

A ascensão da levedura



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Reitor

ANTONIO JOSÉ DE ALMEIDA MEIRELLES

Coordenadora Geral da Universidade

MARIA LUIZA MORETTI



Conselho Editorial

Presidente

EDWIGES MARIA MORATO

ALEXANDRE DA SILVA SIMÕES – CARLOS EDUARDO ORNELAS BERRIEL

CARLOS RAUL ETULAIN – CICERO ROMÃO RESENDE DE ARAUJO

DIRCE DJANIRA PACHECO E ZAN – IARA BELELI – MARCO AURÉLIO CREMASCO

PEDRO CUNHA DE HOLANDA – SÁVIO MACHADO CAVALCANTE

Nicholas P. Money

A ASCENSÃO DA LEVEDURA
Como um simples fungo moldou nossa civilização

Tradução

Andreas K. Gombert

EDITORA
UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP /
DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
Bibliotecária: Maria Lúcia Nery Dutra de Castro – CRB-8ª / 1724

M746a Money, Nicholas P.

A ascensão da levedura: como um simples fungo moldou nossa civilização / Nicholas P. Money; tradução: Andreas K. Gombert. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2021.

1. Leveduras – História. 2. Fungos. 3. Civilização. 4. Alimentos. I. Gombert, Andreas K. II. Título.

CDD – 589.233
– 561.92
– 901.9
– 641.3

ISBN 978-65-86253-85-6

Título original: *The rise of yeast*

Copyright © Nicholas P. Money 2018

Copyright © Editora da Unicamp 2021

Copyright © da tradução: Andreas K. Gombert

As opiniões, hipóteses, conclusões e recomendações expressas neste livro são de responsabilidade do autor e não necessariamente refletem a visão da Editora da Unicamp.

Direitos reservados e protegidos pela lei 9.610 de 19.2.1998.
É proibida a reprodução total ou parcial sem autorização, por escrito, dos detentores dos direitos.

Impresso no Brasil.
Foi feito o depósito legal.

Direitos reservados à

Editora da Unicamp
Rua Sérgio Buarque de Holanda, 421 – 3ª andar
Campus Unicamp
CEP 13083-859 – Campinas – SP – Brasil
Tél.: (19) 3521-7718 / 7728
www.editoraunicamp.com.br – vendas@editora.unicamp.br

Para Judith, minha mãe amável e elegante.

AGRADECIMENTOS

Publicações contemporâneas sobre levedura foram acessadas através dos recursos *on-line* fornecidos pelas bibliotecas da Universidade de Miami, em Oxford, Ohio. Estudos mais antigos foram encontrados na coleção extraordinária de livros e manuscritos da Biblioteca e Museu Lloyd, em Cincinnati. Informações sobre a família Fleischmann foram encontradas na Biblioteca e Arquivos de História de Cincinnati. Agradecimentos sinceros ao meu parceiro de pesquisas científicas Mark Fischer, por emprestar seu talento artístico a muitas das figuras neste livro.

Vinho é vida.
Petrônio, *Satírico*

Levedura é vida!
Anúncio para os comprimidos de levedura Irving Yeast-Vite, 1925

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	13
1 INTRODUÇÃO: O BÁSICO SOBRE LEVEDURAS	15
2 LEVEDURAS DO ÉDEN: BEBIDAS	31
3 A MASSA TAMBÉM CRESCE: COMIDAS	51
4 LEVEDURAS FRANKENSTEIN: CÉLULAS	77
5 A PEQUENA LEVEDURA NA PRADARIA: BIOTECNOLOGIA	103
6 LEVEDURAS SELVAGENS: A DIVERSIDADE DE LEVEDURAS.....	125
7 LEVEDURAS IRADAS: SAÚDE E DOENÇA	149
NOTAS	171
GLOSSÁRIO.....	183
ÍNDICE REMISSIVO	187

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Micrografia eletrônica de varredura do fungo do açúcar, *Saccharomyces cerevisiae*. Fonte: Kathryn Cross, Institute of Food Research and the National Collection of Yeast Cultures, disponível em <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>.

Figura 2 – *Saccharomyces cerevisiae*. Fonte: M. Rees, *Botanische Untersuchungen über die Alkoholgärungspilze*, Leipzig (Germany), Arthur Felix, 1870.

Figura 3 – Diagrama do metabolismo de açúcares na levedura. Fonte: ilustração de Mark Fischer, Mount St. Joseph University, Cincinnati.

Figura 4 – O ciclo de vida de *Saccharomyces cerevisiae*. Fonte: ilustração de Mark Fischer, Mount St. Joseph University, Cincinnati.

