada. Neste caso, a membrana plasmática, que delimita as células e que é semipermeável, permite a saída de água para o exterior, onde há maior concentração de sal. Provocando-se esse fenômeno em tecidos vegetais é possível observá-lo com facilidade ao microscópio óptico, quando os vacúolos, com pigmentos coloridos e que normalmente ocupam quase todo o interior das células, murcham. Isto acontece devido à perda de água, que passa através da sua membrana semipermeável, atraída pelo sal que está concentrado no meio exterior. Percebe-se essa redução do volume dos vacúolos, porque a parede celular mais externa a ele é rígida e se mantém sem alteração[4]. Neste caso, em que uma membrana semipermeável está envolvida, isto é, uma membrana que permite a passagem do solvente (água), mas não do soluto (sal) sem que haja gasto de energia, o fenômeno é denominado de **plasmólise**. Esse poder higroscópico do sal também é o que nos permite explicar o seu papel como conservante de alimentos. A água intracelular é vital também para bactérias que causam a deterioração de alimentos, portanto, se houver sal em excesso no meio a sobrevivência e o crescimento de microrganismos decompositores serão comprometidos. Por outro lado, no processo de salga (ex. bacalhau e sardinhas), que é utilizado pela humanidade há mais de 3000 a.C., acontece quando os tecidos não estão mais vivos. Nessa

4 Ver: http://luciamariapaleari.blogspot.com/2015/07/celulas-animais-e-vegetais-observadas_5.html

condição, as membranas celulares deixam de agir seletivamente, permitindo também a passagem do soluto para o interior das células, de forma a equilibrar a concentração interna com a externa. A esse processo chamamos de **difusão,** quando não há membrana seletiva separando os locais de maior e de menor concentração do sal. Com isso, o sal inibindo o crescimento de populações de bactérias decompositoras, desfavoresce também a produção das enzimas que promoveriam a degradação dos tecidos, mantendo -os em boas condições para o consumo como alimento.

No caso de tecidos vivos, portanto com membrana semipermeável atuante, se a concentração de sal do lado de fora da célula for menor do que a de dentro, a água externa poderá entrar na célula em demasia e aumentar muito a pressão interna. O ideal é conseguir que as pressões de dentro e de fora da célula fiquem aproximadamente iguais, condição essa conhecida como **isotonia,** que quer dizer igualmente tenso. Portanto, um pouco mais de sal na massa de pão, não apenas lhe intensifica o sabor, como tende a retardar o consumo do substrato, devido ao crescimento mais lento das células de levedura. Os estudiosos em panificação têm relacionado a essa condição a produção de pães com crostas levemente douradas (coradas). Segundo esses profissionais, a parcimônia com que o fermento consome os açúcares simples faz com que haja certo excedente no momento do cozimento da massa, possibilitando reações químicas que resultam em fenômeno que torna a crosta corada e com certo brilho. No entanto, se houver excesso de sal o crescimento da levedura será prejudicado, comprometendo o crescimento da massa, que, sem volume, não permitirá que os pães fiquem macios e saborosos. Por outro lado, escassez de sal favorece crescimento acelerado da levedura, que consome todo o açúcar antes do cozimento. Sem esse substrato

em quantidade adequada, a massa não terá as condições ideais para obtenção de crosta corada, com algum brilho e crocância.

É provável que Dona Maria Bellé não conhecesse essas explicações científicas, mas os conhecimentos práticos que ela tinha, e que normalmente são transmitidos de geração a geração, eram e continuam sendo extremamente importantes para a fabricação de pães de excelente qualidade. Um desses conhecimentos se refere ao cultivo do fermento. No período entre uma e outra fornada de pães, que na casa da D. Maria Bellé acontecia por volta de sete dias, o fermento sobrevive e se reproduz alimentando-se do substrato existente no interior do recipiente onde ele é mantido. Por isso, antes do início da elaboração da massa para a produção dos pães, o conteúdo desse recipiente é vertido em outro, onde são acrescentados os ingredientes necessários para promover a multiplicação das células de levedura. Em seguida é preciso deixar esse meio líquido de cultivo "descansar" por um tempo, antes de uma parte dele ser utilizada para fazer a massa. A finalização do tempo de "descanso" não é difícil de ser reconhecida, basta examinar a superfície desse meio de cultivo. Se ali houver uma camada cheia de bolhas e farinha formando uma espuma espessa, é sinal de que chegou a hora de preparar a massa. Ou seja, as células de *S. cerevisiae* se reproduziram, renovando a população que estava na garrafa, por meio do processo esquematizado na Figura 5B. À medida que suas células vão se multiplicando, obtendo energia e produzindo mais e mais gás carbônico, o substrato vai diminuindo. Se os componentes desse substrato não forem renovados periodicamente, as células de *S. cerevisiae* morrerão. Por isso, a cada sete dias, quando preparava a massa dos pães que seriam consumidos durante a semana, Dona Maria Bellé

realizava também esse processo de renovação do alimento para os microrganismos fermentadores, a maioria deles representada por *S. cerevisiae*. E ela sabia que, se deixasse de fazer pães semanalmente, teria de cuidar da alimentação das leveduras pelo menos uma vez ao mês, para ter o fermento em condições adequadas à produção dos pães.

Você reparou na primeira figura que há na página 13 deste livro? Aquela na qual se pode observar a pequena garrafa em que D. Maria Bellé guardava o cultivo de *S. cerevisiae*? Notou que há uma canequinha azul invertida sobre a sua abertura, ao invés de uma rolha ou outro tipo de tampa fechando hermeticamente o recipiente? Pois é procedendo assim que se garante certa troca de gases entre o interior da garrafa e a atmosfera. Garante, principalmente, que haja oxigênio para a respiração das leveduras e que o gás carbônico produzido durante o metabolismo das células possa ir saindo aos poucos.

Um verdadeiro laboratório

Dentro da célula de *Saccharomyces cerevisiae* há diversas substâncias e também componentes conhecidos por organelas, que realizam trabalhos incríveis. Na figura 9, observe a representação de uma célula de *S. cerevisiae* com seus componentes, cujos respectivos papeis são ali descritos.

Todos esses componentes estão metabolicamente integrados entre si para realizar as reações bioquímicas responsáveis por: a) obtenção de energia a partir de moléculas simples de açúcares, que garante todo o funcionamento da célula, e b) produção de

moléculas mais ou menos complexas (ex. proteínas, carboidratos, lipídios etc.), que servem principalmente para construir novas membranas, organelas, enzimas, substâncias necessárias ao bom funcionamento e reprodução da célula.

Como os fungos não fazem fotossíntese, eles dependem de seres como as plantas para obter energia, seja usando diretamente material produzido por elas, como os açúcares (ex. amido, glicose), ou consumindo um animal carnívoro ou herbívoro, que dependem indireta ou diretamente de plantas. Por isso, como já foi apresentado, dizemos que as plantas são os **produtores** nas cadeias alimentares, isto é, são capazes de transformar energia luminosa do sol em energia química, que armazenam em moléculas de glicose, para usar depois na construção de compostos complexos. Pelo fato dos animais, como nós, e dos fungos não serem capazes de realizar a fotossíntese e dependerem de substâncias produzidas pelas plantas para obter energia, são denominados de **consumidores** nas cadeias alimentares.

Os açúcares são compostos de átomos de carbono e hidrogênio, razão de terem sido classificados como carboidratos. Embora eles sejam basicamente fornecedores de energia, há açúcar como a ribose, que faz parte da estrutura de material hereditário, bem como de uma molécula muito importante, conhecida como adenosinatrifosfato (ATP), responsável pela geração do tipo de energia próprio para fazer funcionar os corpos dos seres vivos.

Açúcares comumente encontrados como alimento de reserva em vegetais, por serem polímeros não são assimilados pela levedura, o que acontece também com os demais tipos de células. Por isso, eles terão de sofrer a ação de enzimas específicas, as quais irão quebrá-los nos seus monômeros ou nos dissacarídeos cons-

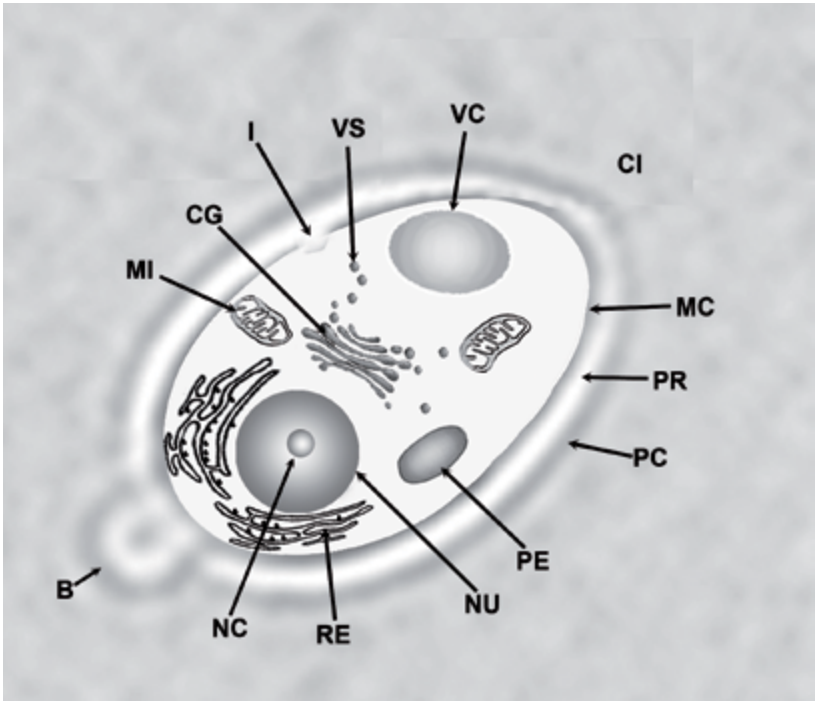

Figura 9: Esquema de uma célula de *Saccharomyces cerevisiae*, com suas organelas: (PC) Parede celular – estrutura resistente composta de quitina, que dá proteção ao conjunto da célula; (PR) periplasma – região composta por enzimas, além de outras proteínas que ajudam no transporte de substâncias ao interior da célula; (MC) membrana citoplasmática – estrutura flexível, composta de duas camadas de fosfolipídio (fósforo + gordura), que controla a entrada e saída de moléculas; (RE) retículo endoplasmático – local de síntese ou modificação de proteínas que serão exportadas; (AP) Aparelho de Golgi (dictiossomos) – responsável por secretar substâncias produzidas no ER e que terão funções diversas dentro e fora do fungo; (VS) Vesícula secretora – organela responsável por armazenar e transportar substâncias; (VC) vacúolo – organela que serve para estocar principalmente água; (MI) mitocôndria – organela, com material genético próprio (DNA), onde acontece a respiração celular, um conjunto de reações químicas muito importantes envolvendo água, oxigênio e açúcar, que gera energia e gás carbônico; (NU) Núcleo – local onde fica o material genético (cromossomos) da levedura e transporta as informações hereditárias, indicando como a célula deve funcionar; (I) invaginação – região da membrana citoplasmática que sofre uma deformação para dentro da célula, formando uma bolsa, que envolve substâncias que serão transportadas para dentro da célula.

tituintes. No caso da sacarose, as enzimas invertases presentes no espaço entre a parede celular e a membrana plasmática da levedura (Figura 9) serão lançadas no meio onde está esse açúcar, que será quebrado em glicose e frutose, açúcares estes que se difundirão para o citoplasma das células da levedura, onde serão metabolizados. Já o amido é quebrado em maltose por enzimas amilases, naturalmente presentes na farinha. A maltose é um dissacarídeo formado por duas unidades de glicose unidas por determinada ligação química. Por não ser um monômero, a maltose não pode ser utilizada pela levedura antes de ser quebrada. A enzima maltase, alojada no interior das células da levedura, é que desempenha essa função. Sendo assim, conduzir a maltose até o interior da célula, onde ela poderá ser reduzida a monômeros de glicose, exige que a levedura realize um tipo especial de transporte, que necessita dela gasto energético.

Para obter energia metabolizando os açúcares simples, a levedura pode utilizar dois processos distintos: o da **respiração** e o da **fermentação**. Ambos iniciam com uma etapa em que cada açúcar simples é quebrado em duas partes denominadas de piruvato. A partir de então, há dois caminhos possíveis.

O caminho denominado de respiração se desenrola se houver grande quantidade de oxigênio no interior da célula da levedura. Neste caso, o piruvato penetrará no interior da mitocôndria, juntamente com o oxigênio. Uma quantidade suficiente de energia química será gerada para garantir a realização de todas as funções celulares, como a produção de substâncias e de estruturas, que servirão, entre outras coisas, para a célula fazer cópias de si mesma. É dessa forma que ocorre a multiplicação do fermento. Além da produção de energia, durante o processo de respiração, é liberado o gás carbônico.

Na massa de pão feita pela D. Maria Bellé, composta de água, açúcares, oxigênio e células vivas de *S. cerevisiae*, formam-se bolhas, bolhas de gás carbônico (CO_2), como se pode observar na figura 10. Esse é o mesmo tipo de gás que nossas células produzem ao realizarem a respiração celular. O CO_2 liberado pelas nossas células é um gás que precisa ser retirado do corpo, por isso suas moléculas vão para a nossa corrente sanguínea, onde cada uma delas se liga quimicamente a uma hemácia (célula vermelha), que a transporta até os pulmões, de onde o CO_2 é regularmente expelido por meio da expiração.

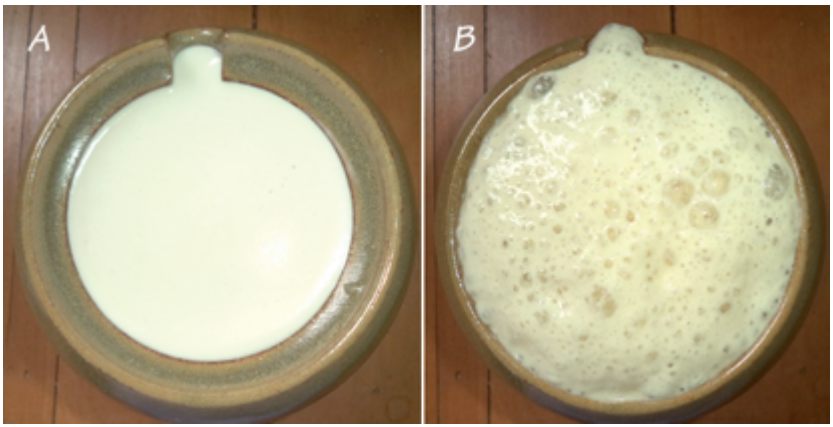

Figura 10: (A) Recipiente que recebeu farinha, água e fermento (*Saccharomyces cerevisiae*)e (B) recipiente horas depois, com muitas bolhas de gás carbônico, resultado da respiração das leveduras.

O outro caminho possível para a obtenção de energia, denominado de fermentação, é adotado pelas células de *S. cerevisiae* quando há baixas concentrações ou ausência de oxigênio (ambiente anaeróbico). No caso da produção de pães, por exemplo, o oxigênio aprisionado na massa durante a sova é consumido pela levedura num primeiro momento, até que se esgote. É a partir de então que a levedura inicia o processo de fermentação, responsável pela elaboração dos compostos mais importantes. O

principal deles é o CO_2, que ao se expandir durante a cocção será parcialmente retido pela rede de glúten da massa, formando os alvéolos que observamos no miolo dos pães. Durante a fermentação do pão ocorre também produção de etanol, álcool que é perdido por evaporação, principalmente devido ao calor do forno. Outros compostos também são formados, como ácidos orgânicos, álcoois, aldeídos e cetonas. Todos esses produtos contribuem, em menor ou maior grau, para definir características de sabor, aroma e textura típicas dos pães.

Verifica-se, assim, a versatilidade de *S. cerevisiae*, quando se trata de obter energia. A depender da presença ou ausência de oxigênio no ambiente, suas células podem optar por um desses dois caminhos metabólicos distintos, que foram apresentados.

Agora, imagine o que aconteceria a uma massa de pão, se a maioria das células do fermento utilizado estivesse morta. E mais, imagine se a massa preparada com um fermento assim tivesse como destino a produção de centenas de pães em uma padaria. Sem células vivas, todo o processo de fermentação deixaria de acontecer e, portanto, não haveria produção de gás. Sem gás carbônico para dar volume e leveza à massa, provavelmente o proprietário da padaria não teria muitos compradores para os pães.

Mas seria possível saber, visualmente, se a levedura está em boas condições e evitar o problema?

A produção de bolhas pelo fermento é um bom indicativo do seu nível de atividade. Em ambiente industrial essa técnica pode ser utilizada e é de fácil realização, mas é preterida por aqueles que a consideram pouco eficiente e optam por um teste, que, embora simples, exige que se disponha de um microscópio óptico para observação das células de cada amostra de fermento.

Para preparar uma amostra é preciso reativar o fermento, isto é, alimentá-lo previamente com alguma fonte de carboidrato (açúcar, por exemplo) e depois adicionar a ela um pouco de corante conhecido por azul de metileno. Esse corante irá penetrar nas células de levedura, que quando estiverem mortas, sem atividade metabólica, serão vistas na cor azul ao microscópio óptico, mas quando estiverem vivas ficarão incolores, porque suas enzimas irão alterar a estrutura química do corante. Portanto, quando um teste como esse for feito em qualquer indústria de pães e se detectar maior número de células azuis do que de células incolores, os panificadores poderão estar certos de que aquele fermento não funcionará corretamente e que o melhor a ser feito será descartá-lo. Já o fermento com maior proporção de células incolores na amostra observada, certamente desempenhará o papel esperado dele, resultando em massa crescida e pães dentro do padrão desejado pelos consumidores.

Quando descanso é trabalho

O preparo artesanal do pão, semanalmente realizado pela D. Maria Bellé, obedecia a um ritual, que começava no período da manhã, quando a cultura de *Saccharomyces cerevisiae* era renovada, com oferta de substrato para que as células do fungo se alimentassem e se reproduzissem. Depois do fermento ser reativado, o que acontecia até por volta do meio do dia, iniciava-se a fase do preparo da massa, que recentemente era feita com um quilograma de farinha, óleo e fermento. Em um recipiente espaçoso, D. Maria colocava a farinha, no centro da qual ela fazia uma cova, onde vertia uma xícara do óleo, e acrescentava

no mínimo 250 ml do líquido contendo o fermento reavivado anteriormente. Aos poucos esses ingredientes eram misturados e, logo em seguida, bastante pressionados com as mãos, até que uma massa uniforme e homogênea fosse obtida. Esse processo de amassar fortemente a massa é conhecido como sova. E não pense que esta etapa é moleza; ela exige força. Uma força que D. Maria Bellé bem sabia qual era.

E o que será que faz a massa ficar tão difícil de ser amassada e esticada?

Muitas pessoas não sabem que na farinha de trigo há duas proteínas insolúveis em água, a glutenina e a gliadina, que por meio da energia mecânica de pressionar a massa são rearranjadas, hidratadas e transformadas em uma rede proteica conhecida por **glúten** (= cola, do latim). É essa rede de glúten que retém o gás carbônico responsável pelo aumento de volume da massa, mas que também a torna elástica e, portanto, difícil de ser esticada. Quem já usou um pau de macarrão, esse instrumento cilíndrico que há muito serve para abrir massas de tortas que foram sovadas, sabe que é preciso força para esticá-las, porque elas tendem a retroceder ao ponto inicial.

Felizmente, a sova no preparo da massa de pão dura poucos minutos. Em seguida é preciso deixá-la "descansando" em local aquecido, para que cresça. Principalmente em dias mais frios, Dona Maria cobria o recipiente contendo a massa do pão com um cobertor. Fazendo isto ela garantia um ambiente mais quentinho, adequado à atividade do *S. cerevisiae*. Isto quer dizer, que em condições de boa alimentação e temperatura o fungo trabalha muito. De início, em presença de oxigênio, realiza a respiração celular para obter energia, liberando gás carbônico. No entanto, com o

passar do tempo, o interior da massa ficará pobre em gás oxigênio, condição que exige das células da levedura uma demonstração de versatilidade, deixando de realizar o processo de respiração celular, para iniciar o de fermentação, para obter energia. Por meio desta atividade, elas também produzem o gás carbônico, responsável pelo crescimento, ou melhor, pelo inchaço da massa, e pelo álcool, que como alguns outros produtos, serão responsáveis pelas características organolépticas dos pães.

Veja a imagem da figura 11A. Essa máquina, quase toda feita em madeira, era um tipo muito usado no início da vida de casada da D. Maria Bellé, que perdeu a conta de quantas vezes fez cilindros como esses girarem, comprimindo a massa até que

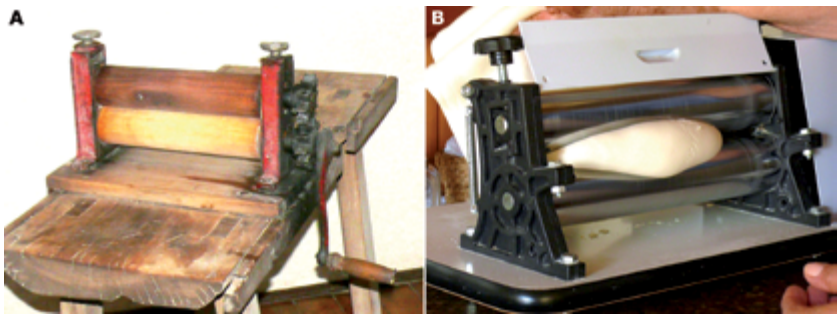

Figura 11: (A) Cilindro antigo, manual e feito quase todo em madeira; (B) cilindro moderno, movido à eletricidade e construído em metal.

ficasse macia, ao ponto de enrolar os pães. Tempos depois é que a máquina elétrica, como a da figura 11B, foi inventada e se tornou acessível, facilitando essa difícil etapa de cilindrar a massa.

E sabe por que é tão importante cilindrar o pão?

Quando a massa é pressionada entre os rolos, aumenta-se a força mecânica que provoca maior organização e união das proteínas glutenina e gliadina. Resulta daí o fortalecimento da rede de glúten e, consequentemente, a possibilidade de retenção do gás

carbônico produzido. A proporção entre essas duas proteínas é uma das características que diferencia um tipo de farinha de outro; as gluteninas deixam a massa mais elástica e coesa, enquanto as gliadinas impactam na capacidade da massa se estender e expandir. Portanto, uma boa massa de pão depende do equilíbrio entre essas proteínas. Dessa forma, grandes bolhas presas dentro da massa, como se pode ver na figura 11B, chegam a estourar durante a passagem pelos cilindros, o que é indicativo de que se pode parar de cilindrar e começar a enrolar os pães. Nesse ponto tudo fica mais fácil: cortam-se, então, pequenos pedaços de massa e enrolam-se os pães.

A massa, agora já no formato de pão, irá "descansar" novamente para crescer mais um pouco e recuperar o gás carbônico perdido na cilindragem e moldagem dos pães. Isso quer dizer que a levedura continuará a fermentar, até o momento de o pão ser colocado no forno para assar, garantindo, assim, um alimento macio e saboroso.

Massa "podre"

Como a maioria das pessoas, você já deve ter sido surpreendido com esse nome de massa. Algumas pessoas até já se perguntaram:

Será que se trata de massa estragada?

É claro que não; trata-se de uma massa especial e muito saborosa, com a qual fazemos principalmente empadinhas e algumas tortas doces.

Embora ela seja composta basicamente dos mesmos ingredientes que se utiliza para fazer a massa de pão, variando a quantidade deles. Mas, se e você atentar para a receita verá que há orientações para que os ingredientes sejam misturados suavemente, com as pontas dos dedos, sem pressioná-los. Essa mistura, que logo em seguida deve ser colocada na geladeira por um tempo mínimo de 20min, fica mais parecida com paçoca do que com massa de pão. Acontece que não pressionando os ingredientes evita-se a formação da rede de glúten e, consequentemente, o surgimento de elasticidade. Por isso, essa mistura, que não dá liga e se quebra com facilidade, ganhou o nome de massa podre.

Da pedra ensolarada ao tijolo esbraseado

Ao que tudo indica, antes da era Cristã os pães no Egito eram cozidos sobre pedras quentes e não eram fofinhos e saborosos como os de agora. Afinal, aqueles povos não dispunham das eficientes máquinas, caseiras ou industriais, e dos fogões movidos à lenha, gás ou eletricidade. Equipamentos que nos ajudam a preparar e assar de algumas unidades a centenas, milhares de pães por dia; pães que podem variar muito em formato, textura, composição e valor nutritivo — faça chuva ou faça sol!

Mas, entre o cozimento sobre pedras aquecidas e os fornos atuais, existiram várias maneiras eficientes de cozimento em fornos construídos à base de barro que, nem sempre, eram obras de engenharia humana. Um bom exemplo é a forma de construção que o Homem tomou emprestado de um inseto engenhoso e adaptou às suas necessidades. Trata-se de um excelente forno: cupiniforno (vide imagem no box). Ele é feito de uma mistura de barro com a secreção produzi-

Cupiniforno

Pizza em Cupinzeiro?

A foto não deixa dúvidas. Interessados em receber bem os calouros recém-chegados, alunos do centro acadêmico do Instituto de Biociências de Botucatu foram ao campo e coletaram dois cupinzeiros para assar pizzas com fogo à lenha e festejar. O mais difícil nessa história não foi, é claro, saborear as deliciosas pizzas. Foi, sim, transportar o cupiniforno, estrutura deveras pesada, composta de terra muito bem cimentada pela "saliva" de cupins.

da pelos arquitetos dessa obra, os cupins, que com essa secreção cimentam os grãos. Depois, essa estrutura toda é solidificada pelo calor do sol, que a torna muito resistente. Tão resistente que não só serve para assar pizzas por aguentar as altas temperaturas necessárias, como já foi objeto de estudos de engenharia e hoje se sabe que pode ser usada na construção de paredes de casas. Esse tipo de forno possui duas características semelhantes aos fornos utilizados nas áreas rurais (Figura 12), principalmente no início do século XX: os elementos constitutivos são cimentados com barro e eles têm um formato globoso.

Para poder assar pães em forno de barro, o primeiro passo é aquecê-lo, queimando lenha no seu interior, como se pode observar na imagem da figura 12A. Quando o calor for suficiente, as paredes internas do forno ficam esbranquiçadas. Nesse momento, a brasa e a cinza são retiradas com auxílio de uma vassoura de mato verde (Figura 12 B), popularmente conhecido por guanxuma, ou guanxumba, que é uma planta ruderal da família Malvaceae. Porém, antes dos pães serem colocados para assar, é preciso checar se o calor interno do forno não excedeu o ponto ideal de cozimento.

Mas, como fazer isso sem qualquer medidor de temperatura?

Alguém descobriu — sabe-se lá como! — um jeito infalível de avaliar se o calor não é excessivo: atirar um punhado de fubá no interior do forno, sobre a superfície onde os pães serão assados e observar com atenção. Caso o fubá não seja queimado, significa que o forno está pronto para receber os pães. Porém, se o fubá queimar, ficando escuro, indicará que o calor no forno ultrapassou o ponto ideal. Neste caso, com o forno quente demais, lança-se mão de mais um truque: passa-se uma vassoura de mato

Figura 12: Etapas de cozimento de pães em forno de barro: (A) Forno de barro, com lenha queimando para aquecê-lo; ao chão, do lado direito, uma caixa com a palha de milho — a palha de milho é colocada no interior do forno sob a lenha, e nela se ateia fogo para iniciar a queimada da madeira; (B) brasa sendo retirada do forno por D. Maria Bellé, com vassoura de mato verde molhado; (C) pães enfornados para assar sobre pedaços de folhas de bananeira; (D) abertura do forno sendo fechada com uma folha de lata; (E) pão assado sendo retirado do forno com uma pá de madeira.

verde umedecido com água, dentro de todo o forno. Esta água, ao evaporar, roubará calor e resfriará o ambiente interno do forno. Depois disso, faz-se outro teste com fubá. Se este queimar, a operação para resfriamento do forno deverá ser repetida. Porém, se o

fubá não queimar é sinal de que a temperatura está adequada para cozer o pão, que, a essa altura, já está totalmente crescido.

Mas, antes de introduzir os pães no forno, mais um bom recurso caipira, herança de nossos antepassados indígenas: folha de bananeira em substituição à assadeira. Pedaços dessa folha, colocados sob os pães, e assados em geral (ex. peixes), impede que pedacinhos de carvão e cinza fiquem aderidos à massa, sem impedir que o calor passe livremente para o pão, de forma bem distribuída. Enfornados todos os pães (Figura 12C), tampa-se a boca do forno com uma folha de lata (Figura 12D) para evitar que o calor se dissipe, quer dizer, se espalhe pelo ambiente externo antes de cozer os pães, que em condições adequadas ficarão prontos em, aproximadamente, uma hora.

Nessa uma hora de forno, muitas transformações acontecem na massa. Com o aumento da temperatura, o vapor se distribui pelo interior de cada pão. Certas ligações químicas, as pontes de hidrogênio existentes entre moléculas de amilose e amilopectina dos grânulos de amido, são rompidas e a água penetra entre essas cadeias. Assim, os grãos de amido vão aumentando de volume, sofrendo uma inchação e acabam por romper. Quando isso acontece, moléculas de amilose são liberadas, a viscosidade aumenta e essa solução de amilose e água fica translucida. Esse é o processo conhecido por gelatinização, que acontece entre 52 ^{0}C e 62 ^{0}C. Com a perda de água pela superfície, aos poucos do pão vai ganhando a crosta crocante, que com a Reação de Maillard (vide página 76) e caramelização, fica corada, cheirosa e saborosa, devido à formação de cetonas, aldeidos e melanoidinas (polímero contendo nitrogênio na molécula e responsável pela cor marrom).

Conforme o dito popular, o pão é um alimento que agrada

a gregos e troianos: clarinho para uns — casca macia envolvendo miolo massudo — e moreninho para outros — casca crocante abrigando o miolo fofinho.

Para fazermos um pão bem gostoso e com boas características sensoriais, devemos controlar muito bem a temperatura do forno, além de manter as proporções adequadas dos ingredientes. Isso porque se o forno estiver muito quente, a crosta vai se formar antes que o pão cresça; se ele estiver frio, o pão vai inflar muito antes que a crosta se forme.

Em anos recentes, a D. Maria Bellé usava um fogão a gás para assar os pães que fazia, mas foi naquele forno à lenha do sítio (Figura 12A), que ela assou a maioria dos pães que fez para sua família, quando o cilindro para preparar a massa ainda era manual.

Ritual e recompensa

Mesmo sem os conhecimentos científicos, balança, recipiente volumétrico e termômetro para controle de temperatura, os pães que D. Maria Bellé fazia eram maravilhosos na aparência e deliciosos no sabor e textura: casca fina e ligeiramente crocante, miolo macio acidulado. Esse pão assemelha-se aos que antigamente eram preparados e produzidos tanto nas casas como nas padarias, antes da indústria mudar o rumo da panificação, reduzindo a diversidade do mundo microbiano da fermentação da massa e tornando o processo rápido para atender à crescente demanda da população, bastante aumentada e concentrada nas cidades. Hoje, em um movimento de retorno às práticas tradicionais, uma corrente de pessoas mundo afora têm retomado os pães artesanais e

fermentados em geral, utilizando-se de fermentos naturais. Esse movimento fez o pão primitivo, caipira, ser considerado sinônimo de sofisticação e de boa alimentação.

E basta inicialmente uma mistura básica de farinha e água filtrada, bem espessa e homogênea deixada em repouso, para ser colonizada espontaneamente por diversas espécies de microorganismos fermentadores. Com alguns procedimentos que variam de pessoa a pessoa, no geral o que se faz ao longo de pelo menos 7 dias é acompanhar o crescimento da microbiota, mexendo e acrescentando boas doses de farinha (procedimento conhecido por refresca) e um pouco de água filtrada sem cloro, para suprir os microorganismos com o substrato que lhes serve de alimento. Tal procedimento pode ser precedido do descarte de parte da mistura, o que reduz um pouco a acidez do meio. É nesse período de tempo que a mistura, agora conhecida por fermento natural, "soudough" ou "levain", adquire as propriedades desejadas (ex. nível de acidez), adquire também a capacidade de fermentar massas utilizadas em produtos diversos (ex. pães, pizzas, panquecas), bem como de manter estável a diversidade microbiológica, que após uns 5 dias do início da colonização sofre certa redução.

Muitos estudos têm sido realizados no mundo todo para identificar espécies presentes e conhecer a maneira como elas atuam no fermento natural. Embora o processo ainda não seja completamente entendido, há fatos detectado em diferentes partes do mundo, que merecem destaque: a) a presença de notável diversidade de espécies; b) a ordem de sucessão de certos grupos de bactérias e fungos; c) a composição básica de bactérias ácido láticas e leveduras e d) e o processo integrado, colaborativo, que se estabelece entre as espécies de microrgansmos.

Após um dia de colonização do fermento natural, o grupo de bactérias ácido-láticas substitui bactérias do filo Proteobacteria. O maior número de espécies representantes das lactobactérias é do gênero *Lactobacillus* spp., mas foram encontradas muitas outras, por exemplo, *Lactococcus* spp., *Pediococcus* sp., *Weissella* spp. Em relação às leveduras, o aumento das espécies é progressivo e as comumente encontradas são a nossa já conhecida *Saccharomyces cerevisiae*, cuja persistência estável é atribuída a reintroduções do ambiente e da farinha acrescida, *Candida humilis*, recentemente reclassificada como *Kazachstania humilis*, e outras espécies do gênero *Candida*. A presença tanto de leveduras quanto de bactérias láticas no fermento artesanal, diferentemente do que ocorre com o fermento industrial ou muito selecionado, povoado apenas de *Saccharomyces cerevisiae*, gera uma vantagem metabólica para ambos os grupos microbianos em coexistência, o que caracteriza um tipo de interação cooperativa. Entram em cena enzimas da farinha (amilase), quebrando amido em maltose e glicose, e as espécies de microrganismos colonizadores liberando enzimas específicas sobre os carboidratos e as proteínas, para obterem as moléculas simples de açucares e aminoácidos. Os açucares simples os microrganismos usam na obtenção de energia e os aminoacidos principalmente na produção de ácido lático, gás carbônico e peptídeos. O ácido lático é o principal responsável pela característica básica das massas produzidas com fermento natural, que é o sabor ácido. Não bastasse ser essa uma característica valorizada, a acidificação também proporciona proteção contra microrganismos indesejáveis, aumentando a durabilidade do fermento natural e produtos derivados, bem como favorece a ação de enzimas como as amilases e as protea-

ses. A produção de frutose a partir de carboidratos da farinha, pela ação de enzimas liberadas pelas leveduras *Kazachstania humilis* e *S. cerevisiae* resulta em vantagem ecológica para os lactobacilos, capazes de utilizar esse monossacarídeo, ao diminuir a competição por carboidratos entre bactérias láticas e leveduras. De outra parte, os lactobacilos produzem tanto ácidos orgânicos (ex. ácido lático) como substâncias antibióticas, estas capazes de inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis que poderiam deteriorar rapidamente o pão. Tais substâncias têm sido consideradas responsáveis pela manutenção estável desse grupo de bactérias.

As diversas transformações levadas a cabo pela microbiota, com suas peuliaridades metabólicas, não apenas enriquecem a massa com minerais, aminoácidos e vitaminas, por exemplo, como eliminam fatores antigênicos do glúten responsáveis por diversos tipos de alergias e pela doença celíaca, doença esta em que antiorpos do indivíduo acabam por atacar células do seu próprio intestino. Apesar do componente genétido envolvido nessa reação ao glúten, tem surpreendido profissionais da saúde o crescente número de pessoas acometidas por essas doenças, por vezes atribuidas ao hábito de consumir pão industrializado, feito de farinha branca. Estudos em diversas áreas têm sido realizados (ex. imunologia, nutrição) na tentativa de melhor compreender e sanar os problemas decorrentes do glúten, que pode levar inclusive à morte do doente celíaco. Uma linha interessante de investigação inicia-se com a detecção de espécies silvestres de bactérias, que produzam enzimas (proteases) capazes de neutralizar a imunogenicidade do glúten, que possui diversos sítios moleculares (epitopos), que agem como antígenos e geram respostas imunológicas. A prolina, aminoácido que compõe a cadeia monomérica de glia-

dina, uma das proteínas do glúten, tem diversos deles. Quando o potencial da protease de uma espécie de microrganismo é testado e os resultados indicam eficiência necessária para neutralizar a imunogenicidade do glúten, o objetivo é estudar as melhores combinações dessa espécie com as de outros microrganismos fermentadores, para introduzí-la em fermentos naturais para massas alimentícias. Nessa linha, um estudo bastante interessante e animador foi realizado em 2019, por pesquisadores na Espanha. Eles isolaram da rizosfera associada a cereais, uma bactéria identificada como *Chryseobacterium taeanense*, cuja enzima prolil endopeptidase, demonstrou ter um potencial acima dos já encontrados para promover a degradação molecular de epítopos do glúten. Os pesquisadores acreditam que essa bactéria associada a outras que produzem proteases específicas para degradar os variados peptídeos imunogênicos do gluten, poderão eliminar totalmente esses componentes dos alimentos, por meio da fermentação.

Outro fato interessante que se constatou entre consumidores de pães artesanais foi o menor índice glicêmico, com relação àqueles que consumiram o pão branco industrializado. Dentre as explicações sugeridas, destacam-se a redução da taxa de digestão do amido, decorrente do ácido lático que é produzido, e à redução na velocidade de esvaziamento do estômago, em razão dos ácidos propiônico e acético. Além disso, a presença de compostos fenólicos, peptídicos e aminoácidos produzidos durante a fermentação, que teriam a capacidade de regular o metabolismo da glicose (ver também página 93 - trigo grão duro).

A esses benefícios, proporcionados pela fermentação natural, podemos acrescentar a transformação que ela provoca no ácido fítico, ao ponto dele perder o poder de impedir o aproveitamento de minerais existentes nos alimentos.

Parece claro, considerando os dados aprsentados, sem mesmo trazer os muitos exemplos conhecidos de benefícios proporcionados pelos demais tipos de produtos fermentados produzidos pela humanidade desde seus primórdios (ex. aumento na durabilidade, melhoria do sabor, aroma, qualidade funcional e nutritiva), que saúde e bem estar não rimam com pressa. Não combinam com o estilo de vida veloz que a sociedade assumiu, explodindo em número de viventes no planeta e consumindo sem qualquer parcimônia os recursos. Estilo assumido sem avaliar as consequências nefastas, que hoje nos ameaçam de todas as formas. Sem a movimentação e exercícios corporais exigidos dos caçadores-coletores que andavam livremente, muitos quebram um galho indo de carro às academias, depois de horas sentados trabalhando; sem a diversidade de alimentos consumidos com parcimônia, a maioria se empanturra de carboidratos, em geral contaminados de agrotóxicos; exagera-se também em gorduras e carnes de animais confinados e maltratados; sem tempo para a cesta diária revigorante, trabalhamos desejosos do final de semana e feriados prolongados, que surpreendentemente são curtidos por muitas pessoas em viagens estressantes, ou churrascos barulhentos com excesso de carnes e bebidas, ou em centros de compras apinhados de gente vidrada em celulares etc. É patente que a voracidade com que se enfrenta cada dia, em busca de dinheiro e de reconhecimento profissional, afasta as pessoas de vivências prazerosas, colaborativas e saudáveis. Por isso, antes que a deterioração da nossa condição física e emocional seja irreversível é preciso assumir atitudes de mudança, com paciência, esclarecimento e doses de desapego. Desapego de dogmas e de estilos de vida tão superficiais quão custosos e empobrecedores. Precisamos recuperar os ritos e os ritmos que são próprios da Natureza, como a arte de fazer pães,

que D. Maria Bellé me permitiu partilhar em um dia de trabalho, conversas e filmagens. Um dia de cuidar do fermento, ouvir sua história, produzir a massa do pão e sová-la com vigor até a hora de colocar para descansar e crescer. Durante esse descanso da massa o ar ganhou os aromas dos temperos do almoço, que saboreamos com mais alguns dedos de prosa. Seguiu-se a reorganização da cozinha, o trabalho de cilindrar e enrolar os pães, que também foram colocados para crescer, enquanto rumamos ao sítio, para repetir o antigo ritual de por fogo na lenha para aquecer o forno de barro, fazer de um punhado de fubá o sinal da temperatura ideal e colocar os pães para assar sobre pedaços de folhas de bananeira (Figura 12). Técnicas infalíveis para quem as domina. Enquanto isso, as Jataís roubaram a cena entrando e saindo do ninho instalado no meio do barro do forno, sem serem ameaçadas pelo calor.

Não há dúvida de que todo esse o trabalho é demorado, dependente de muita dedicação e esforço físico que gera cansaço, mas, certamente, nenhum músculo atrofiado. E mais, muito mais: um alimento nutritivo, com sabor e aroma sofisticados, graças ao trabalho lento e eficiente de bactérias e leveduras, que em parceria com a dedicação incanssável de D. Maria Bellé, reuniu as pessoas ao redor da mesa para repartir o pão, as histórias e os sonhos, tudo isso dando sentido à vida.

Fermentação, História e Saúde

O tempo passou e nos 4,5 bilhões de anos de idade do planeta Terra, vagando pelo espaço em sua órbita ligeira e regularmente variável, os continentes moldaram-se, deslocaram-se sobre o magma e continuam a transformar-se dia-a-dia, ora em silêncio imperceptível, ora em estrondosos choques, terremotos, avassaladoras erupções vulcânicas e soerguimento de montanhas. Além das mudanças continentais, mudaram os oceanos, o clima e os seres vivos, cujas espécies, surgidas desde aproximadamente 3,8 bilhões de anos, foram extintas ou floresceram com modificações genéticas e, não raro, fundando associações mutualísticas, que resultaram em novas espécies. Todas elas seres viventes que coevoluíram e continuam a fazê-lo, entre si e com o planeta onde foram gestados.

O ser humano, o gênero *Homo* ao qual pertencemos como espécie, é provável que tenha surgido entre três e dois milhões de anos atrás. O primeiro a ser citado é o *H. habilis*, que teria vivido entre 2 milhões e 780 mil anos, seguido dos primeiros humanos considerados modernos pertencentes à espécie *H. sapiens*, que teria habitado a terra entre 100 e 50 mil anos atrás e evoluído para o atual *H. sapiens sapiens*. Esses dados impressionam, porque nos revelam a grande velocidade de mudanças biológicas e sociais pelas quais o ser humano passou em relativamente curto espaço de tempo. Mudanças que levaram a população humana a se adaptar ao ambiente, crescer assustadoramente e a ocupar todas as regiões do planeta, o que se fez em estreita relação com diversas espécies de microrganismos, mesmo sem o saber por muito

tempo. Microrganismos que na Natureza, na superfície da pele e nas nossas entranhas, como o intestino, foram e continuam a ser essenciais, promovendo a ciclagem de nutrientes e participando de processos que nos suprem com ricos alimentos fermentados e vitaminas essenciais à manutenção das atividades fisiológicas normais. Com base em estudos comparativos com outros grupos de hominídeos e aves, por exemplo, verificou-se que as associações estabelecidas com microrganismos tiveram papel marcante na evolução social humana, embora estejamos habituados a considerar marcantes as mudanças sociais ocorridas a partir da revolução industrial em meados do século XVIII, provavelmente por serem estas mais recentes, de fácil acesso a dados para estudos e caracterizadas por crescente aumento populacional.

Estima-se que a humanidade tenha atingido o valor de 1 bilhão de pessoas no início do século XIX e que tenha dobrado de tamanho pouco antes da década de 1930, portanto, em aproximadamente 125 anos. A partir daí, o crescimento foi tão intenso que chegamos em 2018 com mais de 7,6 bilhões de terráqueos. Segundo estimativa da Organização das Nações Unidas, se seguirmos nesse ritmo e nenhuma catastrofe ocorrer, seremos 8,6 bilhões em 2030.

Após a revolução industrial, as atividades humanas se diversificaram, as relações sociais ganharam novos contornos. O núcleo familiar, até pouco tempo caracterizado pelas figuras paterna, materna e seus filhos, com o pai provedor e a mãe responsável pelas tarefas do lar, também mudou. Hoje há vários tipos de composição e de organização familiar, e todas elas com adultos que, em geral, trabalham fora de suas próprias casas, para buscar pela renda familiar ou para alcançar realização profissional em atividades diversas, embora, no caso das mulheres, sem abdicar totalmente das tarefas domésticas, que poucos homens

partilham com suas companheiras.

Tantas e tão marcantes mudanças imprimiram novo ritmo de vida. O tempo, que os poetas disseram ter tempo de tempo ser, ter tempo de tempo dar[5], parece não comportar mais tantos afazeres, com esse novo estilo de vida urbano, que se intensificou ainda mais a partir da segunda metade do século XX. Portanto, não causa surpresa que atividades caseiras laboriosas e, em geral, delegadas à mulher, como as de preparar as refeições e de produzir alimentos fermentados derivados de vegetais e animais, tenham sido muito afetadas. Dentre elas, talvez a mais comum e fortemente impactada, tenha sido a da panificação artesanal. Ao mesmo tempo, o fato de antes do início do século XX haver 178 patentes, garantindo a pessoas e a companhias o direito à fabricação de suas respectivas formulações de fermento fresco, indica a importância da fermentação no preparo de pães. Chegamos à atualidade não só com crescente número de padarias, mas — quem diria! — com fermento fresco vendido em tabletes ou em pó. A Companhia Feischmann, que recebeu o sobrenome de seu fundador Charles e destacou-se nesse ramo de produção de fermento para pães, já detinha patentes desde a década de 70 do século XIX.

Esse tipo de processamento industrial da levedura, que levou à queda do seu cultivo de forma artesanal, sem dúvida facilitou a produção de pães e de outras massas caseiras, mas também acarretou redução na diversidade biológica dos microrganismos presentes nas fermentações naturais e, consequentemente, na variedade e qualidade dos pães. Indústrias passaram a privilegiar algumas características de certas cepas de *S. cerevisiae*, replicadas à exaustão, e a menosprezar outras cepas e outras espécies. Con-

5 *Pauapixuna, música de Paulo André e Rui Barata.*

correu para a adoção do fermento industrial a praticidade, que favorecia os novos estilos de vida e o forte apelo do mundo dos negócios. Para entender adequadamente este aspecto da história, é preciso começar examinando a estrutura do trigo.

Como se pode observar na figura 8, o grão do trigo é composto basicamente de três partes: a casca, o endosperma e o gérmen. A casca fornece proteção contra o ataque de insetos roedores e microrganismos. O endosperma – estoque de alimento para o embrião – é a parte mais importante do grão, nutricional e economicamente falando, porque é rica em amido e proteínas, que são essenciais para a formação da rede de glúten (página 113) e para a produção de pães crescidos e macios. Por fim o gérmen – o embrião propriamente dito, que dará origem à nova planta – é rico em nutrientes essenciais ao desenvolvimento inicial da plântula.

Quando se produz a farinha branca, tanto a casca quanto o gérmen são retirados. A casca, embora rica em fibras e minerais, confere coloração escura à farinha. Já o gérmen, rico em proteínas e vitaminas, contém também lipídeos, que podem resultar em gosto rançoso e redução do tempo de viabilidade do produto estocado. A saída encontrada pela indústria foi retirar esses componentes da farinha tornando-a mais atraente e durável, embora, do ponto de vista nutricional, ela tenha ficado empobrecida. Quando se retiram a casca e o gérmen do grão de trigo, perde-se em torno de 25% das vitaminas, dos antioxidantes, dos minerais e dos óleos ali existentes.

Antigamente, com sistemas de moagem rudimentares como aqueles que faziam uso de moinhos de pedra, o grão era esmagado integralmente. Esse processo permitia que partes do farelo e do gérmen permanecessem na farinha, mesmo quando refi-

nada. Assim produzida, a farinha era mais escura e mais saborosa do que a farinha industrial, porém sua durabilidade era menor. A introdução dos cilindros para moagem, em meados do século XIX, fez com que o farelo fosse totalmente excluído dela. Por isso, o pão feito com essa farinha industrial passou a apresentar características diferentes: ficou mais claro, mais adocicado e mais macio. Não era para menos, uma vez que o farelo, além de escuro, é relativamente amargo e desestabiliza a rede de glúten, necessária ao crescimento do pão. Quanto maior a proporção de farelo na farinha, mais fraca será a rede de glúten formada durante a sova da massa, que represará menos gás carbônico produzido no processo de fermentação, o que implicará em seu menor crescimento. Mas essas não foram as únicas razões às quais se credita o sucesso da farinha branca. É preciso incluir, nesse rol de eventos, a maior durabilidade que ela ganhou, decorrente da retirada do gérmen e, com ele, os lipídeos.

Nesse contexto, os dados não deixam dúvida que os investimentos na produção da farinha branca não priorizaram a sua boa qualidade nutricional, mas uma lógica meramente capitalista. Ela passou a ser considerada uma "commodity", ou seja, produto uniforme em qualidade e características, que não nos permite saber a origem de cada remessa e favorece a determinação internacional de preços com base na lei de oferta e procura. Isto significa que se a procura por um determinado produto (ou serviço) exceder em demasia a sua oferta, ele tenderá a ter seu preço aumentado, e vice-versa. Essas oscilações de preço deixarão de acontecer, para cima ou para baixo, apenas enquanto oferta e procura se mantiverem em um patamar equivalente.

Com a casca e ao gérmen, retirados dos grãos de trigo, novos produtos passaram a ser preparados e ganharam destaque. A

casca deu origem ao farelo, produto introduzido inicialmente na de alimentação animal e mais recentemente adicionado a produtos da alimentação humana, e o gérmen, por sua vez, passou a ser utilizado em novas formulações da indústria farmacêutica.