Figura 5 – Ilustrações de Robert Thaxter dos tubos, ou talos, de espécies de *Laboulbeniales* (fungos ascomicetos), que crescem no exoesqueleto de besouros e outros insetos. Fonte: R. Thaxter, *Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences*, 13: 217-469, 1908.

Figura 6 – Musaranho-arborícola, *Ptilocercus lowii*. Fonte: ilustração de J. Wolf em J. E. Gray, *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1848, pp. 23-24.

Figura 7 – Lóris lento de Sunda, *Nycticebus coucang*. Fonte: Universal Images Group North America LLC/Alamy Stock.

Figura 8 – Pão fossilizado em Pompeia. Fonte: pão romano antigo fossilizado, ano 76 ou 79 d.C., de Pompeia, Itália. Jebulon/CC0 1.0.

Figura 9 – Detalhes do anúncio da levedura Fleischmann publicado em 1931. Fonte: coleção do autor.

Figura 10 – Diagrama simples de uma célula eucariótica. Fonte: ilustração de Mark Fischer, Mount St. Joseph University, Cincinnati.

Figura 11 – Micrografia eletrônica de células de levedura laminadas a frio. Fonte: cortesia de Gerhard Wanner, LMU Munich, Faculty of Biology; Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 license.

Figura 12 – *Monosiga gracilis*, uma espécie de coanoflagelado. Fonte: W. Saville Kent, *A manual of the Infusoria*, vol. 3, London, D. Bogue, 1880-1882.

Figura 13 – O fluxo de energia e a absorção e liberação de CO₂ associadas com a produção e o consumo de bioetanol gerado do milho. Fonte: ilustração de Mark Fischer, Mount St. Joseph University, Cincinnati.

Figura 14 – Planta moderna de bioetanol. Fonte: zych/123RF.

Figura 15 – Plantação de cana-de-açúcar no Brasil. Fonte: casadaphoto/123RF.

Figura 16 – Imagem espelhada da colônia cor de salmão da levedura-espelho *Sporobolomyces*. Fonte: Alexander Idnurm, Universidade de Melbourne.

Figura 17 – Descarga de ascósporos na levedura predatória *Metschnikowia*. Fonte: adaptado de M.-A. Lachance *et al.*, *Canadian Journal of Microbiology*, 22: 1.756-1.761, 1976; e M.-A. Lachance *et al.*, *Canadian Journal of Microbiology*, 44: 279-288, 1998. © 2008 Canadian Science Publishing or its licensors. Reproduzido com permissão.

Figura 18 – Descarga de esporos do asco alongado de *Dipodascus*. Fonte: ilustração de Mark Fischer, Mount St. Joseph University, Cincinnati.

Figura 19 – Ilustração fascinante do fungo ascomiceto *Pyrenophora polytricha*, por Charles Tulasne, “o Audubon dos Fungos”. Fonte: L.-R. Tulasne & C. Tulasne, *Selecta fungorum carpologia*, Parisiis, Imperatoris Jussu, In Imperiali Typographeo Excudebatur, 1861-1865, 3 vols.

Figura 20 – Imagem de microscopia eletrônica de varredura da levedura de fissão, *Schizosaccharomyces pombe*. Fonte: Kathryn Cross, Institute of Food Research and the National Collection of Yeast Cultures, disponível em <<https://creativecommons.org/licenses/4.0/>>.

Figura 21 – *Candida albicans*, a levedura vaginal. Fonte: Tatiana Shepeleva/123RF.

Figura 22 – Infecção no cérebro causada pela levedura *Cryptococcus neoformans*, num paciente com aids. Fonte: Cultura Creative (RF)/Alamy Stock Photo.

INTRODUÇÃO: O BÁSICO SOBRE LEVEDURAS

Esta é a narrativa de nossa antiga coexistência com a levedura, de como o micróbio e o ser humano conduziram um ao outro ao longo da história, e de como esse relacionamento está florescendo no século XXI. Da torrada no café da manhã até o vinho da noite, a levedura é a bênção diária da humanidade e nossa comunhão com esse fungo minúsculo vai se aprofundando ano após ano. Esse ser levou-nos da caça e da coleta para uma vida menos nômade como agricultores, providenciando o pão do nosso dia a dia e satisfazendo nossa sede por vinho e cerveja. Sem a levedura, a Terra seria um planeta sem álcool e todo pedaço de pão não seria fermentado. Nos dias de hoje, a levedura tornou-se a queridinha da biotecnologia, produzindo uma lista enorme de fármacos que salvam vidas, além de bilhões de litros de biocombustíveis que nos ajudam na tentativa de desacelerarmos as mudanças climáticas.