Leveduras em novo cenário científico-tecnológico

A história das leveduras e bactérias fermentativas está imbricada na do ser humano, particularmente do ser humano sedentário, que fixou residência e estabeleceu nova forma de interagir não apenas com plantas e animais, mas também com os microrganismos fermentativos, que só recentemente, com o advento do microscópio, foram observados e estudados. Enquanto para muitas pessoas esse processo é visto como unilateral, com o ser humano desempenhando o papel ativo e dominante de manipular, de selecionar espécies para fins desejados (ex. a aroma, sabor, qualidade nutricional), outras pessoas entendem-no, a partir de estudos recentes, como sendo um processo construído por coparticipantes dessa aventura que é a vida. Coparticipantes que por meio de reações sutis, ainda pouco investigadas e pouco compreendidas, levam as espécies interatuantes a se influenciarem e adaptarem entre si e com o ambiente onde se encontram. Portanto, seres que coevoluem, constroem-se a si mesmos e a seus nichos ecológicos, a partir das complexas interações que estabelecem. E não teria sido diferente com *Saccharomyces cerevisiae*, que se tornou uma das espécies mais marcantes na história de diferentes povos. Ela é hoje um modelo de estudos, principalmente em bioquímica, genética, tecnologia farmacêutica, de alimentos e de combustíveis, por ser de relativamente fácil manipulação, além de

possuir características especiais de interesse biotecnológico. Apesar de ela ser o alvo em formulações industriais de fermento comercial, os processos fermentativos, que acompanharam diferentes povos desde os primórdios da humanidade, são resultado de fungos e bactérias de espécies diversas em parceria. Dessa forma, sabemos hoje que os microrganismos conferem qualidades específicas a cada alimento produzido, e principalmente, realizam uma pré-digestão, responsável pela possibilidade de aproveitamento de certos produtos orgânicos, que não teríamos como absorver e nos causariam problemas imunológicos, por exemplo.

O longo processo de construção do conhecimento sobre microrganismos e fermentação deveu-se, na aurora da história, a indivíduos anônimos que iniciaram empiricamente, por meio de observações perspicazes e de intervenções criativas, a produção e conservação de bebidas e alimentos fermentados. Posteriormente, esse caminho foi trilhado por muitos indivíduos pesquisadores, alguns dos quais reconhecidos por feitos memoráveis, como Louis Pasteur, que criou um processo para conservação de alimentos, que hoje conhecemos por pasteurização. Aos poucos, munidos de seus talentos pessoais e apoiados cada vez mais em conhecimentos prévios, pesquisadores elucidaram diversos fenômenos do processo fermentativo, enquanto novos equipamentos e metodologias foram sendo desenvolvidos e ajustados aos interesses e necessidades de cada época.

É importante destacar, que foi a partir do século XVII que o conhecimento humano ampliou-se e aprofundou-se notavelmente, protagonizado pela física, com pesquisadores que passaram a apoiar-se na matemática como ferramenta e nos testes experimentais, em busca de comprovação de suas hipóteses sobre fenômenos da Natureza. Após a contribuição de Niels H. D. Bohr

à teoria atômica, em 1913, o modelo atômico proposto por ele permitiu explicar como átomos podiam se combinar, por meio de seus elétrons, para formar moléculas e estas também se modificarem e recombinarem resultando em novos compostos. Com isso, a química e a biologia puderam desenvolver conceitos novos e avançar como até então não fora possível. Auxiliadas por metodologias de pesquisa e equipamentos constantemente aprimorados, essas áreas integraram-se na compreensão do mundo vivo desenvolvendo explicações de importantes processos bioquímicos e fisiológicos.

A biologia, além de avançar na compreensão da estrutura celular e processos envolvidos em seu metabolismo, deu um grande salto qualitativo a partir do modelo do material genético (DNA), em dupla hélice, proposto por James D. Watson e Francis H. C. Crick, em 1953. Esse modelo nos permitiu explicar, com clareza e coerência, o processo de multiplicação (reprodução) celular, herança genética, evolução biológica, síntese de substâncias, entre outros. Esse modelo foi, sem dúvida, a contribuição que possibilitou o maior número de desdobramentos científico-tecnológicos na área biológica, durante o século XX e até hoje. No entanto, como apresentado anteriormente, outros passos nos levaram a conhecimentos sobre a existência, o papel e o funcionamento da célula, bem como sobre a estrutura, o funcionamento e a classificação dos seres vivos. Esses conhecimentos também foram fundamentais para que outros fenômenos fossem desvendados e compreendidos, inclusive sobre a existência e importância das leveduras nos processos fermentativos e nutricionais.

De posse desses conhecimentos, o fungo *S. cerevisiae* não tardou a ser eleito objeto de estudos em biologia molecular. Por seu intermédio, e em relativamente pouco tempo, foi possível realizar muitas investigações científicas e reunir dados relevan-

tes sobre processos bioquímicos celulares. Mais tarde, em 1996, *S. cerevisiae* destacou-se ao ser o primeiro organismo eucarionte a ter seu DNA sequenciado. Os resultados obtidos com essa espécie têm sido fundamentais para avanços teóricos em diversas áreas, bem como para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de processos biotecnológicos industriais.

No entanto, trata-se de um tipo de pesquisa científica de concepção reducionista e mecanicista, inspirada em contribuições teóricas de Francis Bacon, René Descartes, Isaac Newton, que preconiza o profundo conhecimento das partes envolvidas em cada fenômeno investigado, para que, ao final, se busque compor e compreender o todo, com as devidas explicações. Por esse caminho foram reunidos muitos e importantes conhecimentos, que nos proporcionaram explicações sobre aspectos variados do mundo físico e biológico, melhorias nas condições gerais de vida com vacinas nos imunizando contra doenças, meios de transporte mais eficientes, ferramentas e máquinas que facilitaram trabalhos desgastantes etc. Não podemos deixar de mencionar, que, apesar da grandeza e beleza de todas as construções científico-tecnológicas, não faltam exemplos de uso desvirtuado delas, seja provocando grandes desigualdades sociais, opressão de pessoas, desastres ambientais e enorme mortandade devido ao poderio bélico em guerras. Por isso as questões éticas precisam fazer parte da formação de pesquisadores que são responsáveis por decisões sobre a natureza de suas pesquisas e pertinência da divulgação de seus resultados, considerando os ambientes sociopolíticos de cada momento.

Com os grandes avanços e conquistas proporcionados, o conhecimento científico passou a ser considerado sinônimo de verdade. Imperavam as certezas acerca de tudo, inclusive do que poderíamos realizar e prever com base nesses conhe-

cimentos. Contudo, nas duas primeiras décadas do século XX, estudiosos voltados ao mundo subatômico – como Werner K. Heisenberg, Niels H. D. Bohr, Max K. E. L. Planck, Albert Einstein e Paul A. M Dirac – se deparam com fenômenos inimagináveis, que não podiam ser explicados com base nos conhecimentos existentes àquela época. As certezas que o conhecimento científico alimentara até então estavam sendo abaladas por comportamentos anômalos, imprevisíveis, não lineares e inexplicáveis das subpartículas atômicas. Comportamentos que não condiziam com o que podemos experimentar no nosso cotidiano, no mundo macroscópico. Assim, dava-se conta de que a Natureza é bem mais do que a soma de partes menores que a compõem. Dava-se conta de que a Natureza é complexa e imprevisível, que os seus incontáveis elementos interagem e influenciam-se mutuamente, de forma a fazer emergir propriedades novas dessas interações. São elas as denominadas propriedades emergentes, que individualmente nenhum dos elementos interatuantes possui. Portanto, a Natureza, com seus variados ecossistemas aquáticos, terrestres e que compõem os corpos dos seres vivos, não mais podia ser interpretada, compreendida por meio da simples redução a pequenas partes, que depois de bem conhecidas nos levariam à compreensão do todo. A partir de então, novas ferramentas teóricas e práticas seriam necessárias, para que pudéssemos avançar na compreensão do mundo em toda a sua complexidade.

Nessa linha de entendimento, as interações entre os seres vivos deixavam de ser interpretadas de maneira simplista. Reações de causa e efeito e de luta por sobrevivência, premiando o mais forte e supostamente mais capaz, abriram espaço para a compreensão de processos interativos não lineares baseados em dinâmicas de retroalimentação de resultados imprevisíveis, com

espécies participando principalmente de relações cooperativas, como aquelas existentes entre os microrganismos do kefir e demais processos fermentativos.

Outro exemplo desse tipo de relação, muito ilustrativo e com desdobramentos importantes para a saúde humana, é o que acontece com a nossa microbiota. Ela é composta de trilhões de microrganismos que habitam os tratos respiratório, geniturinário, gastrointestinal, como também olhos e pele dos seres humanos. Não nos esqueçamos das organelas celulares, como as mitocôndrias e, no caso dos seres fotossintetizantes, os cloroplastos, considerados simbiontes mutualísticos, segundo a teoria da simbiogênese sequencial.

Em termos numéricos, estudos recentes têm indicado que apenas 43% das células que compõem o corpo humano correspondem a células somáticas — aquelas que estruturam os tecidos do corpo, como da pele, estômago, pulmões, sangue e ossos, por exemplo — o restante corresponde a microrganismos associados. Entender como a presença desses microrganismos interfere na saúde e na qualidade de vida tem sido o objetivo de pesquisadores do chamado microbioma, ou seja, do conjunto de microrganismos que vive em relação simbiótica com o corpo humano. No caso da nossa microbiota, composta principalmente por espécies de bactérias e de alguns fungos, não ocorre perda de individualidade dos organismos envolvidos, como se supõe que ocorreu com mitocôndrias, por exemplo, presentes nas células eucariontes, mas, ainda assim, as interações que se estabelecem são muito estreitas e vão além da simbiose de cooperação ou comensalismo. De qualquer forma, melhorar o nosso conhecimento sobre a comunidade microbiana que faz parte do nosso corpo e particularmente do nosso intestino é fundamental.

Porém, as buscas por essa compreensão só começaram a avançar recentemente, em parte pela falta de percepção do grau de importância dessas associações e em parte devido às novas ferramentas tecnológicas. Um exemplo disso foi a possibilidade de detectar a presença de certos taxa de bactérias e fungos, por meio de análise da região 16S do RNA ribossômico (sobre esse assunto, ver Decifrando códigos, reinterpretando parentescos, página 43).

Alguns exemplos nos ajudam a ilustrar como a microbiota interfere em nossa saúde. Se pensarmos, por exemplo, na microbiota da pele humana, veremos que em um indivíduo, com cerca de 2 m^2 de pele, há diversas espécies de bactérias, principalmente dos gêneros *Corynebacterium*, *Propionibacterium* e *Staphylococcus*. De apenas um fungo muito comum, gênero *Malassezia*, foram encontradas 5 espécies em indivíduos saudáveis. Todos esses microrganismos oferecem proteção contra outros tipos de bactérias e fungos, que são denominados de oportunistas. Os oportunistas, como fungos do gênero *Candida* e de alguns outros gêneros, em geral colonizam determinadas regiões da pele de pessoas que estejam com o sistema imunológico debilitado, como acontece com os portadores do Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV – sigla a partir do inglês "Human Immunodeficiency Virus") ou de pessoas que estejam com a microbiota da pele comprometida. Quando isso acontece, os microrganismos oportunistas podem causar graves problemas no tecido.

Outro caso interessante acontece quando há mudanças muito drásticas na proporção dos microrganismos componentes da microbiota vaginal, fato que tem sido associado à indução de nascimentos prematuros. No ambiente vaginal os *Lactobacillus* responsáveis pela produção de ácidos, que conferem proteção contra bactérias e fungos oportunistas, podem, em algumas situações,

diminuir em número, reduzindo assim suas populações. Quando isso acontece, outros microrganismos podem se multiplicar mais intensamente e passam a predominar. É dessa forma, que *Gardnerella vaginalis*, *Atopobium* sp. e *Prevotella* sp., por exemplo, podem aumentar suas populações e causar a vaginose bacteriana, doença responsável pelo nascimento de crianças antes do momento considerado ideal. Portanto, os *Lactobacillus* precisam não apenas estar presentes na vagina, mas em certa proporção com relação aos demais microrganismos, para que isso resulte em benefício à mulher e ao bebê, ao promover sincronismo entre o desenvolvimento adequado do feto e o momento do nascimento.

Fato igualmente intrigante é o que acontece com mãe e filho, durante o período de amamentação. Curiosamente, o leite materno contém um tipo de açúcar complexo (oligossacarídeo) que não pode ser digerido pela criança, uma vez que as enzimas necessárias para sua quebra ainda não são produzidas nesse estágio de vida. Parece um contrassenso a mãe produzir leite com um componente que não tem como ser utilizado pela criança, mas as adaptações que ocorreram ao longo de milhares de anos de evolução, precisam bem mais do que conclusões apressadas, precisam de estudos abrangentes e aprofundados para serem compreendidas. Precisamos levar em conta as intrincadas associações que o ser humano mantém com os demais seres vivos, em especial com a imensa microbiota que povoa a sua pele, vias respiratórias e intestinais. E foi a partir dessa linha de interpretação, que surgiu uma explicação plausível para a presença do açucar complexo no leite materno. De acordo com ela, esses açúcares seriam destinados a nutrir determinados grupos de bactérias, como *Bifidobacterium infantis*, que compõem a microbiota dos mamilos da mãe. Essa bactéria, que é capaz de colonizar o

trato gastrintestinal do recém-nascido ao ser ingerida por ele com o leite, tem a capacidade de dificultar a adesão de bactérias patogênicas nas suas paredes intestinais. Dessa forma, *Bifidobacterium infantis* contribui para a boa saúde da criança. Alguns estudos têm indicado, que distúrbio nas proporções adequadas dessa bactéria no estágio inicial de colonização do trato gastrointestinal do bebê, pode também causar, posteriormente, problemas imunológicos, inflamatórios e até mesmo favorecer a obesidade.

Para compreender o grau de interação e interdependência existente entre o ser humano e sua microbiota, será tratada com mais detalhes aquela que se aloja no trato gastrintestinal, principalmente no intestino grosso, que tem a maior concentração em número e espécie de microrganismos. Essa escolha deveu-se tanto ao papel de destaque que a microbiota intestinal, referida também como indígena ou autóctone, tem na manutenção da nossa saúde, como pelo fato de haver certa relação simbiótica dessa microbiota com o conhecido *Saccharomyces cerevisiae*.

Rede complexa de fenômenos desafiadores

Atualmente há inúmeras e convincentes evidências de que a microbiota do intestino humano é diversa, de composição singular em cada indivíduo e de papel fundamental na manutenção de pessoas saudáveis. O que ainda gera controvérsias é a hipótese de que os primeiros inóculos da microbiota aconteceriam durante a vida intrauterina, com bactérias úteis migrando primeiramente da microbiota intestinal da mãe para seus órgãos extra-intestinais, como, por exemplo, as glândulas mamárias e placenta.

Embora avanços tecnológicos tenham propiciado investigações mais detalhadas e aprofundadas em anos recentes, é preciso nos lembrarmos de que as primeiras espécies de microrganismos intestinais só começaram a ser mais bem conhecidas e caracterizadas por volta de meados do século XIX, com interesses voltados principalmente à compreensão e cura de problemas comuns de diarreia que acometiam a população, como revela o histórico apresentado pelo médico francês Henry Tissier, em seu estudo datado de 1900. Nesse trabalho, interessado em entender sobre a microbiota intestinal de lactentes em estado normal e patológico ("Recherches sur la flore intestinale des nourrissons: état normal et pathologique"), o médico chegou à conclusão de que útero normal era útero estéril. Segundo ele, recém nascidos normais seriam aqueles isentos de bactérias intestinais. Esse estudo foi amplamente aceito e com base nessa crença, nem mesmo o crescente número de evidências indicando a apresença de bactérias da microbiota no leite materno, sangue do cordão umbilical, fluido amniótico e placenta, por exemplo, foram suficientes para derrubar o paradigma do útero estéril. Muitos profissionais preferem assumir explicações relacionadas a possíveis contaminações, do que supor a existência de migração de certas bactérias úteis da microbiota intestinal da mãe, via circulação linfática ou sanguínea, iniciando a colonização saudável do feto.

Dentre os diversos resultados de experimentos científicos, um deles, particularmente ilustrativo, foi fundamental para sustentar a hipótese de que fetos poderiam ser, de fato, inoculados com algumas bactérias do microbioma materno. Nessa investigação, os pesquisadores trabalharam com uma bactéria (*Enterococcus fecium*) obtida do leite de uma mulher saudável. Essa bactéria, após ter sido marcada geneticamente foi administrada a ratas pre-

nhas de um grupo experimental. Um outro grupo de ratas prenhas que não recebeu essa bactéria modificada, também foi acompanhado (grupo controle), para servir de comparação. Todas as ratas foram submetidas a cesariana, para não haver contaminação das crias durante o parto, e apenas as ratas inoculadas deram à luz filhotes que apresentaram bactérias marcadas no mecônio, indicativo de que os microrganismos cruzaram a barreira plascentária.

Diante das diversas evidências de que bactérias do intestino materno migram para outras regiões extra-intestinais e considerando a existência de barreira intestinal (células epiteliais estreitamente ligadas umas às outras e a presença de muco) impedindo livre acesso de bactérias da luz do intestino ao interior do corpo, como explicar a migração de representantes úteis da microbiota materna para sítios extra-intestinais durante a gravidez?

A explicação elaborada levou em conta o conhecimento da estrutura microscópica dos tecidos do intestino e a constatação da presença de certas bactérias da microbiota intestinal não apenas no leite materno de mulheres grávidas, como também em determinado tipo de célula branca do sangue, denominada cientificamente de célula dendrítica. Esta célula, possuidora de expansões que lhe dão aspecto estrelar, está relacionada ao sistema imunológico de defesa e é capaz de projetar suas expansões pela junção das células epiteliais até atingir a luz intestinal. Quando isso acontece, ela pode capturar bactérias presentes nesse local e incorporá-las ao seu citoplasma. Depois disso, por meio de vasos linfáticos e sanguíneos periféricos, a célula dentritica migra para regiões extra-intestinais, até atingir estruturas como glândulas mamárias e placenta, para as quais transfere as bactérias intestinais incorporadas ao seu citoplasma. Portanto, via placenta, o feto pode receber as primeiras contribuições para a composição

de sua microbiota, posteriormente enriquecida durante o nascimento, na passagem pelo canal vaginal, por meio da amamentação e também com contribuições do ambiente em que vive o bebê.

De maneira geral, por volta dos três anos de idade completa-se a composição da microbiota intestinal da criança, que pode variar de quatrocentas a mais de mil espécies. Essa microbiota, composta principalmente por bactérias dos filos Bacteroidetes e Firmicutes e por alguns fungos, deverá acompanhá-la por toda a vida adulta. Estima-se que um indivíduo adulto tenha por volta de cem trilhões de microrganismos concentrados massivamente na região do cólon. Para manterem-se vivos desempenhando seus papeis, esses micorganismos precisam de alimentos adequados oriundos da nossa alimentação. A depender da composição da nossa dieta (apenas vegetais, apenas carne ou misto de vegetais e carnes) será organizada a estrutura dessa comunidade, que poderá variar sempre que alterarmos a natureza da dieta que consumimos.

Para identificar as espécies componentes da microbiota, os estudos iniciais eram baseados em culturas dos microrganismos fecais em laboratório. No entanto, como não era possível oferecer as condições intestinais específicas desfrutadas pelas espécies, os resultados eram, provavelmente, subestimados, como também podiam incluir algumas espécies que não residiam no intestino, mas que apenas transitavam por ele. Posteriormente, com novas técnicas de amplificação e identificação de material genético (sobre esse assunto consultar página 44 e nota sua de rodapé), detectaram-se novos integrantes e a lista de microrganismos existentes no trato gastrointestinal aumentou, mas ainda não resolveu a questão sobre quais seriam as espécies a ter ali o seu nicho primário. Assume-se que tais espécies, para ali poderem residir,

sejam capazes de pelo menos resistir às condições estressantes do intestino, como a temperatura de 37°C e altas concentrações de sais biliares. Dentre os microrganismos mais representativos da microbiota gastrintestinal estão alguns pertencentes aos gêneros: *Escherichia*, *Bacteroides*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*. Estão presentes também espécies de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, por ora consideradas residentes ou autóctones, bem como fungos do gênero *Candida* (*C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis* e *C. glabrata*). Acredita-se que no caso de *Saccharomyces cerevisiae* e *Aspergillus* aff. *versicolor*, fungos também detectados no trato gastrointestinal humano, a presença resulte de serem comumente ingeridos na alimentação. A primeira espécie tem vida silvestre associada a frutos e a segunda ao solo e matéria vegetal, locais onde teriam construído, respectivamente, seus nichos primários. Por isso, segundo alguns pesquisadores, essas espécies não deveriam ser consideradas residentes do intestino, nem verdadeiros comensais, mesmo sendo capazes de crescer a 37°C. O fato de *S. cerevisiae* ser ingerido repetidas vezes pelos humanos faz dele o fungo mais detectado em amostragens fecais. Devido a essas suas peculiaridades, é provável que *S. cerevisiae* participe de interações com outras espécies da microbiota intestinal, apesar do seu nicho primário não ser esse.

Outro exemplo nos ajuda a ilustrar como a microbiota intestinal constantemente se transforma, influenciada pelo tipo de alimentação do seu hospedeiro humano. Pesquisadores detectaram grande diversidade de enzimas ativas de carboidratos, capacitando humanos a obter energia de polissacarídeos de plantas terrestres. Intrigou-os o fato da informação para a produção dessas enzimas não estar no genoma humano, mas, sim, em espécies

de bactérias da microbiota intestinal. Essa constatação levou os pesquisadores a se perguntarem:

— Como foi possível bactérias intestinais terem se capacitado a produzir tamanha diversidade de enzimas ativas de carboidratos, adquirindo genes de bactérias externas, que não fazem parte do ambiente intestinal?

Em busca de resposta a essa questão, os pesquisadores voltaram-se ao estudo de uma enzima denominada de porfiranase (β-porfiranase). Essa ezima, que é produzida pela bactéria *Zobellia galactanivorans*, é capaz de quebrar porfirano, um tipo de polissacarídeo presente em algas marinhas vermelhas (*Porphyra* spp.). Fazendo uso dos monômeros obtidos, *Z. galactanivorans* obtém energia necessária ao seu metabolismo. A novidade nessa história foi detectar os genes que codificam a enzima β-porfiranase em *Bacteroides plebeius*, uma espécie de bactéria isolada do intestino de japoneses. Os pesquisadores verificaram que apenas populações de japoneses apresentavam a enzima β-porfiranase produzida por *B. plebeius*.

Então, como explicar a presença da enzima β-porfiranase em populações de japoneses, mas não nas de brasileiros, italianos, americanos etc.?

Considerando que os japoneses consomem algas de diversos tipos constantemente nas refeições e que bactérias têm enorme capacidade de intercambiar genes, característica esta muito destacada por Lynn Margulis, uma explicação plausível foi elaborada. Segundo esta, *Zobellia galactanivorans* teria sido regularmente ingerida nas refeições dos japoneses junto com as algas e teria transferido parte de seu material genético, contendo os genes codificadores da β-porfiranase, para a bactéria *B. plebeius* dos orientais.

Além de responder ao tipo de dieta do seu hospedeiro, a microbiota que habita o lúmen intestinal estabelece estreita relação com o sistema nervoso central (SNC) e com o sistema nervoso entérico (SNE), este considerado o nosso segundo cérebro, por ser capaz de agir sobre funções intestinais independentemente de qualquer comando cerebral. O crescente número de evidências sobre a interação bidirecional que se estabelece entre o intestino e o cérebro, tem indicado que eles se comunicam basicamente por meio de um sistema interativo complexo, que envolve mecanismos de sinalização de natureza nervosa (nervo vago, cordão espinal e sistema nervoso entérico), endócrina (eixo hipotálamo -pituitária-adrenal), imunológica (citocinas) e metabólica (ácidos graxos de cadeias curtas, triptofano etc.).

Alterações no diálogo estabelecido entre intestino-cérebro-microbioma podem provocar distúrbios gastrointestinais inflamatórios, autoimunes, metabólicos e até mesmo neurológicos. Algumas doenças têm sido reconhecidamente associadas a alterações na estrutura e composição da microbiota intestinal (disbiose), com destaque para a doença inflamatória do intestino, síndrome do intestino irritável, infecções gastrointestinais e diarreia associada ao uso de antibióticos. As citações, que não param por aí, evidenciam outras condições anormais como obesidade, síndrome metabólica, enterocolite, artrite reumatoide e diabetes. À microbiota também tem sido atribuído papel na regulação de genes e neurotransmissores que modulam doenças psiquiátricas, como autismo, ansiedade e depressão. Testes de laboratório, com roedores livres de microrganismos, indicaram que a microbiota intestinal foi responsável também por alterações no desenvolvimento de circuitos neuronais cerebrais, associados à exibição de certos comportamentos relacionados à

ansiedade, controle motor, memória e aprendizado.