A levedura, que é o fungo do açúcar, tem sido a parceira invisível do ser humano desde os primórdios da civilização (Figura 1). Há 10 mil anos, nossos ancestrais abandonaram a carne de caça e as frutas silvestres em favor da criação de animais e do cultivo de grãos. Ao deixar as florestas e savanas, nosso apetite pela cerveja e pelo vinho produzidos por esse fungo foi um grande estímulo para o assentamento agrícola. O motivo era simples: era necessária uma aldeia inteira para fazer funcionar uma cervejaria ou para cuidar de um vinhedo. O consumo modesto de álcool pelos antigos agricultores também ajudou no fortalecimento de laços sociais e no estímulo de um sentimento de comunidade. E, conforme a vida se tornava mais previsível dentro dessas comunidades de agricultores, as tecnologias de fabricação de cerveja e de pães evoluíam.

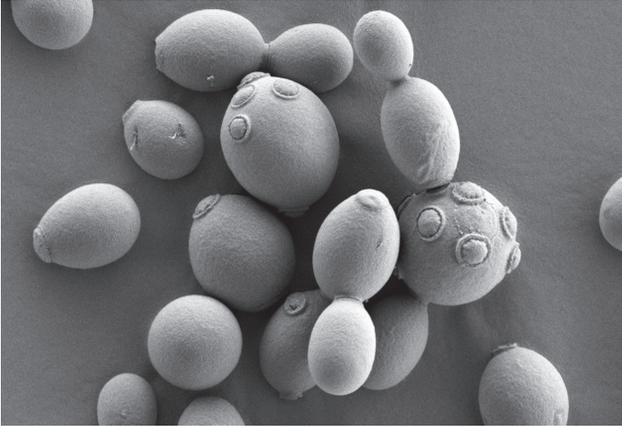


Figura 1 – Micrografia eletrônica de varredura do fungo do açúcar, *Saccharomyces cerevisiae*.

Sabíamos o que a levedura era capaz de fazer desde muito antes de descobri-la. Há 6 mil anos, produtores de cerveja sumérios atribuíram o processo de fermentação à deusa Ninkasi. Várias outras divindades receberam crédito por processos de fermentação alcoólica na Antiguidade. Em seu famoso dicionário, publicado em 1755, o Dr. Johnson definiu *yeast* como “a espuma, a baba ou a flor da cerveja na fermentação”, listando esse termo com o sinônimo *barm* como “*yeast*, o fermento adicionado à bebida para fazê-la trabalhar”.¹ A substituição desses conceitos originais, sejam religiosos ou industriais, sobre a levedura, pela descrição biológica de um micróbio, ocorreu muito lentamente. Células de levedura estiveram entre os primeiros micro-organismos observados após a invenção do microscópio no século XVII. Antonie van Leeuwenhoek examinou-as em gotas de cerveja, em 1680, mas não considerou que aqueles minúsculos glóbulos estariam vivos. Químicos, incluindo o cientista francês Antoine Lavoisier, estudaram o processo de fermentação na fabricação de vinho no século seguinte, e investigadores que observaram levedura com seus microscópios primitivos concluíram que ela era produzida pelo processo fermentativo, em vez do contrário. Sem nenhum conhecimento sobre os germes como entidades vivas capazes de realizar transformações químicas ou de causar doenças, não havia razão para enxergar as células de levedura como algo digno de estudos mais aprofundados.

O reconhecimento de que a levedura era um ser vivo que produzia álcool veio no século XIX. Observando o fungo na cerveja, o botânico francês

Jean Baptiste Henri Joseph Desmazières nomeou-o *Mycoderma cerevisiae* (*cervisa* significa cerveja em latim) e atribuiu para o mesmo organismo o nome *Mycoderma vini*, quando o observou no vinho.² O biólogo alemão Theodor Schwann nomeou a levedura *Zuckerpilz*, o fungo do açúcar ou o cogumelo do açúcar, e seu colega Franz Meyen providenciou o nome “moderno” em latim, em 1838: *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 2).³