Esse cenário fez crescer o interesse e os investimentos, de microbiologistas e de neurocientistas em mais amplas e aprofundadas investigações científicas, visando a compreensão dos mecanismos envolvidos nessa comunicação intestino-cérebro-microbioma, que sejam capazes de dar suporte ao desenvolvimento de estratégias de tratamento aos distúrbios de saúde em que a disbiose esteja envolvida. Muitas e promissoras pesquisas, para amenizar ou até mesmo suprimir os problemas por meio da reconstituição do estado normal da microbiota intestinal (eubiose), têm sido conduzidas.

Dentre os papéis desempenhados pelos microrganismos da microbiota intestinal verificou-se, por exemplo: a) participação na recomposição e preservação da integridade da mucosa intestinal; b) indução da maturação do tecido linfoide; c) degradação de alimentos da nossa dieta; d) síntese de vitaminas como as da família designada por MK-n, imprescindíveis à coagulação sanguínea normal (K1) e direcionamento adequado do cálcio para ossos e dentes (K2) e a biotina (B7), envolvida no metabolismo das bases púricas, biossíntese de ácidos graxos etc; e) absorção e armazenamento de certos minerais; f) regulação do apetite; g) defesa do organismo contra microrganismos patogênicos (internos e colonizadores) por meio de imunoglobulina A (anticorpo) e mucina, ou restringindo-lhes alimento e acesso a nichos ecológicos específicos; h) degradação de substâncias estranhas, denominadas de xenobióticas, que são, em geral, nocivas à nossa saúde (ex. inseticidas e fármacos); i) produção de neurotransmissores (serotonina, ácido gama-aminobutírico ou GABA, dopamina, acetilcolina), que estabelecem comunicação local com o sistema nervoso entérico, e por meio da corrente sanguínea somada às fi-

bras aferentes do nervo vago age no sistema nervoso central (cérebro e pequenas áreas denominadas de órgãos circunventriculares encefálicos); j) proteção contra fatores imunogênicos, isto é, certas estruturas moleculares que podem induzir resposta imunológica cruzada contra estruturas do próprio organismo (autoimunidade).

Nas duas últimas décadas avançou-se muito no sentido de compreender a natureza das interações da microbiota intestinal com células do sistema neuroimunoendócrino. Porém, há muito ainda por ser compreendido, particularmente sobre como os microrganismos das diferentes espécies, por meio de seus metabólitos específicos, participam dessa rede complexa de comunicação, influenciando-a e sendo por ela influenciados, de tal forma a poder determinar estados de saúde e doença de uma pessoa. Além disso, apesar de evidências clínicas, a maioria dos dados obtidos até agora resultaram de testes experimentais realizados em laboratório com mamíferos roedores em condições específicas e controladas (ex. imunodeficientes submetidos ou não a algum tipo de estresse, colonizados por microrganismos e não colonizados por eles, estes conhecidos como "germ-free"). Portanto, são condições de relativamente baixa complexidade, se comparadas às dos humanos submetidos a experimentos equivalentes. Isso porque os humanos possuem estados físico, emocional e psicológico que sofrem alterações e são inacessíveis ao controle do experimentador. Além disso, possuem composição e estrutura da microbiota, que além de diferirem de pessoa a pessoa, não são de fácil quantificação e qualificação. Sendo assim, é preciso acrescentar que microbiota alterada pode ser decorrente, por exemplo, de estresse ou de determinados estados emocionais ou ainda de alterações causadas por uso de antibióticos, resultando em transtornos de diversas ordens. Portanto, para que

futuramente seja possível desenvolver medidas profiláticas e terapêuticas, visando saúde e bem-estar duradouros em humanos, é preciso que nos estudos sejam contemplados os diversos aspectos da complexidade humana. Para isso temos de transcender a visão e as práticas apenas reducionistas, porque apesar de trazerem resultados importantes, elas dificultam a elaboração de medidas seguras e eficazes ao ignorarem aspectos interativos fundamentais e suas propriedades emergentes.

No caso de *S. cerevisiae*, não bastasse essa espécie participar de processos fermentativos que resultam em saborosos e nutritivos alimentos, como o pão preparado por D. Maria Bellé, ela também tem se mostrado capaz de agir como parte da nossa microbiota intestinal, portanto, promovendo o nosso bem-estar, mesmo sendo frutas o seu nicho primário. Em associação com a nossa microbiota intestinal, também agem espécies de bactérias dos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, muito comuns em complementos alimentares. Essas espécies, entendidas como agentes em favor da vida, passaram por essa razão a ser denominadas de probióticos na década de 1960, embora o papel benéfico desses microrganismos tenha sido destacado desde o início do século XX. Isto aconteceu quando Ilya I. Mechnikov sugeriu o uso de certo lactobacilo existente na composição de um iogurte na Bulgária, para tratar problemas decorrentes de um desarranjo da microbiota intestinal. A atuação de Mechnikov na divulgação dessa prática levou pessoas da Europa e da América do Norte a intensificar o uso de bebidas lácteas, nas duas primeiras décadas do século XX. Esse procedimento ficou conhecido como bacterioterapia. O interesse pela bacterioterapia reduziu no período após a segunda guerra mundial, para ressurgir na década de 1960. Segundo alguns estudos, essa retomada teria acontecido devido a

determinados fatores que se potencializaram; foram eles: bons resultados de investigações comparando respostas de animais colonizados e não colonizados por microrganismos ("germ-free"); aumento do interesse de pessoas por alimentos promotores de saúde (ex. fermentados) e o interesse de industriais, que investiram no promissor e potencialmente lucrativo mercado, com pesquisas para apresentação de novos e sedutores produtos ao consumidor, até mesmo sem o devido suporte de dados científicos.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), probióticos são organismos vivos, que quando consumidos em quantidades adequadas conferem saúde ao hospedeiro.

A cultura dos probióticos, que pode ser composta de uma só espécie de microrganismo ou de algumas espécies associadas, deve conter células liofilizadas (viáveis) em produtos fermentados. Dessa forma, os microrganismos poderão se multiplicar depois de ingeridos por humanos ou por outros animais, melhorando as condições de suas respectivas microbiotas e, por conseguinte, suas condições nutricionais.

Muitos microrganismos utilizados como probióticos são de uso comum na preservação de alimentos obtidos por fermentação. Destacam-se nesse grupo algumas espécies de bactérias dos gêneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* e fungos *Saccharomyces*. Neste gênero, fungos normalmente identificados como *S. cerevisieae* e *S. boulardii* têm sido alvo de diversas investigações do ponto de vista de suas respectivas composições moleculares e desempenho sob algumas condições fisiológicas do trato gastrointestinal humano, dadas as dúvidas existentes sobre a pertinência de serem

classificadas como espécies distintas. Recentemente, comparando linhagens de *S. cerevisiae*, *S. boulardii*, *S. paradoxus* e *S. kluyveri* quanto à composição do material genético do núcleo das células (DNA), sequências de regiões específicas que codificam material genético dos ribossomos (rDNA) e resistência ao estresse provocado pelas condições do trato gastrointestinal (ex. pH, sais biliares), pesquisadores demonstraram que apesar de haver diferenças entre elas, apenas *S. kluyveri*, considerado um fungo oportunista, distancia-se mais das outras três, que são as mais próximas entre si. Esses resultados são coerentes com os de outros pesquisadores, que acreditaram haver diferenças importantes e suficientes para a espécie *S. kluyveri* ser alocada em outro gênero com a identificação de *Lachancea kluyveri*. Por outro lado, características genéticas semelhantes, principalmente quanto à sequência de nucleotídeos de região específica do rDNA, levaram pesquisadores a concluir que *S. cerevisiae* e *S. boulardii* representam uma única espécie, sendo *S. boulardii* apenas uma variedade de *S. cerevisiae*. No entanto, salientaram que em condições laboratoriais estressantes, com temperaturas de 30°C e de 37°C (esta a do nosso corpo), *S. cerevisiae* var. *boulardii* multiplica-se mais rapidamente, e em ambiente extremamente ácido como o do estômago (pH ~ 2,0), ela é mais resistente, características que lhe conferem certa vantagem como probiota. Hoje em dia é relativamente comum encontrarmos embalagens de produtos probióticos, indicando *S. boulardii* ou *S. cereviseae* como espécies componentes, vendidos no mercado farmacêutico.

Produtos probióticos têm sido preconizados em casos de diarreia, principalmente causada por antibióticos. A doença associada ao *Clostridium difficile* é um bom exemplo. Essa bactéria faz

parte da microbiota intestinal de adultos e crianças. No entanto, em pacientes que fazem uso de antibióticos durante longos períodos de tempo ocorre a eliminação de parte da microbiota natural do intestino, principalmente bactérias dos Filos Bacteroides e Firmicutes. A partir do desequilíbrio da microbiota intestinal, *C. difficile* passa a colonizar o cólon e produzir toxinas capazes, em casos mais extremos, de causar um quadro conhecido como colite pseudomembranosa, que leva à destruição do epitélio intestinal e a complicações bastante severas. Uma das maneiras de auxiliar no tratamento desses pacientes, consiste no consumo de probióticos, justamente para que as bactérias benéficas dos probióticos auxiliem na reconstituição da microbiota intestinal, aplacando os efeitos da multiplicação descontrolada do *C. difficile*. Outros quadros que podem ser combatidos utilizando probióticos são enterite aguda; debilidade por exposição à radiação; cuidado neonatal devido ao desenvolvimento deficiente da microbiota; necessidade de redução da intolerância à lactose; necessidade de produção de vitaminas etc. Convém lembrar, que embora as vitaminas sejam imprescindíveis à manutenção normal das nossas funções metabólicas, nós não as podemos fabricar. Para obtê-las dependemos de vegetais diversos (ex. frutas e hortaliças) consumidos nas refeições, assim como das bactérias da nossa microbiota, as quais produzem vitaminas do complexo B, K1 e K2.

O uso dos probióticos tem se estendido e acompanhado pessoas em tratamento de câncer, doenças atópicas ou autoimunes. Além disso, microrganismos que integram esses produtos têm sido alvo de intensas pesquisas, cujo objetivo é o de combater disfunções cerebrais como depressão, estresse, ansiedade etc., que têm impacto negativo na vida de pessoas.

Resultados de estudos recentes têm indicado que pro-

bióticos preparados com *Lactobacillus* são capazes de normalizar a comunicação no eixo intestino-cérebro-microbiota de animais de laboratório imunodeficientes e levá-los à superação de alterações fisiológicas do intestino e comportamentais (ex. aliviamento de ansiedade e depressão), assim como a recuperar capacidades cognitivas perdidas (ex. memória, aprendizagem). Probióticos podem ainda proteger macromoléculas (ex. proteínas, ácidos nucleicos) de danos por oxidação; agir contra organismos patogênicos, aumentar a resistência de seus hospedeiros a substâncias que provocam reações de hipersensibilidade (alergênicos) etc.

S. cerevisiae não liofilizado pode compor também o denominado fermento nutricional. Neste caso, as suas células são inicialmente cultivadas em melaço de açúcar de cana ou de beterraba, para depois serem mortas pelo calor e secas. Diversos estudos têm apontado para o papel dessa levedura como complemento nutricional de grande importância na promoção da saúde humana, provavelmente, por se tratar de produto rico em vitaminas do complexo B, inclusive B12, RNA, minerais e aminoácidos como lisina, leucina e valina.

No caso de animais criados em cativeiro como peixes e ruminantes, os resultados da administração de fermento nutricional na dieta, tem demonstrado aumento de peso dos indivíduos, o que leva, consequentemente, a vantagens na comercialização das carnes.

Um probiota em questão

O fungo Saccharomyces cerevisiae, quando analisado do ponto de vista da sua condição no trato gastrointestinal humano,

tem sido apresentado em artigos científicos como uma espécie comensal, portanto, um simbionte que se beneficia do hospedeiro sem lhe causar danos. De acordo com o que já foi considerado anteriormente sobre interações biológicas e sobre o papel de *S. cerevisiae* como probiota, trata-se de uma classificação inadequada, que necessita ser reavaliada.

Em estudo recente, o potencial dessa espécie de fungo para persistir no trato gastrointestinal por cinco dias depois de cessada a sua ingestão como probiota e de responder sem problemas a esse ambiente, levou pesquisadores a sugerir que ela desempenharia papel relevante no ecossistema intestinal, a despeito de não ser esse o seu nicho original. Os nutrientes de que *S. cerevisiae* necessita, durante os dias em que permanece no trato gastrointestinal para realizar seus processos metabólicos essenciais, devem ser obtidos do que sobra da digestão e absorção de alimentos do hospedeiro. De outro lado, se considerarmos os efeitos benéficos que advêm do uso desse fungo como probiota (ex. a produção de noradrenalina), a partir da sua estada junto à microbiota intestinal, podemos considerar a simbiose de *S. cerevisiae* com o Homem como de cooperação, porque ambas as espécies estariam se beneficiando em um tipo de relação não obrigatória. E como a saúde humana é dependente da microbiota intestinal íntegra e funcionando adequadamente, parece certo que *S. cerevisiae* usado como probiótico precisa interagir com microrganismos integrantes dela, para poder reestabelecer a dinâmica de bom funcionamento do ecossistema intestinal. A interação pode se dar por meio da produção de substâncias necessárias que estejam em falta, inibição de crescimento desgovernado de alguma outra população da microbiota, neutralização de algum efeito negativo, resultado de produtos liberados em quantidades anormais etc.

Quando uma determinada espécie da microbiota intestinal tiver a sua população reduzida, seja pelo uso de antibióticos ou por ação de outro agente nocivo, que pode ser inclusive outra população de microrganismo até então vivendo harmoniosamente naquele meio, poderá crescer e se tornar nociva levando o hospedeiro a ter problemas de saúde. Uma espécie nessa condição anômala costuma ser referida como patogênica e demandar esforços para ser contida nos seus efeitos deletérios. Contudo, é preciso atentar para o fato de que não se trata de espécie comumente nociva ou patogênica, mas uma espécie que, naquelas condições específicas de alteração do padrão normal de interações, passou a provocar danos à saúde do hospedeiro. Sendo assim, é preciso buscar compreender o fenômeno na complexidade das interações que o geraram, para que as possíveis intervenções resultem no reestabelecimento do padrão geral da microbiota em questão. Isso porque, cada indivíduo possui uma microbiota que lhe é própria em composição e dinâmica saudável, portanto, uma microbiota específica a ser reestabelecida em cada caso. Não somos como máquinas, nas quais basta trocar ou acrescentar partes. Como seres vivos somos redes de interações, por isso é preciso entender como cada elemento que nos compõe interage com os demais, para que as intervenções em prol do restabelecimento da condição saudável sejam adequadas e duradouras.

Não obstante os inúmeros benefícios que o ser humano obtém das interações estabelecidas há longo tempo com bactérias e fungos fermentadores, em 1958 o *S. cerevisiae* foi colocado na berlinda, ao ser encontrado no muco de pessoas acometidas de broncopneumonia. Por causa disso, esse fungo foi apontado como o patógeno responsável pela doença, mas acabou saindo de cena nos anos seguintes, porque nenhuma ação nefasta ou dano que

pudesse ser atribuido a ele foi registrado. Essa levedura só voltou a chamar a atenção e preocupar alguns médicos a partir da década de 90 do século XX, devido ao número crescente de casos em que ela foi detectada em níveis anormais nos corpos de pessoas. Porém, o que chama a atenção nesses casos é que as pessoas em questão não gozavam de boa saúde; eram indivíduos imunodeprimidos ou com doenças graves. Posteriormente, um estudo de 2011 preocupou os pesquisadores, porque apontou a presença de *S. cerevisiae* em culturas de sangue. Segundo eles, esse resultado poderia ser devido ou a uma fungemia, isto é, crescimento excessivo da população desse fungo ou a uma quebra da barreira existente entre a mucosa intestinal e o sangue. Mais uma vez, o paciente era um indivíduo debilitado e não houve explicações bem fundamentadas sobre a anomalia.

É fato que observar colônias dessa espécie de fungo em amostras de sangue humano causa muita estranheza, assim como constatar o crescimento excessivo de sua população em alguns indivíduos. Porém, sendo eles pacientes debilitados interagindo com inúmeras espécies que compõem as suas respectivas microbiotas, não é possível atribuir patogenicidade a *S. cerevisiae* sem antes proceder a uma ampla investigação, levando em conta diversos aspectos morfológicos e fisiológicos dos indivíduos associados a alterações da sua microbiota. Não basta supor quebra da barreira existente entre a mucosa intestinal e o sangue, como fizeram os autores, deve-se atestar a existência dessas possíveis alterações estruturais permitindo evasão para ambientes inusuais do corpo, bem como comprovar que houve migração e se foi só de *S. cerevisiae* qual teria sido a razão, uma vez que espécies de bactérias e fungos da microbiota intestinal também poderiam migrar.

Além disso, seria fundamental verificar possíveis altera-

ções fisiológicas, químicas e psicológicas com impactos em espécies da microbiota provocando aumento ou redução de populações, com consequente mudança no padrão geral de organização daquele ecossistema, que teria propiciado crescimento excessivo da população de *S. cerevisiae*. Isso porque impactos em determinadas espécies podem resultar em ocupação de novos nichos ou em deixar vacantes os antigos; consumo excessivo e consequente redução de determinados nutrientes ou menor consumo deles acarretando maior disponibilidade; produção ou redução intensificada de substâncias, tóxicas ou não mas capazes de aumentar permeabilidade de tecidos ou interferir no metabolismo de espécies, entre outros.

Ademais, dos relatos apresentados sobre fungemia não se pode deixar de destacar alguns fatos importantes: 1) a população do fungo *S. cerevisiae* cresceu em número e não houve indicação de qualquer ação deletéria decorrente desse fato, como acontece no caso de *Candida albicans*; 2) não foi relatada a presença de qualquer substância nociva produzida por esse fungo, prejudicando direta ou indiretamente as pessoas ou as suas respectivas microbiotas intestinais; 3) não foi apresentada explicação plausível para migração supostamente seletiva de *S. cerevisiae* para o sangue das pessoas doentes; 4) os pacientes que apresentaram fungemia eram imunodeprimidos ou apresentavam doença grave.

Por outro lado, é muito importante lembrar o longo histórico de relação cooperativa entre o Homem e *S. cerevisiae* e o crescente número de estudos sobre probióticos com essa espécie em sua formulação, atestando melhorias no estado de saúde de pessoas e de outros animais que os têm consumido na dieta. Também não podemos nos esquecer dos produtos fermentados à base

de *S. cerevisiae*, muito apreciados e consumidos diariamente por incontáveis pessoas das mais diversas culturas. Sendo assim, parece realmente inapropriado classificar *S. cerevisiae* como espécie patogênica, mesmo em casos de fungemia em pessoas debilitadas. No entanto, não se pode desconsiderar, que alterações genéticas possam acontecer e determinar mudanças capazes de gerar novas linhagens do fungo, linhagens essas com características e comportamentos, distintos do padrão conhecido para a espécie.

Os dados e incógnitas apresentados sobre a microbiota intestinal humana são provocantes e propiciam diversas linhas de pesquisas, que poderão lançar luz sobre a natureza das interações dos microrganismos intestinais e destes com o hospedeiro humano e, em especial, sobre a constante e estreita comunicação que a microbiota intestinal mantém com o sistema imune e nervoso do hospedeiro, cujas células ocupam densamente a região intestinal.

Luzes e sombras nas pegadas do caminho

As grandes mudanças nos hábitos alimentares e na qualidade dos alimentos começaram no neolítico, quando o Homem passou a domesticar e selecionar plantas e animais, fixando-se à terra. Mais tarde, após a revolução industrial em escalada crescente durante o século XX, áreas cada vez mais extensas plantadas com monoculturas foram sendo fortemente mecanizadas, fertilizadas com produtos químicos e pulverizadas massivamente com venenos para combater invertebrados (ex. insetos, nematoides) e microrganismos causadores de doenças (ex. fungos, bactérias), que atacam inclusive grãos armazenados. Não bastassem todas

essas mudanças, que reduziram a qualidade e diversidade dos alimentos consumidos, elas implicaram também em alterações ambientais, quase sempre irreversíveis. Dentre elas, o abate de florestas para abrir novas áreas de plantio e de residências, afetando os seres vivos, as nascentes e rios locais. Nessas condições, incontáveis cadeias alimentares terrestres e aquáticas foram abaladas ou interrompidas. Animais habitantes das florestas foram mortos ou impelidos a novos ambientes, inclusive povoados e grandes cidades, em busca de alimento e abrigo. Nessa jornada levaram consigo micorganismos associados, algumas vezes patogênicos e capazes de diversas mutações genéticas, que podem permitir adaptações a novas condições e novos hospedeiros. É possível ilustrar tal situação com insetos hematófagos restritos a hospedeiros mamíferos da floresta, como macacos por exemplo. Privados do seu habitat, esses insetos passaram a procriar regularmente fora da floresta, com as fêmeas utilizando sangue humano para desenvolver os ovos. Não bastasse o incômodo das picadas para sugar o sangue, esses hematófagos puderam atuar como vetores de vírus e protozoários causadores de doenças, por vezes letais, como febre amarela, dengue e malária. Portanto, doenças como essas, antigamente restritas às florestas e esporádicas em humanos, como em caçadores que adentravam na floresta, passaram a vitimar cada vez mais moradores de povoados e de grandes cidades até os dias atuais.

Além desse tipo de problema ambiental causado pelos desmatamentos, muitos rios e fontes dulcícolas desapareceram, tiveram o volume reduzido com o passar do tempo, ou suas águas tornaram-se impróprias ao consumo humano. Em parte, porque os mananciais, sem a cobertura vegetal, ficaram mais expostos ao sol direto, portanto, sujeitos a maior evaporação.

Sem a copa das árvores, para amortecer o impacto das chuvas que desagregam os grãos, e as raízes que favorecem a penetração vagarosa da água através do solo, ele passou a ser arrastado com as exurradas para o leito de rios causando assoreamento. Ao mesmo tempo, as águas das enxurradas foram deixando de reabastecer adequadamente os lençóis freáticos, alimentadores de fontes, indo em grande parte diretamente para rios e finalmente para o mar, carregando incontáveis materiais poluentes, como os nocivos plásticos, que nos últimos tempos passaram a se avolumar por todos os cantos do mundo. Os mananciais também foram sendo contaminados com agrotóxicos utilizados nas lavouras e com adubos químicos que, por vezes, provocam **eutrofização** de lagos e rios, resultando em redução do oxigênio dissolvido, com consequente morte de muitos animais aguáticos como peixes. Nas áreas urbanas ainda há a liberação, principalmente em rios, de dejetos humanos (ex. fezes, urinas, remédios) e efluentes de indústrias (ex. óleos, graxas, metais pesados, hidrocarbonetos, corantes, detergentes), que não só impactam muito a vida aquática, como encarecem e dificultam o tratamento da água para abastecimento e consumo humano.

No final do século XX, a técnica conhecida desde meados desse mesmo século denominada de tecnologia do DNA recombinante ou de engenharia genética, que consiste em transferir parte do material genético (DNA) de uma espécie para o de outra, como se faz com bactérias para a produção de insulina, por exemplo, passou a ser mais comumente utilizada na agricultura. Por meio dessa técnica deu-se origem às espécies e alimentos conhecidos como transgênicos. Sem seguir todos os protocolos de precaução preconizados pela ciência, antes de serem liberadas para plantio e consumo, essas espécies transgênicas e também os alimentos de-

las derivados passaram a ser produzidos, controlados e comercializados por poucas e grandes empresas mundiais. São organismos, dentre os quais plantas que passaram a produzir toxinas próprias de bactéria ou resistentes a determinado veneno químico usado para combater certas plantas invasoras de culturas, que precisariam ter sido objeto de estudos amplos e de longo prazo sobre seus possíveis impactos nas cadeias alimentares, saúde humana e de outros animais. Mas isso não aconteceu. Tampouco considerou-se a perda da diversidade de espécies de sementes tradicionais, cujo uso foi sendo abandonado e substituido pelo das sementes das espécies transgênicas, de propriedade exclusiva das multinacionais. Também não se avaliou com profundidade e isenção, as consequências da submissão de agricultores aos empresários detentores das patentes dos transgênicos, que os atraíram com a novidade e os convenceram a adotá-la dadas as supostas vantagens que as espécies possuíam. Tal situação gerou muita preocupação e discussão na comunidade científica, classe política e grupos mais esclarecidos da sociedade mundial. Além dos necessários estudos e testes, que avaliassem o impacto ambiental e a segurança desses alimentos, havia questões políticas de fundamental importância sobre o oligopólio das sementes transgênicas e o comércio internacional globalizado ameaçando a agricultura de espécies diversificadas (= diversidade de nutrientes necessários à saúde) e soberania de muitos países pouco desenvolvidos. Esses problemas não foram devidamente tratados, amplamente divulgados e seguem provocando profundos desequilíbrios sociais e ambientais mundo afora. No Brasil nos faltam inclusive informações completas nas embalagens dos produtos alimentícios, sobre quais deles são feitos à base de espécies transgênicas, para que possamos escolher consumí-los ou não. Quanto aos animais domesticados para abate e

consumo humano, muitos deles criados em grandes aglomerados de indivíduos confinados e estressados, passaram a ser tratados com hormônios, antibióticos e rações à base de espécies transgênicas, o que aumentou ainda mais os problemas impelidos aos consumidores humanos, que tiveram aumentada a dificuldade de acesso à alimentação saudável.

Tais alterações na forma de produção dos alimentos resultaram em maior quantidade, porém em perda de qualidades nutricionais e em alterações que a médio e longo prazos poderão nos trazer danos inimagináveis. Diversos estudos comprovaram que os venenos químicos aplicados às plantações, por exemplo, são os responsáveis por intoxicações, doenças crônicas e suicídios de agricultores que lidam diretamente com eles, como provocam doenças em pessoas que consomem os produtos oriundos desses cultivos (ex. hortaliças, frutas, grãos).

A mecanização da agricultura, atualmente com alto grau de sofisticação tecnológica, implicou por sua vez em redução de mão de obra no campo e anexação de pequenas propriedades a latifundios de particulares e de grandes empresas, que levaram ao êxodo rural, com migrações que concentraram grandes contingentes de pessoas principalmente em cidades industrializadas, devido às supostas boas oportunidades ali disponíveis. Como consequência desse êxodo rural, muitas mudanças sociais e ambientais foram registradas, bem como mudanças nos hábitos alimentares das pessoas, que incorporaram diversos produtos industrializados, como enlatados e embutidos, que são acrescidos de conservantes químicos nocivos durante a fabricação, para estender seus respectivos tempos de viabilidade.

Embora a intenção propalada, quanto às mudanças na

forma de produzir e comercializar alimentos, seja invariavelmente a de matar a fome de uma população mundial em crescimento exponencial, população essa que cresceu de aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas para 7 bilhões entre os anos de 1950 e 2019, o que não falta no mundo é alimento. No entanto, além de mal distribuído, toneladas dos mais variados tipos de alimentos, são normalmente desperdiçadas nas várias etapas da cadeia produtiva, de comercialização e consumo. O que de fato nos falta, além de medidas para melhorar a distribuição mundial de alimentos e evitar o desperdício ao longo das cadeias de produção ao consumo, é torná-los acessíveis a todas as classes sociais. Porém, o sistema econômico vigente é excludente, perverso. Um sistema econômico que potencializa diferenças sociais brutais e, dessa forma, impõe barreiras que impedem acesso a bens e serviços básicos de boa qualidade, como moradia, saneamento, educação escolar, saúde e alimentação a grande contingente populacional. Pessoas estas normalmente ignoradas pelas parcelas mais abastadas da sociedade, insensíveis à fome e ao sofrimento das crianças e adultos.

Desde a antiguidade o ser humano cultivou um sentimento equivocado de dominação da Natureza, como se ele não fosse apenas mais um elemento integrante e interdependente da imensa e complexa rede de interações que envolve, direta e indiretamente, todos os seres vivos e o ambiente abiótico do planeta Terra. Por isso, o Homem tem agido como se a Natureza lhe tivesse sido entregue, para ser subjugada de acordo com seus caprichos. Ele desconsidera que todos os bens imprescindíveis à manutenção dos aspectos físicos e emocionais da sua vida, dependem do ambiente biótico e abiótico com alto grau de integridade, para possibilitar não apenas a produção de víveres, como também cenários aprazíveis e saudáveis. Infelizmente, o ser humano chegou aos dias

atuais destituido do sentimento de pertencimento à Natureza. A falta de percepção de si próprio e do ambiente é o que o leva a provocar tão profundas, degradantes e irreversíveis mudanças na exploração da terra, das florestas e dos mares, e de insistir em manter um estilo de vida contrário aos processos próprios da Natureza. Estilo de vida que ao invés de promover a **homeostase**, necessária a proporcionar condições de permanência duradoura da nossa espécie neste planeta, tem provocado desarranjos, colapsos e extermínio de um sem-número de espécies de seres vivos, incapazes de se adaptarem às mudanças planetárias cada vez maiores, mais rápidas e mais nefastas a todos, como o aquecimento global.

Por isso, se quisermos assegurar condições favoráveis à vida humana que conhecemos e tanto prezamos, nós teremos que redirecionar nossas práticas, marcadas pelo descaso no trato com o planeta, abandonando os modelos em curso que alimentam o individualismo, separatismos, espoliações, ódios, desconfianças, pobreza e conflitos. Modelos fundados em poder, acúmulo de capital e crescimento econômico ilimitado, baseado no consumo de bens e serviços com base na lei da oferta e procura e não de trocas justas. A inépcia do consumo desmedido de vestimentas, carros, celulares, viagens, jóias, alimentos e até de quinquilharias que abarrotam lojas populares e bancas de ambulantes, também exaure reservas naturais e gera uma cadeia de problemas ambientais e sociais de grande magnitude. Problemas que têm a ver, em parte, com a inobservância da relação entre a capacidade de suporte do planeta e o tamanho da população humana, que cresce devido tanto ao acréscimo de novos indivíduos, quanto ao maior tempo de vida que muitas pessoas passaram a ter graças aos conhecimentos científicos, que proporcionaram vida saudável por meio principalmente de orientações sobre higiene pessoal, uso de água potável, prevenção e tratamento

de doenças por meio de vacinação, antibióticos e remédios. Foram fundamentais as medidas para o tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento do esgoto, acesso a orientações sobre alimentação adequada, diagnósticos precoces de doenças etc.

Contudo, nem mesmo o importante conhecimento científico-tecnológico já construído dará conta de tamponar as multiplas feridas ambientais, abertas a velocidades que estão muito além daquelas que fazem parte das possibilidades de recuperação ou de ajustes próprios da Natureza. Precisamos de políticas que promovam as pessoas todas a cidadãos, indivíduos esclarecidos capazes de analisar situações nos seus diversos aspectos, contextos e de se conduzirem com responsabilidade individual e coletiva. É impossível que nós humanos continuemos esgarçando a rede de relações em Gaia, da qual fazemos parte e dependemos, assumindo cômoda e irrefletidamente o modelo de vida e de desenvolvimento econômico em vigor, que nos condena à violência, doenças, sofrimento e à imensa incerteza quanto ao porvir.

Entre o passado e o futuro

A humanidade é tão recente na Terra, que quando se faz equivaler a idade do nosso planeta, de aproximadamente 4,5 bilhões de anos, a um dia de 24h, os humanos só estariam representados nos 4s finais, nada mais do que um breve piscar de olhos. No entanto, a nossa imaginação criativa diante dos fenômenos da Natureza, conduziu-nos em relativamente pouco tempo. a interpretações e construções científicas excepcionais, de grande valor. Esses feitos, alguns deles destacados em leves pinceladas nas histórias aqui apresentadas, nos colococaram

frente a dois fatos antagônicos. De um lado, as menores taxas de mortalidade por causas naturais, somadas aos maiores valores de longevidade já alcançados pela humanidade e, de outro, a ameaça impiedosa de deixarmos de existir como espécie neste planeta, dadas as velozes e intensas interferências que promovemos no ambiente. São elas de tal magnitude que têm abalado profundamente e destruído interações dinâmicas que se construíram gradualmente durante o processo evolutivo planetário.

Ao mesmo tempo que avançamos em conquistas científico-tecnológicas, fomos distanciando nosso olhar da Natureza que nos engendrou e nos é base de sustentação. Como se tentássemos aplacar a angústia que nos aflige, dada a nossa finitude, optamos por condutas diárias em que a avidez pelo consumo, acúmulo desmedido de bens e a sedução pelo poder que manipula e aniquila, nos mantêm ocupados, inconscientes.

Enquanto cultivamos a hipocrisia, o cinismo e o dogmatismo, banimos das agendas pessoais e das nações o diálogo argumentativo, ações concretas para fazer valer o direito à equidade, à partilha, ao prazer de conviver na simplicidade e cooperativamente. Mas os problemas do nosso tempo, que se avolumaram ao longo da história, são de tal complexidade que não poderão ser compreendidos, desembaraçados, solucionados por meio interpretações simplistas, de fundamentos reducionistas amalgamados em nosso sentir, pensar e agir, que nos mantêm fragmentados, apartados da Natureza. É premente nos desvencilharmos dessa concepção reducionista e assumirmos um novo paradigma, por meio do qual as hierarquias de dominação, o antropocentrismo e a fragmentação cedam a uma visão mais global, plural voltada à compreensão do sistema como rede complexa de eventos alimentados por processos de retroalimentação. Não podemos nos

manter inconcientes das pistas que nos estão sendo escancaradas pela Natureza, sob pena de nos conduzirmos rapidamente a um abismo, onde a nossa espécie fenecerá.

Sem horizonte alargado e com dias envenenados e degradados por ódios, disputas, manipulações, plásticos, máquinas e agrotóxicos, a personagem que deu motivação a esta história, D. Maria Bellé, pode ser vista como como exemplo, como uma centelha de luz. Com "sofisticação e a beleza dos costumes que garantiam e ainda garantem o sustento, a vida e os momentos de encontro ao redor da mesa"[6], ela deu sentido à vida, mantendo uma atividade essencial e saudável, que foi a de fazer pães para alimentar e reunir familiares e amigos. Felizmente, esse tipo de comportamento dedicado e consequente também faz parte de alguns movimentos mundiais. Movimentos que têm se ampliado e insistido na adoção e propagação de ideias e práticas marcadas pela responsabilidade individual e social. Em geral são práticas que retomam maneiras saudáveis de produzir, processar e partilhar alimentos. Uma busca por formas cada vez mais eficientes de reduzir e destinar corretamente os nossos dejetos, bem como seus impactos que têm ameaçado, direta e indiretamente, inúmeras formas de vida, principalmente a nossa própria, que é mais frágil como a de todo consumidor de topo de cadeia alimentar. São procedimentos que se espelham em processos complexos da Natureza, caracterizados pelo domínio de interações cooperativas e mutualísticas, marcadas pela parcimônia, frugalidade e complementaridade, em detrimento daquelas competitivas, marcadas pela brutalidade, voracidade, desperdício e individualidade, que levam à exclusão, à extinção de espécies.

Como já considerado, os processos fermentativos, sejam

6 Acessar vídeo: https://www.youtube.com/watch?v=4qnJ8EaB9DU

eles protagonizados por fungos, como *Saccharomyces cerevisiae* ou por bactérias, acompanharam o Homem desde os primórdios de sua história na Terra. Eles possibilitaram a vida humana, tanto por permitir ou facilitar o consumo e enriquecer nutricionalmente os alimentos, como por nos proporcionar momentos de prazer enquanto nos alimentamos de fermentados deliciosos.

Muitos dos processos fermentativos que conhecemos atualmente, por terem sido submetidos a padronizações mercadológicas, como o pão e o iogurte, perderam boas características dos produtos tradicionais autorais. A seleção de espécies e cepas mais convenientes à indústria promoveu não apenas a redução da diversidade biológica dos fermentos e empobrecimento dos substratos utilizados, responsáveis por alimentos mais nutritivos, funcionais, requintados e saborosos, como suprimiu rituais que aproximavam pessoas em reuniões prazerosas.

O distanciamento entre o ato de produzir o alimento, cada vez mais terceirizado e industrializado, e o de consumir, cada vez mais desprovido de simbolismo e deleite, ludibria nossa consciência quase sempre alienada acerca da corresponsabilidade que temos por todo o processo. O surgimento diário de novos produtos alimentícios, muitos deles ultraprocessados, com conservantes, aromatizantes e em nada se parecendo com comida ou alimento saudável, é resultado de estratégias direcionadas a despertar desejos nas pessoas, com base em lógica industrial e capitalista, para consumo desmedido, que, em última análise, visa apenas ao lucro. Se cada indivíduo, de todos os cantos do mundo, buscar conhecer os processos envolvidos na produção industrial do que ingere, certamente irá reavaliar tanto a real necessidade de muitos produtos adotados, como a conduta passiva diante da propaganda massiva e sedutora, que é frequentemente veiculada por todos os meios de co-

municação, cujo objetivo final e principal é promover o consumo.

Esse tipo de padronização é próprio de uma visão de mundo prática, imediatista, que ignora tanto a importância da diversidade dos componentes como os processos da Natureza, assumindo o ser humano como independente dela e presumindo ser ele capaz de dominar seus processos. Dessa forma, abraçado ao dogmatismo científico, acredita poder reduzir a Natureza a elementos manipuláveis, intercambiáveis, por meio da tecnologia alcançada e daquela que acredita poder alcançar a qualquer tempo, como antídoto aos males que a nossa ignorância e ganância semeiam no planeta, abalando a dinâmica da vida e, com isso, ameaçando a nossa própria existência.

Urge, portanto, com vistas a termos chance de permanecer por mais tempo na Terra como espécie e em adequadas condições de vida, não apenas retomarmos antigas práticas que respeitam a natureza das interações, como os seus ritos e ritmos. Precisamos também lançar mão de novos conhecimentos e tecnologias com cautela, princípio este preconizado nos meios científicos, mas costumeiramente negligenciado por pesquisadores ávidos de oferecer novidades científico-tecnológicas ao mercado e com elas galgar fama e dinheiro.

É hora de assumirmos o ser vivo como metáfora do novo paradigma. Esse que nos leva e melhor compreender a complexidade e a configuração em rede da Natureza. Para isso, há o desafio de nos reinventarmos como pessoas. E como parte especialmente importante desse processo está a de preparar indivíduos despojados de cinismo, de hipocrisia, de gatunagem. Indivíduos capazes de construir laços sociais fundados em sentimentos de afeto, pertencimento, corresponsabilidade.

Indivíduos capazes de respeito incondicional por esta que foi batizada de Gaia, por ser bem mais do que um planeta que oferece morada a seres vivos como nós, mas por ser um sistema dinâmico, cujos componentes bióticos e abióticos se auto-organizaram e se autorregulam constantemente. Essa hipótese de James Lovelock, sustentada por simulações como o "O mundo das margaridas", e apoiada por Lynn Margulis, nos resultados de seus estudos, principalmente com bactérias, proporciona novos entendimentos sobre a rede de interações que integram a Natureza. Eles transcendem as explicações baseadas em simples trocas físicas e reações bioquímicas. Gaia é um sistema auto-organizado, fruto de íntimas interações entre o planeta e a vida que nele foi gerada e se desenvolveu construindo nichos específicos e padrões complexos de organização em rede e propriedades emergentes. Por isso, o que acontece aos seus componentes não pode ser compreendido de forma linear, com base apenas em ação e reação ou causa e efeito, tampouco permite que se profetizem certezas, apenas probabilidades, porque as incertezas caracterizam os sistemas complexos. É urgente encarar o desafio que se nos impõe: assumirmo-nos como sistema que com Gaia evolui, se pretendemos viabilizar a nossa própria sobrevivência como espécie.

À luz desse novo paradigma, se lançarmos mão de apenas um exemplo simples, como o da adoção de boas práticas de alimentação, é possível verificar quão extensa e dinâmica é a rede de implicações virtuosas que se estabelecem entre populações humanas e seus ambientes, alimentadas por processos de retroalimentação.

Iniciemos por compor uma dieta com o objetivo de manter o nosso corpo íntegro e saudável. Para isso ela deve conter produtos diversificados, produzidos em boas condições sanitárias,

livres de venenos químicos, esses alimentos devem consumidos em porções adequadas, sem desperdícios e dosados em sal, por exemplo. Dessa forma as células próprias do corpo e as da sua microbiota serão supridas com os diferentes tipos de nutrientes e vitaminas imprescindíveis e livres de contaminantes nocivos, que podem alterar suas funções, resultando em doenças (ex. neurológicas, imunológicas), ou em replicação desordenada das células, que neste caso poderia resultar em tumores malignos.

Porém, para obtermos alimentos saudáveis dependeremos de lavouras e criadouros saudáveis, isto é, que privilegiem práticas baseadas em processos naturais, inclusive para controle de herbívoros e doenças. Alimentos saudáveis combinam também com quintais providos de hortas e pomares, com ou sem galinheiros, que convidam as pessoas a cuidar e ter momentos aprazíveis com plantas e animais. Assim constituídos, os quintais permitem drenagem da água da chuva, que deixa de engrossar enxurradas nas ruas, onde a permeabilização asfáltica é demasiada e contribui para muitas inundações e tragédias municipais durante os períodos de chuvas intensas. Quintais também podem ser varandas de apartamentos, nas quais se pode cuidar de algumas frutíferas, como as nativas pitanga peba e a gabiroba, além de tomate e moranguinho. Não costumam faltar os temperos diversos e hortaliças. Às vezes, até uma colmeia de abelhinhas sem ferrão pode encantar o ambiente, com o vai-e-vem das trabalhadoras incansáveis, que coletam néctar e pólen promovendo a produção de frutos e do mel, que tão bem fazem à saúde e ao paladar.

Com ou sem quintal e com ou sem varanda para plantar, a compra e o consumo de alimentos precisam ser comedidos, sem excessos e desperdícios, o que faz decrescer a demanda. Demanda menor implica em menos desmatamentos para amplia-

ção de áreas de plantantio e de pastagens.

Sabemos que indivíduos saudáveis nutricional e emocionalmente são menos vulneráveis a doenças, portanto, haverá menor necessidade de recorrer a prontos socorros e hospitais, que, por sua vez, ao demandarem menos remédios e insumos para atendimento em grande escala, irão se desafogar e deixar de onerar o sistema de saúde. Por outro lado, as pessoas poderão ter orçamentos individual e familiar estabelecidos em patamares menores, compatíveis com necessidades vitais e prazerosas, e não com um sem-número de serviços e produtos preparados para seduzir e criar necessidades, que levam a permanente estresse com tarefas laboriosas, competição, desconfianças, isolamento social e assim por diante. Nesse caminho, de boas práticas alimentares, são fortalecidas globalmente iniciativas que visam aumento da qualidade na cadeia produtiva dos alimentos. Um exemplo é o movimento "Slow Food". Criado pelo italiano Carlo Petrini em 1986, ele vem ganhando notoriedade e adeptos no mundo todo. O pilar central do movimento é a produção de alimentos bons, limpos e justos. Ou seja, alimentos que tenham boa qualidade nutricional, sejam ricos em aromas e sabores, despertem prazer ao serem consumidos, sejam produzidos com baixo impacto ambiental e contemplando o bem-estar animal, sem negligenciar a justa remuneração a trabalhadores que os produzem, processam e distribuem. Esses aspectos estão de acordo com o que concebeu o seu criador: mais importante do que a quantidade de alimentos é a sua qualidade. Por isso a atenção voltada ao papel do sabor e da variedade dos alimentos, que dependem da manutenção da diversidade dos ecossistemas naturais e de plantio, observância e respeito aos ritmos e ciclos da Natureza, bem como à dignidade humana. Por isso, a necessidade de nos reapropriarmos de certas vivências e expe-

riências familiares tradicionais no campo agrícola, responsáveis por produtos saudáveis e genéticamente diversos, em detrimento de monoculturas de extensas áreas. Monoculturas estas mantidas por meio de processos excessivamente mecanizados, do campo às prateleiras de vendas, o que exige padronização de processos e produtos alimentícios, levando a profundas alterações genéticas e empobrecimento do alimento, bem como da cultura alimentar. Não bastassem essas mudanças prejudiciais, que vêm acompanhadas da redução de inúmeros postos de trabalho, as safras foram acrescidas das safrinhas. Estas, estabelecidas entre uma cultura principal e outra, em ciclos intermináveis de plantios, levam os solos à exaustão, em prol de milhares de toneladas de alimentos/ano a mais para maximizar lucros. Mas para isso é preciso que certas mudanças adicionais sejam implementadas. Dentre elas a produção de novas variedades de plantas, por vezes mais precoces e ajustadas a períodos sazonais fora dos padrões que são normais da espécie, e a intensificação de adubação inorgânica, que altera as propriedades estruturais do solo e provoca desequilíbrios na dinâmica do seu ecossistema e de ecossistemas aquáticos, causada pelo excesso de nutrientes levados aos mananciais pelas chuvas e certos processos de irrigação, que provocam a eutrofização.

Nesse contexto, surgem questões interessantes acerca da maneira como alimentos padronizados, privados de componentes estruturais e nutricionais têm influenciado a composição da microbiota intestinal humana e, consequentemente, impactado a nossa saúde e bem-estar. Sobre esse aspecto, poderiam ser especialmente elucidativas investigações comparativas sobre a microbiota e hábitos alimentares de populações humanas contemporâneas (ex. urbana versus rural tradicional) e representantes de povos antigos, se possível a partir de amostras fossilizadas

(coprólitos) ou de seres mumificados.

De acordo com o que foi apresentado, verifica-se que os vários tipos de estímulos, diretos e indiretos, sobre as redes de interações ambientais, retroalimentam-nas e são responsáveis por promover a homeostase de que precisamos ou os estados de desarranjo, de colapsos desses sistemas. Por isso é que certas práticas agrícolas e sociais, como aquelas pregonizadas pela permacultura (termo resultante da combinação, do inglês, "Permanent Agriculture"), que favorecem a homeostase, também vêm sendo adotadas e incentivadas no mundo todo. Dentre elas: cultivo de hortas e pomares sem uso de venenos químicos; criação de animais livres de estresses, com alimentação natural e cujos dejetos sivam de adubo para frutíferas e hortaliças; manutenção de composteiras; adoção de comércio justo; reuso e reciclagem de materiais; atividades cooperativas; tratamento de esgotos; lavouras com maior diversidade de espécies; uso de controle biológico; produção de alimentos fermentados e de fitoterápicos caseiros; prevenção de doenças e medicina holística; uso de energias renováveis; uso de bicicletas para o transporte etc.

Cada um de nós, com destaque para os governantes por deterem os designios dos países, precisa tomar consciência e abandonar os modelos em curso. Modelos fundados em acúmulo de posses materiais e constante crescimento econômico baseado no consumo desmedido de bens e serviços com base na lei da oferta e procura, que esgarçam a rede de relações em Gaia ao exaurirem a Natureza e com Ela o ser humano, que sucumbe à desigualdade social, à violência, às doenças, ao sofrimento e dor.

Agora, enquanto termino a revisão deste livro, vivencio, há meses, uma quarentena forçada pela trágica e apavorante

pandemia provocada por um ínfimo ser, o vírus SARS-Cov-2 (Figura 13), causador da doença Covid-19. Invisível a olho nu, o SARS-Cov-2 está fazendo prostrar a humanidade. Esta, ajoelhada e estarrecida, custa a acreditar nas imagens dos muitos milhares de doentes e mortos vitimados em todos os continentes. Uma partícula inerte, um vírus, sem qualquer sistema próprio de locomoção para se disseminar, sem metabolismo próprio para se autoreproduzir e constituído apenas de um invólucro globoso com estruturas proteicas proeminentes, que guarda no interior uma fita simples de material genético (RNA) associada a uma proteína, formando o nucleocapsídeo (Figura 13).

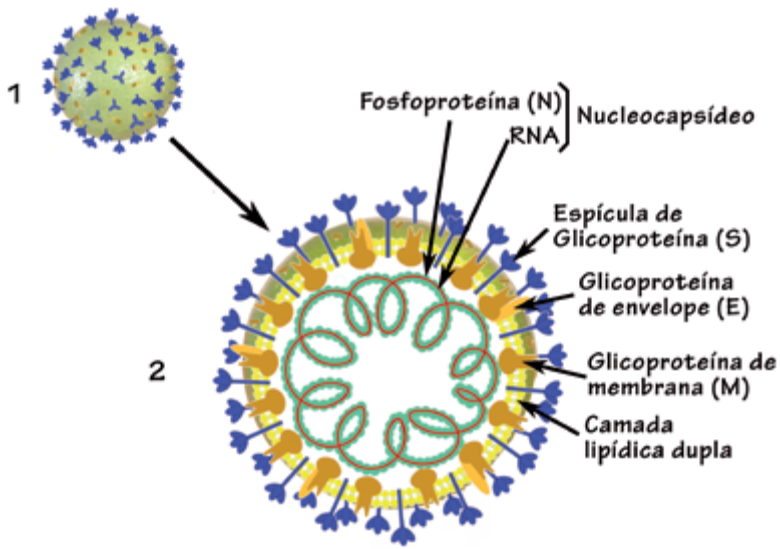

Figura 13. Desenho esquemático para representação de uma partícula de SARS-CoV-2: (1) Aspecto externo, evidenciando estruturas componentes do invólucro globoso — detastacam-se as espículas (S), responsáveis pelo acoplamento do vírus aos receptores ACE2 (enzima conversora da angiotensina) das células hospedeiras, que lhe permitira invadí-la — (2) Aspecto interno, após corte mediano do invólucro globoso, evidenciando estruturas proteicas que perpassam a camada lipídica dupla e o nucleocapsídio (RNA + Fosfoproteína).

Essa partícula viral, da família Coronaviridae, faz parte do grupo SARS (sigla do inglês "Severe Acute Respiratory Syndrome"/Síndrome Respiratória Aguda Grave) e é identificada como CoV-2 (abreviação de Coronavirus). Mesmo sem capacidade própria de mobilidade, o SARS-CoV-2, detectado pela primeira vez na cidade de Wuhan, na China, oficialmente em dezembro de 2019, foi disseminado pelo planeta à velocidade dos aviões a jato, por meio da quantidade inconcebível de rotas diárias aéreas, marítimas e terrestres, que o Homem tem traçado ininterruptamente para chegar aos mais longínquos lugares habitados da Terra. Dessa forma, presente nos corpos de humanos contaminados, que podem não apresentar qualquer sintoma (assintomáticos) ou apresentar sintomas geralmente após 4 dias (sintomáticos), o novo corona vírus ganhou a Europa e cruzou o Oceano Atlântico à bordo de seu desassossegado e conglomerado hospedeiro viajante.

Esse vírus, que já arrasara populações e muitos dos seus profissionais de saúde na China, Itália, Espanha e França, foi introduzido no continente Americano, onde avançou por diversos países vitimando, em poucas semanas, outras milhares de pessoas, principalmente nos Estados Unidos da América do Norte e no Brasil. Ao que tudo indica, o ocorrido na Ásia e Europa não foi suficiente para sensibilizar e acautelar governantes desses dois países, para a necessidade e urgência de ações coordenadas visando dificultar a disseminação do vírus, cuja capacidade de letalidade mostrava-se alta.

Dentre as medidas sabidas e possíveis de serem adotadas à época, haja vista a falta de vacina e medicamentos de proteção, estavam o fechamento de estabelecimentos comerciais e atividades não essenciais, confinamento de pessoas, restrições aos deslocamentos aéreos, terrestres e marítmos, suspensão de eventos

aglomerantes, uso de máscara facial e medidas de higienização das mãos e de ambientes. Dessa forma, além de inibir o contágio e proteger a vida das pessoas, ganhar-se-ia tempo para adequar o sistema de atendimento em saúde, que neste caso da Covid-19 requer equipamentos específicos, profissionais especialmente treinados e ampliação considerável do número de leitos devido ao aumento da demanda e maior tempo de internação.

Dado o impacto dessas medidas entre pessoas de baixa renda, sem reserva de recursos para suprir as necessidades básicas de subsistência e higiene, seria imprescindível que a elas fossem destinados auxílios governamentais emergenciais e, concomitantemente, orientações claras sobre proteção individual e coletiva, dado que muitas dessas pessoas cohabitam com diversos parentes em casas pequenas e muito próximas das dos vizinhos. Sem tais cuidados, essa parcela da população não teria condições de se manter em isolamento com segurança e dignidade, durante o tempo adverso de disseminação do vírus.

No Brasil, cidade de São Paulo, um homem de 61 anos apresentou os sintomas da Covid-19, em 21 de fevereiro de 2020, cindo dias após ter chegado da Itália. Como os primeiros sintomas da Covid-19 em geral se manifestam 5 dias após contágio, desde meados de fevereiro esse senhor foi um potencial disseminador do vírus. Vinte e cindo dias depois desse episódio, em 17 de março, oficializou-se a primeira morte por Covid-19. Considerando ainda, que nem todas as pessoas infectadas apresentam sintomas (assintomáticos), ou apresentam apenas um quadro de gripe forte, é provável que o SARS-Cov-2 já circulasse no Brasil desde janeiro de 2020, chegado com viajantes vindos da Europa e da Ásia. Portanto, quando as folias de carnaval, especialmente em capitais e em grandes cidades brasileiras, que atraem muitos turistas inter-

nacionais, interestaduais e intermunicipais, aconteceram de 21 a 26/02/2020, partículas virais puderam ser amplamente disseminadas. Foliões contaminados cantando e conversando nas aglomerações carnavalescas tinham o ambiente propício para a transmissão do vírus, por meio das gotículas de secreções nasais e bucais. Essas gotículas lançadas ao ar, ao alcançarem as mucosas do nariz, boca e olhos de outros indivíduos, aterrissam com as partículas virais, que podem então invadir células dos novos contaminados. Tal invasão de células é desencadeada após os vírus acoplarem receptores específicos da membrana das células hospedeiras ACE2 (do inglês "Angiotensin-Converting Enzyme 2"), com a espícula de glicoproteína (S). Esta espícula, proeminente nos envoltórios dos SARS-Cov-2 dá a eles aspecto de coroa (Figura 13), o que lhes valeu o nome *Corona*. Quando a espícula interage com o receptor ACE2, o envoltório do vírus se liga à membrana plasmática e o seu núcleocapsídeo é introduzido no citoplasma da célula hospedeira. Nesse espaço, o vírus passa a comandar os processos celulares durante os quais são produzidas as moléculas para a construção de novos envoltórios e de novos nucleocapsídeos (Proteína N + RNA) que serão integrados, dando origem a milhares de novas partículas virais, que podem infectar outras células.

Estudos revelaram que o SARS-Cov-2 é capaz de invadir células humanas não apenas do sistema respiratório. Ele é atraído e penetra em células que possuem receptores ACE2, como as células do coração, vasos sanguíneos, pulmões, rins, trato gastrointestinal e sistema nervoso, provocando problemas generalizados no corpo, razão da Covid-19 ser agora considerada um tipo de doença sistêmica.

Nesses aproximadamente seis meses de estudos e atendimento a pessoas doentes com a Covid-19, muito se descobriu

sobre a estrutura do vírus, aspectos bioquímicos das células infectadas, características da resposta imunológica e dos anticorpos produzidos, órgãos atacados no corpo humano, extensão do dano, entre outros aspectos clínicos e epidemiológicos. Contudo, mesmo as investigações científicas tendo avançado rapidamente em razão da notável cooperação intercontinental dos mais diversos grupos de pesquisa, que em curto espaço de tempo tiveram acesso ao sequenciamento genético do RNA do SARS-Cov-2, realizado e disponibilizado pelos pesquisadores chineses, e acesso aos demais resultados obtidos nas mais variadas áreas, ainda são muitos os questionamentos sobre o comportamento desse vírus e sobre a eficácia e segurança das vacinas que, em tempo recorde, foram produzidas e encontram-se em fase de testes.

Uma pandemia viral como essa não é novidade na história da humanidade, como relata o médico Stefan Cunha Ujvari. Ao tratar do surgimento, disseminação e mutações de diversos microrganismos, que saltaram de hospedeiros silvestres para o ser humano causando milhares de mortos em algumas ocasiões, esse autor escreveu no ano de 2008:

> A pneumonia asiática de 2003 partiu do Sudeste Asiático e alcançou a Europa e a América. O mundo prendeu a respiração diante do receio de uma epidemia globalizada. As manchetes dos jornais da imprensa escrita e falada não pouparam espaços para tal epidemia. Hoje, as notícias enfocam a "gripe aviária". Esperamos uma nova pandemia mundial de gripe a qualquer momento. Teríamos então uma epidemia mundial semelhante à "gripe espanhola" de 1918. (Ujvari, S. C. A história da disseminação dos microrganismos. Estudos Avançados, v. 22 n. 64, 2008).

Infelizmente, sua afirmação sobre a grande probabilidade

de "uma nova pandemia mundial de gripe a qualquer momento", antevista por muitos pesquisadores que Ujvari entrevistou e acompanhou em trabalhos de campo e laboratório, se confirmou com a Covid-19. Essa doença expôs a nossa fragilidade, ignorância e inação na adoção de medidas preventivas diante das pistas e dados existentes, ao vitimar milhares de pessoas desde as primeiras semanas da sua descoberta. Inicialmente pensou-se tratar de um vírus que como outros do mesmo grupo provocaria um tipo de quadro gripal sem muita gravidade. No entanto, as equipes médicas chinesas e das demais partes do mundo não tardaram a perceber que a Covid-19 é bem mais complexa e fatal do que se supunha. Por isso a urgência das pesquisas científicas e compartilhamento imediato dos resultados, que avançaram também em busca de dados ecológicos sobre o SARS-Cov-2, cujos estudos genéticos sugerem ter se orignado de morcegos. Como já se sabe, vírus costumam apresentar mutações no material genético com certa frequência, principalmente os vírus compostos de RNA como o SARS-Cov-2, o que poderia tê-lo capacitado a infectar o ser humano. Mas, é óbvio que para que essa passagem acontecesse, seria necessário que o ambiente dos morcegos fosse perturbado ao ponto deles serem impelidos ao ambiente humano, com possibilidade de transmissão direta ao Homem, ou de fazê-lo indiretamente, via algum animal que fosse infectado e posteriormente desempenhasse esse papel de transmissor. Fortes suspeitas recaem sobre animais silvestres que fazem parte da cultura alimentar dos chineses. Sabendo que há mais de cem tipos de vírus do grupo corona só nos morcegos investigados na China e que o ser humano não se cansa de destruir o que resta de florestas e cavernas, ambientes comuns onde vivem morcegos, as previsões de novas pandemias precisam ser consideradas com muita serie-

dade, inclusive a partir de outros países como o Brasil, onde se intensificaram muito as destruições da Floresta Amazônia e Atlântica. Precisamos ficar mais alertas, cientificamente mais preparados e, como cidadãos, mais conscientes de que temos de ter atitudes condizentes com a manutenção da homeostase da Natureza e que em caso de pandemia teremos de atender ao que preconizam os pesquisadores científicos, se temos apreço por vidas humanas.

No Brasil nós soubemos do que se passara na China e em países da Europa, como a Itália, locais onde foram altíssimos os índices de mortalidade, até que tardias medidas de isolamento foram anunciadas. No entanto, mesmo assim e sabendo do intenso tráfego aéreo entre esses países e o Brasil, nenhum planejamento contemplando medidas sanitárias e de restrição aos deslocamentos e aglomerações foram implementadas para proteger os cidadãos brasileiros.

Afinal, como acautelar-se diante de uma ameaça, supostamente distante, se as expectativas e preparativos de empresários e população voltavam-se para o carnaval?

Nesse momento, quem ousaria frustrar as espectativas de empresários donos de hotéis, lojas de comércio, ambulantes e diversos outros segmentos da economia, já preparados para os lucros que obtêm na semana desse evento?

Quem ousaria frustrar as espectativas de uma população carnavalesca preparada para desfrutar uma semana de folia, com medidas que desgostariam, mas seriam imprescindíveis à contenção do SARS-Cov-2?

Como explicar que o ano novo chinês tenha sido suspenso na China, mas mantido na cidade de São Paulo e com restrição à presença de idosos e crianças?

Quem ousaria, com um pleito próximo para eleger prefeitos dos municípios, decretar e fazer cumprir medidas cientificamente recomendadas, mas que implicariam em fechamento de estabelecimentos comerciais e isolamento das pessoas em geral, resultando em problemas econômico-financeiros e sociais?

Com esse misto de interesses econômicos e políticos sobrepujando a moralidade e a compaixão, o governo federal do Brasil protagonizou comportamentos e declarações, que geraram dissonâncias entre estados e municípios, desorientação de grande parte da população, que passou a ir às ruas constantemente e a negligenciar orientações baseadas em conhecimentos científicos, como o uso de máscara facial, medidas básicas de higienização das mãos e isolamento social, preconizadas por médicos e pesquisadores do mundo todo.

Tamanha incongruência e inconsequência levou à morte por Covid-19, até o fim da manhã do dia nove de julho de 2020, 68.355 brasileiros e a quase dois milhões de pessoas infectadas por SARS-Cov-2. Nesse tempo, construiu-se um triste cenário de dor e indignação, especialmente daqueles que à frente dos desafiadores e estenuantes procedimentos de atendimentos aos doentes, sofreram diversas privações, desgastes físicos e emocionais, além de testemunharem a morte de mais de uma centena de colegas no exercício de suas profissões na área da saúde.

Nesse cenário desolador, merece destaque a atuação eficiente e incansável de jornalistas, que desde o início da epidemia, divulgaram amplamente a situação mundial, local e os conhecimentos científicos, que foram exaustivamente esclarecidos com o apoio de médicos clínicos, enfermeiros e pesquisadores de diversas áreas (ex. médicas, biológicas, epidemiológicas, matemáticas).

No Brasil tal crise evidenciou a existência de uma boa rede de saúde pública aberta a toda a população, mas sem adequação em infraestrutura e quantidade necessária de pessoal técnico especializado devidamente treinado. Expôs a penúria em que vive grande parte da população brasileira, que sem acesso a escolas e ensino de excelente qualidade, é mantida pouco esclarecida, dependente e manipulável. Essa crise também escancarou patologias morais, institucionais e políticas.

Muitas pessoas se viram nuas, frágeis, amedrontadas e desamparadas; outras, comumente omissas, restaram assustadas e impotentes diante da complexidade da crise, mas não faltaram levas de pessoas, muitas vezes sem condições de compreender a gravidade da situação, que acreditaram no fim da pandemia por meio de orações, remédios sem ação farmacológica e se solidarizaram com certos políticos e pastores cínicos, manipuladores.

Quantos indivíduos só então se deram conta de que sequer sabiam lavar as mãos, hábito básico de higiene, ou que não as lavavam na frequência e ocasiões necessárias; outros que não sabiam da dificuldade que têm de conviver apenas consigo em isolamento; muitos, que reclusos em casa para realizar seus trabalhos, constataram que essa atividade pode ser leve, saudável e produtiva, diferente do que em geral, chefes e colegas lhes permitem nas empresas, devido a competições nefastas; já outros, também trabalhando em suas casas, constataram que podem ser vítimas de solicitações abusivas, de chefes que desrespeitam os limites de tempo dos funcionários; que políticos profissionais não são servidores públicos e não hesitam usar a desgraça e dor geral como plataforma eleitoral e nem deixam de mentir criminosamente para se manterem no poder; que ética e cooperação, em prol do bem comum, precisam integrar verdadeiramente as agendas

governamentais e de todas as pessoas; que enquanto uns poucos endinheirados (~1%) cumprem quarentena como se estivessem em colonias de férias, a maioria (99%) se desespera após ter sido demitida ou ter sido privada de atividades laborais de ganho irrisório, mas essenciais para garantir subsistência diária; que há um contingente muito grande de sem teto, sem comida e sem proteção, os denominados invisíveis sociais; que água tratada e encanada, bem como coleta de esgoto falta à maior parte dos brasileiros em todas as regiões do país, inclusive em grandes cidades; que há crianças o tempo todo em isolamento com suas famílias, tendo aulas e entretenimento via internet, enquanto a maioria das crianças passam quase o dia inteiro sozinhas ou nas ruas, dependentes de merenda escolar e de cestas básicas para se alimentarem; que os investimentos em saúde são insuficientes para manter um serviço adequado às necessidades da população, enquanto o noticiário revela redes de criminosos alimentando contas pessoais com dinheiro público etc. Triste realidade de um país gigantesco, diverso e repleto de riquezas naturais mal geridas e destruídas por pessoas ignorantes e inescrupulosas.

Concluindo, entre o passado e o futuro temos este presente de incertezas e inseguranças, que a humanidade alimenta com sua arrogância. Um tempo que clama por mudanças urgentes na forma de cada humano conceber a vida e de agir no mundo, como condição para o seu bem-estar em Gaia, sem eclipsar o futuro das suas novas gerações.

Que a história da D. Maria Bellé e as muitas outras aqui contadas, nos sirvam de inspiração, tomada de consciência e incansável disposição diária para laborar em prol da vida, em prol de ações globais harmoniosas, de colaboração e integrada à complexidade dinâmica da Natureza.

Agradecimentos. À Senhora Maria Joana Bellé Marques, pelo exemplo de vida e por me permitir conhecer e contar parte da sua história, que me levou a esta que ampliei e ilustrei no presente livro; ao Dr. Eduardo Bagagli, pela identificação dos fungos usados nas ilustrações e por ceder as imagens de *Aspergillus flavus*; ao Dr. Fausto Foresti, por permitir o uso de equipamentos para preparação, observações e registros fotográficos das leveduras usadas pela senhora Maria Bellé e a Rosemary Cristina da Silva, pela prestimosidade com que me atendeu para realizar a normalização bibliográfica.

Bibliografia

AFOAKWA, E. O. *et al.* Flavor formation and character in cocoa and chocolate. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 48, n. 9, p. 840-857, 2008. DOI 10.1080/10408390701719272.

ALMEIDA, F. O. A arqueologia dos fermentados: a etílica história dos Tupi-Guarani. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 83, p. 87-118, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000100006.

ALMEIDA, S. F. O. Diversity of yeasts during fermentation of cocoa from two sites in the Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 49, n. 1, p. 64-70, 2019.

ANTUNES, L. C. M. A microbiota humana. **Ciencia Hoje**, Rio de Janeiro, n. 345, jul. 2018. Disponível em: http://www.cienciahoje.org.br/revista/materia/id/856/n/a_microbiota_humana. Acesso em: 15 ago. 2018.

APROTOSOAIE, A. C.; LUCA, S. V.; ANCA, M. Flavor chemistry of cocoa and cocoa products: an overview. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 15, p. 73-91, 2016. DOI 10.1111/1541-4337.12180.

AQUINO, V. C. **Estudo da estrutura de massas de pães elaboradas a partir de diferentes processos fermentativos**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ARRANZ-OTAEGUIA, A. *et al.* Archaeobotanical evidence reveals the origins of bread 14,400 years ago in northeastern Jordan. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 115, n. 31, p. 7925-7930, 2018. DOI 10.1073/pnas.1801071115. Epub 2018 Jul 16.

ARSLAN, S. A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. **Journal of Food,** Abingdon, v. 13, n. 3, p. 340-345, 2015. DOI 10.1080/19476337.2014.981588.

ASTUTI, I.; YSRAFIL. Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2): an overview of viral structure and host response. **Diabetes & Metabolic Syndrome**, Amsterdam, n. 14, p. 407-412, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.020. Acesso em: 22 jun. 2020.

BÄCKHED, F. *et al*. Host-bacterial mutualism in the human intestine. **Science**, New York, v. 307, n. 5717, p. 1915-1920, 2005. Review.

BAHN, P. G. Objets d'Art. *In:* BAHN, P. G. **The Cambridge illustrated history of prehistoric art**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 82-97.

BALAKRISHNAN, R. Species concepts, species boundaries and species identification: a view from the tropics. **Systematic Biology**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 689–693, 2005.

BARNETT, J. A. A history of research on yeasts 13. Active transport and the uptake of various metabolites. **Yeast**, Chinchester, v. 25, p. 689-731, 2008.

BINNS, N. **Probióticos, prebióticos e a microbiota intestinal**. São Paulo: ILSI Brasil, 2014. 36 p. Disponível em: http://ilsi.org/europe/wp-content/uploads/sites/3/2016/05/Probi%C3%B3ticos.pdf. Acesso em: 18 abr. 2019.

BLACKWELL, M. The fungi: 1, 2, 3 … 5.1 million species? **American Journal of Botany**, Baltimore, v. 98, n. 3, p. 426-438, 2011.

BONAZ, B.; PELLISSIER, S. The vagus nerve at the interface of the microbiota-gut-brain axis. **Frontiers in Neuroscience**, Lausanne, v. 12, p. 49, 2018. DOI 10.3389/fnins.2018.00049.

BOURDICHON, F. *et al*. Food fermentations: microorganisms with technological beneficial use. **International Journal of Food**

Microbiology, Amsterdam, v. 154, p. 87-97, 2012.

BOYNTON, P. J. E.; GREIG, D. The ecology and evolution of non-domesticated Saccharomyces species. **Yeast**, Chinchester, v. 31, n. 12, p. 449-462, 2014. DOI 10.1002/yea.3040.

BRANDT, M. J. Starter cultures for cereal based foods. **Food Microbiology**, London, v. 37, p. 41- 43, 2014. DOI 10.1016/j.fm.2013.06.007.

BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Modo de fazer cuias no baixo Amazonas (PA)**. Brasília: Ministério da Cultura, 2015. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?time_continue=23&v=4_Jo-3r4ahw0. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRESINSKY, A. *et al*. **Tratado de Botânica de Strasburguer**. Porto Alegre: Artmed, 2012. 1166 p.

BRESSIANI, J. *et al*. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, London, v. 75, p. 269-277, 2017.

BRITES, C. M.; GUERREIRO, M. **O pão através dos tempos**. Lisboa: Apenas Livros Ltda, 2008. 22 p.

BURKHOLDER, P. R.; MCVEIGH, I. Synthesis of vitamins by intestinal bacteria. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, Washington, v. 28, n. 7, p. 285-289, 1942.

CAMARGO, L. A. **Pão nosso**: receitas caseiras com fermento natural. São Paulo: Senac; Panelinha, 2016. 175 p.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão, arte e ciência**. São Paulo: Editora Senac, 2003. 338 p.

CARVALHO, L. C. (org.). **O artesanato de cuias em perspectiva – Santarém**. Rio de Janeiro: IPHAN, 2011. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Cuias_de_santa-

rem.pdf. Acesso em: 8 jan. 2018.

CAVALIERI, D. *et al*. Evidence for *S. cerevisiae* fermentation in ancient wine. **Journal of the Molecular Evolution**, Berlim, v. 57, p. 226-232, 2003.

CHASSAING, B.; CASCALES, E. Antibacterial weapons: targeted destruction in the microbiota. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 24, n. 4, p. 329-338, 2018. Disponível em: https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-01780757/document. Acesso em: 12 maio 2018.

COE, S. D.; COE, M. D. **The true history of chocolate**. London: Thames & Hudson, 2013. 280 p.

COLLINS, S. M. The interplay between the intestinal microbiota and the brain. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 10, p. 735-742, 2012. DOI 10.1038/nrmicro2876.

COOK, M. **Uma breve história do homem**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2005. 251 p.

COSTA, F. A. P. L.; EITERER, M.; PALEARI, L. M. Classificação biológica: desafios na história da biologia. *In:* PALEARI, L. M. *et al*. **Experimentando ciência**: teoria e práticas para o ensino da biologia São Paulo: Editora da Unesp, 2011. p. 89-110.

CROSBY, D. A. *et al.* Altered vaginal microbiome and its role in preterm birth. **American Journal of Obstetrics & Gynecology**, New York, v. 218, n. 1, suppl., p. S406–S407, 2018. Poster Session IV.

CROWN, P. L.; HURST, W. J. Evidence of cacao use in the Prehispanic American Southwest. **PNAS**, Washington, v. 106, n. 7, p. 2110-2113, 2009.

DE ANDRÉS, J. *et al.* Physiological translocation of lactic acid bacteria during pregnancy contributes to the composition of the milk microbiota in mice. **Nutrients**, Basel, v. 10, n. 1, p. ii: E14, 2018. DOI 10.3390/nu10010014.

DE LAET, S. J. Do início da produção de alimentos aos primeiros estados. *In:* DE LAET, S. J. *et al*. (coord.). **História da humanidade**: a pré-história e o início da civilização. Lisboa: Editorial Verbo, 1996. v. I, p. 382-393.

DEBOER, W. R. Ceramic assemblage variability in the formative of ecuador and peru. *In:* RAYMOND, S.; BURGER, R. L. (ed.). **Archaeology of formative Ecuador**. Washington: Dumbarton Oaks Research Library and Colletion, 2003. p. 289-336.

DECOCK, P.; CAPPELLE, S. Bread technology and sourdough technology. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 16, p. 113-120, 2005.

DETHLEFSEN, L.; MCFALL-NGAI, M.; RELMAN, A. A. An ecological and evolutionary perspective on human–microbe mutualism and disease. **Nature**, v. 449. 2007. DOI 10.1038/nature06245.

DHAMA, K. *et al*. Coronavirus Disease 2019–COVID-19. **Clinical Microbiology Reviews**, Washington, v. 33, n. 2, p. 1-48, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1128/CMR.00028-20. Acesso em: 22 jun. 2020.

DINIZ, I. N. Liquens são usados como biomonitores de poluição em Porto Alegre. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, fev. 2012. Disponível em: http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/02/29/liquens-s%C3%A3o-usados-como-biomonitores-de-polui%C3%A7%C3%A3o-em-porto-alegre/. Acesso em: 20 ago. 2018.

DONNET-HUGHES, A. *et al.* Prebiotics and probiotics usefulness against pathologies Potential role of the intestinal microbiota of the mother in neonatal immune education. **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 69, p. 407–415, 2010. DOI 10.1017/S0029665110001898.

DUNN, R. R. *et al*. The internal, external and extended microbiomes of hominins. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Lausanne, v. 8, n. 25, p. 1-12, 2020. DOI 10.3389/fevo.2020.00025.

EFRAIM, P. *et al.* Influência da fermentação e secagem de amên-

doas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, 2010. Suplemento1. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000500022.

EFRAIM, P.; ALVES, A. B.; JARDIM, D. C. P. Polifenóis em cacau e derivados: teores, fatores de variação e efeitos na saúde. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 181-201, 2011. DOI 10.4260/BJFT2011140300023.

ERCOLINI, D. *et al.* Microbial ecology dynamics during rye and wheat sourdough preparation. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 79, n. 24, p. 7827-7836, 2013.

FADERL, M. *et al.* Keeping bugs in check: the mucus layer as a critical component in maintaining intestinal homeostasis. **International Union of Biochemistry and Molecular Biology**, London, v. 67, n. 4, p. 275-285, 2015.

FERNANDES, F. T. Impactos da microbiota intestinal na saúde do lactente e da criança em curto e longo prazo. **International Journal of Nutrology**, Catanduva, v. 10, n. 1, p. S335-S342, 2017. Suplemento.

FERNANDES, M. A. Y. *et al.* Avaliação do processo fermentativo natural das sementes de cacau dos municípios de Medicilândia e Tucumã. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 56., 2016, Belém. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: ABQ, 2016. Disponível em: http://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/10/10105-23318.html. Acesso em: 19 jan. 2020.

FERNÁNDEZ, L. *et al.* The human milk microbiota: origin and potential roles in health and disease. **Pharmacological Research**, London, v. 69, n. 11, p. 1-10, 2013. Review.

FERNÁNDEZ-MURGA, L. *et al.* The impact of chocolate on cardiovascular health. **Maturitas**, Amsterdam, v. 69, p. 312-321. 2011.

FERREIRA, A. C. R. *et al.* **Guia de beneficiamento de cacau de**

qualidade. Ilhéus: Instituto Cabruca, 2013. p. 1-52. Disponível em: http://nbcgib.uesc.br/cicacau/arquivos/producao_tecnico_cientifica/[1]guia-beneficiamento-2.pdf. Acesso em: 19 jan. 2020.

FIETTO, J. L. R. *et al*. Molecular and physiological comparisons between *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces boulardii*. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, p. 615-621, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. World Health Organization. **Report on expert consultation on the evaluation of health and nutritional properties of probiotic food including powdered milk with lactic acid bacteria life**. Cordoba: FAO/WHO, 2001. Disponível em: http://www.who.int/entity/foodsafety/publications/fs_management/en/probiotics.pdf. Acesso em: 20 jan. 2018.

FRACZEK, M. G.; NASEEB, S.; DELNERI D. History of genome editing in yeast. **Yests**, Oxford, v. 35, n. 5, p. 361-368, 2018. DOI 10.1002/yea.3308.

FRANCO, R.; OÑATIBIA-ASTIBIA, A.; MARTÍNEZ-PINILLA, E. Health benefits of methylxanthines in cacao and chocolate. **Nutrients**, Basel, v. 5, n. 10, p. 4159-4173, 2013. DOI 10.3390/nu5104159.

FUNDAÇÃO WIKIMEDIA. População mundial. *In:* FUNDAÇÃO WIKIMEDIA. **Wikipédia, a enciclopédia livre**. San Francisco, 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Popula%C3%A7%C3%A3o_mundial. Acesso em: 16 ago. 2018.

FUNKHOUSER, L. J.; BORDENSTEIN, S. R. Mom knows best: the universality of maternal microbial transmission. **PLOS Biology**, San Francisco, v. 11, n. 8, p. e1001631. 2013. DOI 10.1371/journal.pbio.1001631.

GASBARRINI, G. Probiotics history. **Journal of Clincal Gastroenterology**, New York, v. 50, p. S116-S119, 2016. Supplement 2.

GAYA, E. *et al*. Fungal tree of life. *In:* WILLIS, K. J. (ed.). **State of the World's Fungi 2018**. Kew: Royal Botanic Gar-

dens, 2018. p. 12-17.

GÉLINAS, P. Mapping early patents on baker's yeast manufacture. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 9, p. 283-497, 2010.

GINO, V. *et al*. Yeast species composition differs between artisan bakery and spontaneous laboratory sourdoughs. **FEMS Yeast Research**, Amsterdam, v. 10, n. 4, p. 471-481, 2010.

GLOBO REPORTER. **Caminhos do pão**. Rio de Janeiro: Rede Glogo de Televisão, 2019. Disponível em: https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&pli=1#inbox/FMfcgxwBVzxwtnxkzxtfrGPwsqXfhTMR?projector=1. Acesso em: 11 mar. 2019.

GOBBETTI, M. *et al*. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. **Food Microbiology**, London, v. 37, p. 30-40, 2014. DOI 10.1016/j.fm.2013.04.012.

GRUNDY, S. M. Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 60, p. 986S-990S, 1994. Supplement 6. DOI 10.1093/ajcn/60.6.986S.

GRZESKOWIAK, L. *et al*. Gut *Bifidobacterium* microbiota in one-month-old Brazilian newborns. **Anaerobe**, London, n. 35, pt. B, p. 54-58, 2015. DOI 10.1016/j.anaerobe.2015.07.004.

GUZEL-SEYDIM, Z. *et al*. Review: functional properties of kefir. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 51, n. 3, p. 261-268, 2011. DOI 10.1080/10408390903579029.

HAAS, J.; CREAMER, W.; RUIZ, A. Gourd lord. **Archaeology**, New York, v. 56, n. 3, p. 7, 2003.

HAGEN, J. B. Five kingdoms, more or less: Robert Whittaker and the broad classification of organisms. **BioScience**, Oxford, v. 62, p. 67-74, 2012.

HALLEN-ADAMS, H. E.; SUHR, M. J. Fungi in the healthy hu-

man gastrointestinal tract. **Virulence**, Philadelphia, v. 8, n. 3, p. 352-358, 2017.

HARARI, Y. N. **Sapiens**: uma breve história da humanidade. Porto Alegre: L & PM, 2019. 459 p.

HARLAN, J. R. A domesticação de plantas. *In:* DE LAET, S. J. *et al*. (coord.). **História da humanidade**: a pré-história e o início da civilização. Lisboa: Editorial Verbo, 1996. v. 1, p. 394-406.

HARLAN, J. R. The early history of wheat: earliest traces of the sack of Rome. *In:* EVANS, L. T.; PEACOCK, W. J. (ed.). **Wheat science**: today and tomorrow. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 1-20.

HASÖKSÜZ, M.; KILIÇ, S.; SARAÇ, F. Coronaviruses and SARS-COV-2. **Turkish Journal of Medical Sciences**, Ankara, v. 50, p. 549-556, 2020. DOI 10.3906/sag-2004-127.

HAVENAAR, R.; IN'T VELD, J. H. J. H. Probiotics: a general view. *In:* WOOD, B. J. B. (ed.). **The lactic acid bacteria**. London: Elsevier Science Publishers, 2006. v. 1, p. 151-170.

HAWKSWORTH, D. L.; LÜCKING, R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. **Microbiology Spectrum**, Washington, v. 5, n. 4, jul. 2017. DOI 10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.

HECKMAN, D. S. *et al*. Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants. **Science**, New York, v. 293, n. 5532, p. 1129-1133, 2001.

HEHEMANN, J. H. *et al*. Transfer of carbohydrate-active enzymes from marine bacteria to Japanese gut microbiota. **Nature**, London, v. 464, p. 908–912, 2010. DOI 10.1038/nature08937.

HIBBETT, D. S. *et al*. A higher-level phylogenetic classification of the fungi. **Mycological Research**, Cambridge, v. 111, p. 509-547, 2007.

HIBBETT, D. S. *et al*. Phylogenetic taxon definitions for Fungi, Dikarya, Ascomycota and Basidiomycota. **IMA Fungus**, Berkeley, v. 9, n. 2, p. 509-547, 2018. DOI 10.5598/imafungus.2018.09.02.05.

HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. **Para entender micorrizas arbusculares**. Campina Grande: Embrapa, 2006. p. 1-22.

HOMMA, A. K. O. (ed.). **Extrativismo vegetal na Amazônia**: história, ecologia, economia e domesticação. Brasília: Embrapa, 2014. p. 1-468.

HUI, Y. H. *et al*. **Handbook of food and beverage fermentation technology**. New York: Marcel Dekker, 2004. 919 p.

INDEX FUNGORUM. **Base de dados do reino Fungi**. London, 2018. Disponível em: www.indexfungorum.org. Acesso em: 20 ago. 2018.

JACKSON, R. S. **Wine science**: principles and applications. London: Academic Press, 2008. 789 p.

JACOB, E. H. **Seis mil anos de pão**. São Paulo: Nova Alexandria, 2003. 581 p.

JIMENEZ, E. *et al*. Is meconium from healthy newborns actually sterile? **Research in Microbiology**, Amsterdam, v. 159, p. 187-193, 2008. DOI 10.1016/j.resmic.2007.12.007.

JOHN, S. H. *et al*. Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. **PNAS**, Washington, v. 104, n. 48, p. 18937-18940, 2007. Disponível em: www.pnas.org/cgi-doi/10.1073/pnas.0708815104. Acesso em: 19 jan. 2020.

JOHNSON, K. V. A.; FOSTER, K. R. Why does the microbiome affect behaviour? **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 16, p. 647–655, 2018. DOI 10.1038/s41579-018-0014-3.

JORNAL NACIONAL. **Ministério da Saúde investiga possível paciente com coronavírus em SP; caso foi para contraprova**. São Paulo: Rede Globo de Televisão, 2020. Disponível em: https://g1.globo.

com/sp/sao-paulo/noticia/2020/02/25/ministerio-da-saude-investiga-possivel-paciente-com-coronavirus-em-sp-caso-foi-para-contraprova.ghtml. Acesso em: 21 abr. 2020.

JOSEPHSEN, J.; JESPERSEN, L. Fermented food and starter cultures. *In:* HUI, Y. H. (ed.). **Handbook of food science technology and engineering**. Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis Group, 2006. v. 4, cap. 177, p. 1 - 20.

KATZ, S. E. **A arte da fermentação**. São Paulo: Edições Tapioca e SESI-SP Editora, 2014. 632 p.

KAU, A. L. *et al*. Human nutrition, the gut microbiome and the immune system. **Nature**, London, v. 474, p. 327 - 336, 2011. DOI 10.1038/nature10213.

KAUFMANN, K.; SCHONECK, A. **Making sauerkraut and pickled vegetables at home**. Lawrence County: Book Publishing Company, 2007. 64 p.

KERREBROECK, S. V.; MAES, D.; VUYST, L. D. Sourdoughs as a function of their species diversity and process conditions, a meta-analysis. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 68, p. 152-159, 2017.

KIMBELL, V. The history of sourdough bread. *In:* KIMBELL, V. **The Sourdough School**: nutrition & digestibility of bread & the gut microbiome. London, 2015. Disponível em: https://www.sourdough.co.uk/the-history-of-sourdough-bread/. Acesso em: 20 mar. 2019.

KIMBELL, V. Why is it that i can digest sourdough bread and not commercial bread? *In*: KIMBELL, V. **The Sourdough School**: nutrition & digestibility of bread & the gut microbiome. London, 2017. Disponível em: https://www.sourdough.co.uk/why-is-it-that-i-can-digest-sourdough-bread-and-not-commercial-bread/. Acesso em: 20 mar. 2019.

KRZYZANIAK, L. A pré-história final do Egyto. *In:* DE LAET, S. J. *et al.* (coord.). **História da humanidade**: a pré-história e o início

da civilização. Lisboa: Editorial Verbo, 1996. v. 1, p. 416-429.

LANE, M.; MORRISSEY, J. P. Kluyveromyces marxianus: a yeast emerging from its sister's shadow. **Fungal Biology Reviews**, Amsterdam, v. 24, n. 1-2, p. 17-26, 2010. DOI 10.1016/j.fbr.2010.01.001.

LAUTERJUNG, M. B. *et al*. Phylogeography of Brazilian pine (Araucaria angustifolia): integrative evidence for pre-Columbian anthropogenic dispersal. **Tree Genetics & Genomes**, Heidelberg, v. 14, n. 36, p. 36, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-018-1250-4.

LEAL JUNIOR, G. A. *et al*. Fermentation of cacao (Theobroma cacao L.) seeds with a hybrid Kluyveromyces marxianus strain improved product quality attributes. **FEMS Yeast Research**, Amsterdam, v. 8, n. 5, p. 788-798, 2008. DOI 10.1111/j.1567-1364.2008.00405.x.

LEE, S. **Healthy Yest from Non –GMO Molasses | Pacific Fermentation**. 2012. 1 vídeo (3min28s). Produzido por One Degree Organics. Disponível em: http://youtube.com/watch?v=Ip8-4s8ZK-Sw. Acesso em: 11 jan. 2014.

LEGRAS, J. L. *et al*. Bread, beer and wine: Saccharomyces cerevisiae diversity reflects human history. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 16, p. 2091-2102, 2007.

LEITCHA, I. J. *et al*. Fungal genomes: exploring, understanding and utilising their diversity. *In*: WILLIS, K. J. (ed.). **State of the World's Fungi**. Report. Kew: Royal Botanic Gardens, 2018. p. 40–47.

LEITE, A. M. O. Microbiological, technological and therapeutic properties of kefir: a natural probiotic beverage. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 341-349, 2013.

LEWIS-WILLIAMS, D. **The mind in the cave**: consciousness and the origins of art. London: Thames & Hudson, 2002.

LEY, R. E. *et al*. Worlds within worlds: evolution of the vertebrate gut microbiota. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 6, p. 776–778, 2008. DOI 10.1038/nrmicro1978.

LIM, P. L.; TOH. M.; LIU, S. Q. *Saccharomyces cerevisiae* EC-1118 enhances the survivability of probiotic Lactobacillus rhamnosus HN001 in an acidic environment. **Applied Microbial and Cell Physiology**, Berlim, v. 99, p. 6803–6811, 2015. DOI 10.1007/s00253-015-6560-y.

LIPPI, D. Chocolate in history: food, medicine, medi-food. **Nutrients**, Basel, v. 5, p. 1573-1584, 2013. DOI 10.3390/nu5051573.

LOTTENBERG, A. M. A. P. Importância da gordura alimentar na prevenção e no controle de distúrbios metabólicos e da doença cardiovascular. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabolgia**, São Paulo, v. 53, n. 5, p. 595-607, 2009.

LOVELOCK, J. **Gaia**: a cura para um planeta doente. São Paulo: Cultrix, 2006.

LUKASZEWICZ, M.. *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* – Probiotic Yeast. *In*: RIGOBELO, E. (ed.). **Probiotics**. 3. ed. London: Intech Open Limited, 2012. chap. 16, p. 385-398. Disponível em: https://www.intechopen.com/books/probiotics/saccharomyces-cerevisiae-var-boulardii-probiotic-yeast. Acesso em: 14 ago. 2018.

LUPIEN, J. R. Overview of the nutritional benefits of cocoa and chocolate. *In*: KNIGHT, I. (ed.). **Chocolate and cocoa**: health and nutrition. Oxford: Blackwell Publishing Ltda, 1999. p. 3-8.

MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Tradução de Alice Freitas Versiani *et al*. Porto Alegre: Artmed, 2016.

MALAJOVICH, M. A. **Biotecnologia 2011**. Rio de Janeiro: Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012. 302 p.

MARGULIS, L. Evolutionary criteria in thallophytes: a radical alternative. **Science**, New York, v. 161, n. 3845, p. 1020-1022, 1968.

MARGULIS, L. **O planeta simbiótico**. Rio de Janeiro: Rocco, 2001. 137 p.

MARGULIS, L. Symbiogenesis. A new principle of evolution rediscovery of Bboris Mikhaylovich Kozo-Polyansky (1890–1957). **Paleontological Journal**, Silver Spring, v. 44, n. 12, p. 1525–1539, 2010.

MARGULIS, L.; CHAPMAN, M. J. **Kingdoms & domains**. London: Elsevier, 2009. 659 p.

MARGULIS, L.; SAGAN, D. **O que é vida?** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002. 289 p.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. **Cinco reinos**: um guia ilustrado dos filos da vida na terra. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 497 p.

MAYER, E. A.; TILLISCH, K.; GUPTA, A. Gut/brain axis and the microbiota. **The Journal of Clinical Investigation**, Ann Arbor, v. 125, n. 3, p. 926- 938, 2015. DOI 10.1172/JCI76304.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas**: do neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Editora da Unesp, 2010. 567 p.

McGEE, H. **Comida e cozinha**: ciência e cultura da culinária. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2011. 977 p.

McGOVERN, P. E. *et al*. Fermented beverages of pre- and proto-historic China. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 101, n. 51, p. 17593-17598, 2004. Disponível em: http://www.pnas.org/content/101/51/17593.full.pdf+html. Acesso em: 1 maio 2014.

McGOVERN, P. E. **Uncorking the past**: the quest for wine, beer, and other alcoholic beverages. Berkeley: University of California Press, 2009.

McGOVERN, P. E.; MIRZOLAN, A.; HALLA, G. R. Ancient

egyptian herbal wines. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 106, n. 18, p. 7361-7366, 2009. Disponível em: http://www.pnas.org/content/106/18/7361.full.pdf+html?with-ds=yes. Acesso em: 1 maio 2014.

McGOVERN, P. *et al*. Early neolithic wine of Georgia in the South Caucasus. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 13, p. E10309-10318, 2017. Disponível em: http://www.pnas.org/content/114/48/E10309.full.pdf. Acesso em: 13 dez. 2017.

McLAUGHLIN, D. J. *et al*. Subcellular structure and biochemical characters in fungal phylogeny. *In:* MCLAUGHLIN, D. J.; SPATAFORA, J. W. (ed.). **Systematics and evolution**: Part B -The Mycota VII. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2015. p. 329-358.

McLAUGHLIN, D. J. *et al*. The search for the fungal tree of life. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 17, n. 11, p. 488-497, 2009. DOI 10.1016/j.tim.2009.08.001.

MICARONI, R. C. C. M.; BUENO, M. I. M. S.; JARDIM, W. F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova,** São Paulo, v. 23, n. 4, p. 487-495, 2000. DOI 10.1590/S0100-40422000000400011.

MILLER, R.; STANNER, S. **A summary of evidence on the digestion, absorption and metabolism of white bread carbohydrates**. London: British Nutrition Foundation, 2016. Disponível em: https://www.fob.uk.com/wp-content/uploads/2016/12/BNF-White-bread-carbohydrate-report-FINAL.pdf. Acesso em: 4 jun. 2018.

MINERVINI, F. *et al*. Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 171, p. 136-146, 2014.

MINERVINI, F. *et al*. Wheat endophytic lactobacilli drive the mi-

crobial and biochemical features of sourdoughs. **Food Microbiology**, London, v. 70, p. 162-171, 2018.

MOHAJERI, M. H. *et al*. Relationship between the gut microbiome and brain function. **Nutrition Reviews**, Washington, v. 76, n. 7, p. 481-496, 2018.

MONCALVO, J. M. Molecular systematics - major fungal phylogenetic groups and fungal species concepts. *In:* XU, J. P. (ed.). **Evolutionary genetics of fungi**. Norfolk: Horizon Scientific Press, 2005. p. 1-33.

MONEY, N. P. Against the naming of fungi. **Fungal Biology**, Amsterdam, v. 17, p. 463-465, 2013.

MONTAGNA, M. T. *et al*. Chocolate, food of the gods: history, science, and human health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 16, n. 24, p. 4960, 2019. DOI 10.3390/ijerph16244960.

MORAIS, M. B.; JACOB, C. M. A. The role of probiotics and prebiotics in pediatric practice. **Journal of Pediatric**, Rio de Janeiro, v. 82, n. 5, p. S189-S197, 2006. Supplement.

MOSS, S.; BADENOCH, A. **Chocolate**: a global history. London: Reaktion Books, 2009.

MOYNIHAN, P. Foods and factors that protectagainst dental caries. **Nutrition Bulletin**, Cleveland, v. 25, n. 4, p. 281-286, 2000.

NAGY, L. G. Six key traits of fungi: their evolutionary origins and genetic bases. **Microbiological Spectrum**, Washington, v. 5, n. 4, p. 1-22, 2017. DOI 10.1128/microbiolspec.FUNK-0036-2016.

NIESS, J. H.; REINECKER, H-C. Dendritic cells in the recognition of intestinal microbiota. **Cellular Microbiology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 558-564, 2006. DOI 10.1111/j. 1462-5822.2006.00694.x.

O'TOOLE, P. W.; COONE, J. C. Probiotic bacteria influence the

composition and function of the intestinal microbiota. **Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases**, Cairo, p. 1-9, 2008. ID 175285. DOI 10.1155/2008/175285.

ORENSTEIN, J. O surgimento do pão francês no Brasil e o pão na França. **Jornal Estadão**, São Paulo, 27 jul. 2016. Caderno Paladar – Comida. Disponível em: http://paladar.estadao.com.br/noticias/comida,o-surgimento-do-pao-frances-no-brasil-e-o-pao-na-franca,10000065379. Acesso em: 22 out. 2017.

OSÓRIO, V. M. Estudo da emissão de acroleína em batata frita em óleos de soja e oliva. *In:* REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 34., 2011, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBQ, 2011. Disponível em: http://sec.sbq.org.br/cdrom/34ra/resumos/T1844-1.pdf Acesso em: 16 fev. 2020.

OZEN, M.; DINLEYICI, E.C. The history of probiotics: the untold story. **Beneficial Microbes**, Wageningen, v. 6, n. 2, p. 159-165, 2015. DOI 10.3920/BM2014.0103.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A. Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**, México, v. 10, n. 4, p. 196-211, 2009.

PASCOAL, D. B. *et al*. Síndrome Respiratória Aguda: uma resposta imunológica exacerbada ao COVID19. **Brazilian Journal of Health Review**, Vitória, v. 3, n. 2, p. 2978-2994, 2020. DOI 10.34119/bjhrv3n2-138.

PEREDA, J. A. O. **Tecnologia de alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, 294 p.

PEREZ, P. F. *et al*. Bacterial imprinting of the neonatal immune system: lessons from maternal cells? **Pediatrics**, Springfield, v. 119, p. e724-732, 2007.

PÉREZ-TORRADO, R. *et al*. Clinical Saccharomyces cerevisiae isolates cannot cross the epithelial barrier in vitro. **International Journal of Food Microbiology**, Springfield, v.

157, p. 59–64, 2012. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/225048436_Clinical_Saccharomyces_cerevisiae_isolates_cannot_cross_the_epithelial_barrier_in_vitro. Acesso em: 4 jun. 2014.

PETRINI, C. **Slow food**: princípios da nova gastronomia. São Paulo: Senac, 2009. 245 p.

PHAFF, J. H. Yeasts. *In*: ENCYCLOPEDIA OF LIFE SCIENCES. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2001. Disponível em: www.els.net. Acesso em: 7 jun. 2014.

POLLAN, M. **Cozinhar**: uma história natural da transformação. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014. 448 p.

POLLAN, M. **O dilema do onívoro**: uma história natural de quatro refeições. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2007. 479 p.

POUTANEN, K.; FLANDER, L.; KATINA, K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. **Food Microbiology**, London, v. 26, p. 693–699, 2009.

POWIS, T. G. *et al*. Cacao use and the San Lorenzo Olmec. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, n. 21, p. 8595-8600, 2011.

POWIS, T. G. *et al*. Oldest chocolate in the New World. **Antiquity**, Durham, v. 81, n. 314, 2007. Disponível em: https://www.antiquity.ac.uk/projgall/powis314/. Acesso em: 16 fev. 2020.

QUERCIA, S. *et al*. From lifetime to evolution: time scales of human gut microbiota adaptation. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Lausanne, v. 5, p. 587, 2014.

QUEROL, A.; FLEET, G. (ed.). **Yeasts in food and beverages**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 453 p.

QUIROGA, A. L. B. Dossiê amidos. **Food Ingredients Brasil**, São Paulo, n. 35, p. 31-56, 2015. Disponível em: http://www.revista-fi.com/materias/499.pdf. Acesso em: 20 jun. 2018.

RABINOWITZ, A. **Archaeowine**. 2017. Disponível em: http://timemapper.okfnlabs.org/adamrabinowitz/archaeowinetimeliner#0. Acesso em: 20 ago. 2018.

REID, G. *et al*. Potential uses of probiotics in clinical practice. **Clinical Microbiology Reviews**, Washington, v. 16, n. 4, p. 658-672, 2003.

RESCIGNO, M. *et al*. Dendritic cells express tight junction proteins and penetrate gut epithelial monolayers to sample bactéria. **Nature Immunology**, New York, v. 2, n. 4, p. 321-367, 2001.

REUBEN, B.; COULTATE, T. Bread chemistry: on the rise. 2009. **Chemistry World**, Cambridge, p. 54-57, out. 2009. Disponível em: https://www.rsc.org/images/breadchemistry_tcm18-163980.pdf. Acesso em: 9 abr. 2019.

RIBEIRO, B. D. *et al*. **Microbiologia industrial**: alimentos. São Paulo: Elsevier, 2018. v. 2, 470 p.

RIBET, D.; COSSART, P. How bacterial pathogens colonize their hosts and invade deeper tissues. **Microbes and Infection**, Paris, v. 17, p. 173-183, 2015.

RODRIGUEZ, J. M. *et al*. The composition of the gut microbiota throughout life, with an emphasis on early life. **Microbial Ecology in Health & Disease**, Chichester, v. 26, p. 26050, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.3402/mehd.v26.26050.

RUBEL, W. **Bread**: a global history. London: Reaktion Books, 2011. 160 p. (Série Edibles).

RUDDMAN, W. F. **A Terra transformada**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 376 p.

RUSCONI, M.; CONTI, A. Theobroma cacao L., the Food of the Gods: a scientific approach beyond myths and claims. **Pharmacological Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 5-13, 2010. DOI 10.1016/j.phrs.2009.08.008.

SAGAN, L. On the origin of mitosing cells. **Journal Theoretical Biology**, London, n. 14, n. 3, p. 225-274, 1967.

SCHMITZ, P. I. Os primeiros povoadores do cerrado. **Com Ciência e Divulgação Científica**, Campinas, 2003. Disponível em: http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/arqueologia/arq11.shtml. Acesso em: 8 jan. 2018.

SCHÜßLER, A.; SCHWARZOTT1, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, London, v. 105, n. 12, p. 1413–1421, 2001. DOI: https://doi.org/10.1017/S0953756201005196.

SCHWAN, R. F.; WHEALS, A. E. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v. 44, n. 4, p. 205-221, 2004. DOI 10.1080/10408690490464104.

SCOTT, M. F. *et al*. A 3,000-year-old Egyptian emmer wheat genome reveals dispersal and domestication history. **Nature Plants**, London, v. 5, p. 1120-1128, 2019. DOI 10.1038/s41477-019-0534-5.

SEIGO, B. *et al*. Continuous intake of polyphenolic compounds containing cocoa powder reduces LDL oxidative susceptibility and has beneficial effects on plasma HDL-cholesterol concentrations in human. **American Journal Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 85, n. 3, p. 709-717, 2007.

SEO, D. **The Saccharomyces cerevisiae World**. 2013. Disponível em: http://danielseobiodiversity.blogspot.com.br/. Acesso em: 7 jun. 2014.

SERRACARBASSAI, P. D.; DOTTO, P. Endoftalmite por *Candida albicans*. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, São Paulo, v. 66, n. 5, p. 701-707, 2003. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27492003000500027. Acesso em: 1 maio 2014.

SHIBAO, J.; MARKOWICZ, D. H. Produtos da reação de Maillard em alimentos: implicações para a saúde. **Revista de Nutrição**,

Campinas, v. 24, n. 6, p. 895-904, 2011.

SIRONIA, M. et. al. SARS-CoV-2 and COVID-19: A genetic, epidemiological, and evolutionary perspective. **Infection, Genetics and Evolution**, Amsterdam, v. 84, 1567-1348, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104384. Acesso em: 22 jun. 2020.

SOARES, I. A. *et al*. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 341-350, 2011. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/arq/v78_2/soares.pdf. Acesso em: 18 ago. 2018.

SONNENBURG, J. L. Genetic pot luck. **Nature**, London, v. 464, p. 837-838, 2010.

STEFANINIA, I. *et al*. Role of social wasps in Saccharomyces cerevisiae ecology and evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 109, n. 33, p. 13398-13403, 2012. Disponível em: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1208362109. Acesso em: 2 maio 2014.

STRALFORS, A. Inhibition of hamster caries by substances in chocolate. **Archives of Oral Biology**, Oxford, v. 12, n. 8, p. 959-962, 1967. DOI 10.1016/0003-9969(67)90090-8.

SUDO, N. *et al*. Postnatal microbial colonization programs the hypothalamic-pituitary-adrenal system for stress response in mice. **The Journal of Physiology**, London, v. 558, p. 263–275, 2004. DOI 10.1113/jphysiol.2004.063388.

SUH, S. O. *et al*. Phylogenetics of Saccharomycetales, the ascomycete yeasts. **Mycologia**, Abingdon, v. 98, n. 6, p. 1006-1017, 2006. Disponível em: http://www.mycologia.org/content/98/6/1006.full.pdf+html. Acesso em: 1 maio 2014.

SUZ, L. M. *et al.* Positive plant–fungal interactions. *In:* WILLIS, K. J. (ed.). **State of the World's Fungi**. Report. Kew: Royal Botanic Gardens, 2018. p. 32-39.

TANNENBAUM, G. Chocolate: a marvelous natural product of chemistry. **Journal of Chemical Education**, Tucson, v. 81, n. 8, p. 1131-1135, 2004.

TERRONI, C. H. *et al.* Liofilização. **Revista Científica Unilago**, São José do Rio Preto, v. 1, n. 1, p. 271-284, 2013. Disponível em: http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoanterior/Sumario/2013/downloads/2013/LIOFILIZA%C3%87%C3%83O.pdf. Acesso em: 14 fev. 2018.

THE HARVARD UNIVERSITY PRESS. **Rediscovering symbiogenesis**. Massachusetts: Harvard University Press, 2010. Disponível em: https://harvardpress.typepad.com/hup_publicity/2010/07/rediscovering-symbiogenesis.html. Acesso em: 6 fev. 2019.

THIS, H. **Um cientista na cozinha**. São Paulo: Ática, 1999. 240 p.

TIMOTHY Y. J. *et al.* A molecular phylogeny of the flagellated fungi (Chytridiomycota) and description of a new phylum (Blastocladiomycota). **Mycologia**, Lancaster, v. 98, n. 6, p. 860–871, 2006.

TISSIER, H. **Recherches sur la flore intestinale des nourrissons**: état normal et pathologique. Paris: Georges Carré et C. Naud, 1900. 258 p.

TLASKALOVÁ-HOGENOVÁ, T. *et al.* The role of gut microbiota (commensal bacteria) and the mucosal barrier in the pathogenesis of inflammatory and autoimmune diseases and cancer: contribution of germ-free and gnotobiotic animal models of human diseases. **Cellular & Molecular Immunology**, Beijing, v. 8, p. 110-120, 2011. DOI 10.1038/cmi.2010.67.

UJVARI, S. C. A história da disseminação dos microrganismos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 64, p. 171-182, 2008.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Fósseis hominídeos, evolução humana**: Thomas Huxley e Eugene Dubois (1/3). São Paulo: IB/USP, 2018. Disponível em: http://www.ib.usp.br/evosite/history/humans_evolv.shtml. Acesso em: 14 fev. 2018.

VALAMOTI, S. M. *et al*. Prehistoric cereal foods of south-eastern Europe: an archaeobotanical exploration. **Journal of Archaeological Science**, London, v. 104, p. 97-113, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.11.004. Acesso em: 7 maio 2019.

VAZQUEZ-TORRES, A. *et al*. Extraintestinal dissemination of Salmonella by CD18-expressing phagocytes. **Nature**, London, v. 401, p. 804-808, 1999.

VEIGA-CRESPO, P. *et al*. Ancient genes of *Saccharomyces cerevisiae*. **Microbiology**, Washington, v. 150, p. 2221-2227, 2004. Disponível em: http://mic.sgmjournals.org/content/150/7/2221.full.pdf. Acesso em: 1 maio 2014.

WAHLS, T. **The wahls protocol**. New York: Penguin Group, 2014. 421 p.

WEISS, S. R.; LEIBOWITZ, J. L. Coronavirus pathogenesis. **Advances in Virus Research**, New York, v. 81, p. 86-136, 2011. DOI 10.1016/B978-0-12-385885-6.00009-2.

WESCHENFELDER, S. *et al*. Caracterização físico-química e sensorial de kefir tradicional e derivados. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 2, p. 473-480, 2011.

WHITAKER, R. H. New concepts of kingdoms of organisms. **Science**, New York, n. 163, p. 150–160, 1969.

WILLIS, K. J. (ed.). **State of the World's Fungi 2018**. Report. Kew: Royal Botanic Gardens, 2018.

WOESE, C. R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M. L. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya (Euryarchaeota/Crenarchaeota/kingdom/evolution). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 87, p. 4576-4579, 1990.

WOLLGAST, J.; ANKLAM, E. Polyphenols in chocolate: is

there a contribution to human health? **Food Research International**, Essex, v. 33, n. 6, p. 449-459, 2000. DOI 10.1016/S0963-9969(00)00069-7.

WURZBACHER, C. *et al*. Introducing ribosomal tandem repeat barcoding for fungi. **Molecular Ecology Resources**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 118-127, 2009. DOI 10.1111/1755-0998.12944.

YARZA, P. *et al*. A phylogenetic framework for the kingdom Fungi based on 18S RNA gene sequences. **Marine Genomics**, Amsterdam, v. 36, p. 3-39, 2017.

ZARRILLO, S. *et al*. The use and domestication of Theobroma cacao during the mid-Holocene in the upper Amazon. **Nature Ecology & Evolution**, London, v. 2, p. 1879-1888, 2018.

Glossário

anaeróbio – Ser vivo capaz de crescer na ausência total ou parcial de O2.

arqueobotânicos – Vegetais, algas fósseis e especialistas nesses grupos que por meio de coletas e escavações revelam aspectos da história antiga do planeta Terra e possibilitam a compreensão de diversos aspectos da botânica, composição de paisagens e de modos de vida de civilizações humanas do passado.

ascomycota – Grupo de seres vivos que compõem o Filo (ou Divisão) de fungos unicelulares, como as leveduras e bolores filamentosos conhecidos por cogumelos, que se caracterizam por produzirem estruturas de reprodução denominadas de basidiósporos.

Assoreamento – processo de redução da profundidade de rios, devido à deposição de sedimentos em seus leitos, oriundos da erosão de solos.

basidiomycota – Grupo de seres vivos que compõem o Filo (ou Divisão) dos fungos conhecidos por cogumelos, que se caracterizam por produzirem estruturas de reprodução denominadas de basidiósporos.

biorremediação – Processo no qual microrganis¬mos artificialmente introduzidos no ambiente são utilizados para degradar poluentes tóxicos, como por exemplo petróleo, solventes e pesticidas.

brotamento – Processo de reprodução assexuada, em que um organisno (ex. Hydra) ou uma célula-mãe (ex. levedura) emite uma protuberância semelhante a si mes-

mo, que crescerá como um novo indivíduo.

brotos – Protuberâncias que darão origem a novos indivíduos em alguns grupos (ex. leveduras e Hydras), ou originam ramos em plantas.

cariogamia – fusão de dois núcleos celulares, contendo metade do número de cromossomos da espécie **(n), em um núcleo diplóide (2n).**

célula dendrítica – Célula, rodeada de expansões do citoplasma, produzida na medula óssea e presente na pele, vias aéreas, sangue e sistema digestivo; tem capacidade para fagocitar e expor na sua superfície padrões moleculares de agentes a serem combatidos (antígenos), que apresenta a linfócitos para produção de anticorpos, também produz células de memória do antígeno, que permite evocar respostas imunológicas mais rápida em nova situação.

células eucariontes – vide eucariontes.

classes – Categoria do sistema de classificação dos seres vivos, constituída por um conjunto de ordens.

cofator – Determinado composto químico ao qual certas enzimas precisam se ligar para poder desempenhar o papel de acelerar uma reação química.

comensal – Indivíduo que em uma interação ecológica se beneficia de outro sem lhe causar danos.

comensalismo - Tipo de relação ecológica entre duas espécies, na qual uma delas se beneficia sem causar prejuízo à outra.

consumidores – Seres vivos incapazes de produzir seu próprio alimento, dependendo de matéria orgânica de outros seres vivos para sobreviver.

cooperação – Tipo de relação ecológica não obrigatória entre dois organismos em que ambos se beneficiam.

cooperativa – Ação conjunta de dois ou mais indivíduos que contribuem visando a um mesmo fim.

dimorfismo – Indivíduos de mesma espécie que apresentam duas formas distintas (ex. fêmeas e machos).

dissacarídeo – Molécula de carboidrato composta de duas unidades de monossacarídeos (ex. sacarose = glicose + frutose).

dna (ácido desoxirribonucleico) – Molécula constituída de duas cadeias longas retorcidas em formato helicoi¬dal, que transporta as informações genéticas das espécies e localiza-se no interior das células.

eco – Som ouvido por um emissor, depois de ter sido rebatido (refletido) por um objeto situado a pelo menos 17m (velocidade do som = 340m/s; capacidade humana de discriminar entre dois sons = 0,1s).

econavegação – Capacidade de orientação de certos animais, por meio de ondas sonoras de alta frequência (inaudíveis pelo ser humano), que eles produzem e detectam após refletirem nos corpos de outros animais, plantas e objetos do ambiente.

ectomicorriza ou ectomicorrízica – Associação mutualística entre fungo e planta, quando o fungo permane¬ce entre as células da raíz (ver micorriza e endomicorriza).

endofíticas – Espécies de bactérias e fungos capazes de viver dentro de plantas sem lhes causar qualquer prejuízo à saúde.

endomicorriza ou endomicorrízica – Associação

mutualística entre fungo e planta, quando o fungo pene¬tra células da raiz (ver micorriza e endomicorriza).

espécies – Grupos de seres vivos, cada qual com indivíduos semelhantes capazes de acasalar entre si e de ter descendência fértil.

espermatozoides – Células reprodutivas masculinas (= gametas masculinos).

esporos – Estruturas resistentes a condições adversas produzidas por determinados seres vivos quando precisam se proteger (bactéria esporulada) ou quando se reproduzem (esporos de fungos).

eucarionte – Ser vivo composto de uma ou mais células que possuem núcleo delimitado por membrana (eu = verdadeiro; karyon = núcleo, noz).

eutrofização – crescimento excessivo de plantas aquáticas, algas, bactérias cianofícias etc. em mananciais, devido ao ingresso demasiado de nutrientes como nitrogênio e fósforo, o que prejudica a vida de seres aquáticos (ex. larvas, peixes, fitoplancton), por redução quantidade de oxigênio dissolvido na água, diminuição da profundidade alcançada pela luz por redução na transparência da água, produção de substâncias tóxicas etc.

exoesqueleto – Cutícula resistente e flexível que reveste externamente o corpo de animais e protistas, servindo para fixação de músculos e proteção contra choques mecânicos, dessecação.

fagocitose – Processo pelo qual materiais sólidos e microrganismos são englobados pela membrana plasmá¬tica e transportados para o interior da célula, onde sofrem digestão.

fermentação – Processo enzimático desenvolvido por fungos e bactérias, em ambiente anaeróbico, com

produção de álcool e gás carbônico.

filo – Categoria do sistema de classificação dos seres vivos, que integra o Reino e é constituída de categoria taxonômica menor, a Classe, seguida, por ordem decrescente, das categorias Ordem, Família, Gênero e Espécie, que reúnem seres cada vez mais aparentados entre si, portanto, categorias que são cada vez menos inclusivas.

fotobionte – Ser vivo clorofilado capaz de usar a luz solar para produzir compostos orgânicos.

fotossíntese – Processo em que um fotobionte usa água e gás carbônico em presença de luz solar e produz matéria orgânica, transformando a energia luminosa em químca.

fungos carnívoros – Fungos que consomem pequenos animais para suprir a necessidade de nitrogênio.

fungos oportunistas – Fungos que proliferam em demasia em seus respectivos hospedeiros, quando estes se encontram debilitados, podendo causar-lhes algum dano.

fungos parasíticos – Fungos que penetram plantas e animais, retiram nutrientes deles e os debilitam.

fungos patogênicos (ou patógenos) – Fungos que infectam plantas e animais, que adoecem enquanto os fungos obtêm nutrientes e se desenvolvem.

fungos predadores – Fungos que aprisionam e matam animais pequenos que lhes servem para obten¬ção de nutrientes.

fungos sapróbios – Vide fungos saprófitas.

fungos saprófitas – Fungos que se alimentam de matéria orgânica em processos de decomposição.

FUSÃO DE CÉLULAS – Vide plasmogamia.

GEMAS – Vide brotos.

GÊNEROS – Categoria do sistema de classificação dos seres vivos pouco inclusiva, que reúne a categoria Espécie.

GENÉTICA MOLECULAR (OU ENGENHARIA GENÉTICA) – Área do conhecimento científico que lida com a estrutura do material genético (DNA), de forma a examinar, isolar, purificar, e manipular genes por meio de técnicas específicas.

GLICÓLISE – Conjunto de reações químicas em que uma molécula de glicose ($C_6H_{12}O_6$) é oxidada a duas moléculas de piruvato ($C_3H_4O_3$).

GLÚTEN – Rede formada pela interação de duas proteínas insolúveis em água, glutenina e gliadina **QUE** fazem parte da farinha de trigo.

HETEROBIONTE – Ser vivo desprovido de clorofila, portanto, incapaz de fazer fotossíntese, e que por isso precisa consumir matéria orgânica existente, para sobreviver.

HIFAS – Filamentos que compõem a estrutura vegetativa de fungos, com parede celular, membrana plasmática, ribossomos e eventualmente DNA.

HIGROSCÓPICO – Com capacidade de absorver água.

HOMEOSTASE – Estado em que funções e composição química de um organismo encontram-se ajustadas, estáveis.

HOMOPOLISSACARÍDEO – Longa cadeia formada pela ligação de inúmeras unidades moleculares de carboidratos, de um mesmo tipo (ex. amido e celulose).

IDADE DO GELO – Período geológico de longa duração caracterizado por redução na temperatura global, e

aumento de geleiras que avançam pelos continentes.

isotonia – Ambientes separados por alguma estrutura (ex. membrana celular, pele), que apresentam a mesma concentração de substância dissolvida (soluto).

liofilizadas – Que passaram pelo processo de liofilização.

liofilização – Técnica de preservação de células e tecidos biológicos vivos, que consiste na remoção da água que possuem por meio da sublimação, que é a passagem do gelo (estado sólido) diretamente para vapor (estado gasoso), em câmaras de vácuo (sem oxigênio) em condições de temperatura e pressão muito baixas.

líquen – Unidade morfofisiológica derivada da interação de um fungo (micobionte) e uma alga ou cianobactéria (fotobionte).

lúpulo – Planta trepadeira Humulus lupulus é um conservante natural, muito utilizado na fabricação de cervejas, às quais confere o sabor amargo característico.

magma – Rocha fundida expelida como uma massa pastosa em erupções vulcânicas.

magnificação trófica – Fenômeno em que subs¬tâncias nocivas, presentes nos corpos de indivíduos de determinado nível trófico inferior, são concentradas nos corpos de indivíduos de níveis tróficos superiores, que daqueles se alimentarem.

malváceas – Família de plantas com flores (angiospermas) que compreende grande número de espécies, incluindo plantas ornamentais, como hibiscos e paineiras, e alimentícias como o cacau.

Mecônio – material fecal expelido pelos bebês, algumas horas após o nascimento.

METABOLISMO – Conjunto de transformações bioquímicas de síntese (catabolismo) e de degradação (anabolismo), que ocorrem nos seres vivos.

METABÓLITOS SECUNDÁRIOS – compostos químicos vegetais bastante diversos, produzidos durante as transformações de matéria e energia (formação e decomposição), porém não participam do crescimento, nutrição e desenvolvimento, são armazenados em certos vacúolos e têm papel importante na comunicação e proteção das plantas.

MICOBIONTE – Fungo quando associado mutualisticamente a um ser vivo fotobionte (alga ou cianobactéria), compondo uma unidade morfofisológica denominada de líquen.

MICROBIOLOGIA – Ciência dedicada ao estudo da biologia e ecologia de seres microscópicos como vírus, fungos e bactérias.

MICORRIZA OU MICORRÍZICA – Associação mutua¬lística entre fungo e raízes de plantas por meio da qual o fungo, que perdeu a capacidade de digerir matéria orgânica morta, obtém carbono e fornece à planta água e nutrientes (ver ectomicorrízica e endomicorrízica).

MICROBIOTA – Espécies de microrganismos que integram ecossistemas específicos nos quais atuam conjuntamente de forma específica (ex. microbiota intestinal, microbiota de ambientes de fermentação.

MODELO ATÔMICO – Representação em desenho ou figura tridimensional da estrutura básica do átomo, com seus componentes e respectivas localizações em relação uns aos outros.

MONÔMEROS – Unidades moleculares que ao se ligarem umas às outras resultam moléculas maiores, os polímeros.

MOSTO FRESCO – Suco de uvas frescas antes do processo de fermentação ou cereal maltado triturado e misturado com água.

MUTUALÍSTICOS – Tipo de simbiose na qual os dois organismos interagem obrigatoriamente e ambos são beneficiados.

NEOLÍTICO (OU PERÍODO DA PEDRA POLIDA) – Período histórico que teve início há aproximadamente 10.000 a. C., quando o homem se estabeleceu na terra e iniciou a agricultura, até 2.500 a. C..

NEUROTRANSMISSORES – Substâncias químicas produzidas pelos neurônios para transmissão de informações a outras células do corpo.

OLIGOSSACARÍDEO – Carboidrato formado pela ligação química de não mais do que dez moléculas de monossacarídeos como glicose, frutose e galactose.

ORDENS – Constituem uma categoria do sistema de classificação dos seres vivos, que reúne as famílias, e é menos inclusiva do que as Classes.

ÓVULOS – Células ou gameta feminino de reprodução.

PARTENOGÊNESE – Fenômeno caracterizado pelo crescimento e desenvolvimento de um embrião sem que tenha ocorrido a fertilização do óvulo pelo espermatozoide.

PASTEURIZAR – Processo para eliminar microrganismos de um produto, começando por aquecê-lo abaixo do seu ponto de ebulição e, em seguida, promovendo drástica redução de temperatura.

PLASMOGAMIA – Processo durante a reprodução sexuada de fungos, em que duas células desprovidas de parede celular, com materiais genéticos diferentes, se unem e dão origem a uma célula gene-

ticamente distinta das originais

polímeros – Moléculas longas, naturais (ex.amido proteína) ou industriais (acrílico, PVC), formadas da união de muitos monômeros.

polimórfica – Ver polimorfismo

polimorfismo – Variações morfológicas descontínuas em indivíduos de mesma espécie.

policromática – Variações de cor e/ou padrões descontínuos em indivíduos de mesma espécie.

probióticos – Alimentos contendo microrganismos vivos benéficos à saúde de determinados seres vivos.

procarionte – Seres uni ou pluricelulares com célula desprovida de núcleo organizado e delimitado do citoplasma por membrana.

produtores – Seres vivos capazes de converter energia solar ou química em matéria orgânica (fotossíntese e quimiossíntes, respectivamente).

pseudohifas – Leveduras que após sucessivos brotamentos que se mantém ligados, apresentam aspecto de hifas.

radicais livres – Vários tipos de moléculas com átomos ionizados (elétrons não pareados) e por isso são muito reativas, com facilidade para doar elétrons (oxidação) ou receber elétrons (redução); a maioria surge durante no processo de respiração celular quando o O_2 deixa de ser reduzido e formar água resultando em formas reativas com poder de destruir membranas de células, material hereditário (DNA), inativar enzimas etc.

reino – Categoria mais inclusiva de seres vivos, abarcando todos os filos e, consequentemente, todos os taxa abaixo destes.

RESPIRAÇÃO – Processo realizado pelas células, com participação das mitocôndrias, em que a glicose é usada com oxigênio e água, para obtenção de energia.

REVOLUÇÃO AGRÍCOLA – Período marcado pela mudança no estilo de vida humano, há aproximadamente 10.000 a. C., em que caçadores-coletores nômades, transformaram-se em agricultores sedentários.

RIBOSSOMO – Organela existente no citoplasma das células, , composta por duas subunidades formadas de RNA ribossômico e proteínas, que aparecem isoladas ou ligadas a membranas do Retículo Endoplasmático, e desempenha papel importante na síntese de proteínas.

SIMBIOGÊNESE (ENDOSSIMBIOGÊNESE) – Processo evolutivo biológico, que se dá por meio da interação de dois organismos, que passam a constituir uma nova unidade morfofuncional, podendo ser a origem de novas espécie.

SIMBIOSE – Associação obrigatória ou não entre duas espécies, em que ambas são beneficiadas, ou uma é beneficiada e a outra é prejudicada, ou uma é beneficiada e a outra nada sofre.

SIMBIONTES – Organismos de espécies distintas enolvidos em associações geralmente duradouras de diferentes naturezas, nas quais podem ser individualmente favorecidos ou não.

SOURDOUGH – Massa fermentada naturalmente, principalmente por bactérias ácido-láteas (Lactobacillus spp.) e leveduras presentes na farinha e no ambiente, que lhe conferem suave acidez e maior durabilidade.

TEORIA CELULAR – Teoria atribuída a Matthias Jakob Schleiden e Theodor Schwann que estabelece a célula como a unidade morfofisiológica dos seres vivos.

UNIDADE MORFOFISIOLÓGICA – Estrutura elemen-

tar responsável pela composição e as funções básicas dos seres vivos.

ZYGOMYCOTA – Divisão ou filo que compreende fungos multinucleados e produtores de esporos sexuados denominados de zigósporos; muito relacionados à deterioração de alimentos.