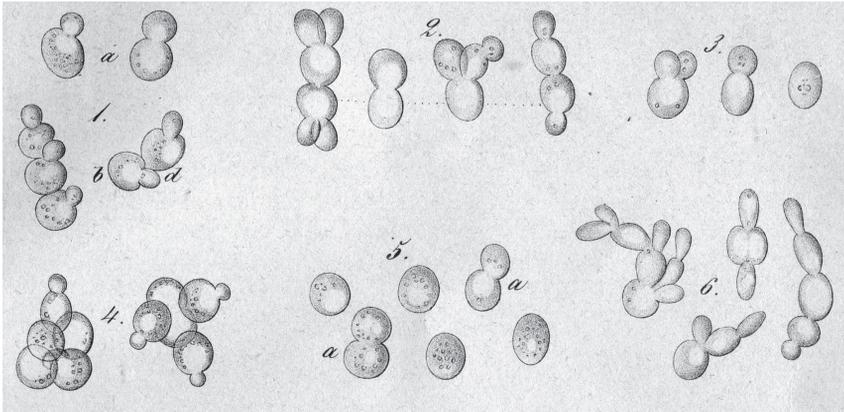


Figura 2 – *Saccharomyces cerevisiae* ilustrada por M. Rees em 1870.

Uma combinação entre microscópios melhores e experimentos inteligentes sobre fermentação gerou a conclusão de que a planta de levedura, como passou a ser conhecida, era o agente vivo que produzia álcool no vinho e na cerveja.⁴ Químicos orgânicos continuaram a discutir essas descobertas, optando por acreditar que os objetos descritos como células eram minerais precipitados a partir de reações químicas. Eles achavam que o álcool era produto de pura química, em vez de *bioquímica*. No entanto, com evidências acumuladas nos anos 1860 a favor da levedura como o catalisador, Louis Pasteur calou a maioria das vozes dissidentes com uma série de demonstrações experimentais brilhantes.⁵ Provou-se que a levedura era uma entidade viva e ela foi reconhecida como um microrganismo que proporciona consequências espetaculares para assuntos humanos.

Existe um certo viés ocidental nessa avaliação da supremacia da levedura. Apesar de o fungo ser um alicerce para a civilização humana, nossa dependência nutricional da levedura está concentrada entre os descendentes do Império

romano que vivem na Europa, na África do Norte, no Oriente Médio, na Australásia e nas Américas. Pão fermentado sempre foi menos importante na Ásia e nas culturas subsaarianas. O consumo de álcool segue uma demografia mais complexa. Praticantes do islã, do mormonismo e de várias outras denominações cristãs são abstêmios, mas pelo menos 2 bilhões de humanos desfrutam de bebidas fermentadas e destiladas na atualidade.

De acordo com Plínio, o pão não fermentado foi substituído por pães fermentados com levedura após a Terceira Guerra Macedônica (171 a 168 a.C.).⁶ A produção de vinho atingiu um pico durante a República romana em torno da mesma época e vinhedos espalharam-se pelos territórios conquistados da Europa, para satisfazer as demandas de uma população que crescia rapidamente. Pão fermentado permaneceu na dieta ocidental pelos 2 mil anos desde o falecimento de Plínio e nosso amor por vinho e cerveja não parece diminuir.

O encanto pelo álcool é inegável. Se a levedura nunca houvesse evoluído, teríamos sido forçados a inventá-lo. Vinho e cerveja mudam nossa percepção do momento, podem trazer-nos glória na vida e também ser nossa derrocada quando consumidos de forma demasiadamente livre. O álcool pode fazer-nos escorregar do céu para o inferno e vice-versa. Banha o sistema nervoso central, atuando tanto como um potente estimulante e depressivo, o que explica os efeitos de diferentes doses que variam de uma leve euforia até a morte. Sua legalidade faz que deixemos escapar a verdadeira natureza desse produto da levedura, na forma de uma droga psicoativa poderosa.

A mediação sobrenatural na experiência da inebriação era imaginada em todo o mundo antigo. Deuses e deusas do álcool floresceram, incluindo Dionísio e sua manifestação romana Baco, o deus asteca Tezcatzoncatli e a deusa suméria Ninkasi, mencionada anteriormente. Vinho é a bebida essencial na *Bíblia*, é claro. Benjamin Franklin escreveu: “Contemplem a chuva que desce do céu sobre nossos vinhedos, ali penetra nas raízes das vinhas para ser transformada em vinho, uma prova constante de que Deus nos ama e de que ama ver-nos felizes”. Para aqueles de crença agnóstica, podemos brindar às raízes evolutivas de nosso pequeno fungo.

Para apreciar o poder da levedura, precisamos definir o que ela produz – o álcool. O álcool é uma coisa e muitas coisas. Refere-se ao álcool etílico ou etanol, mas também aos membros da classe de compostos químicos com

estrutura similar. Outros álcoois incluem o metanol (álcool da madeira), sorbitol (comumente usado para substituir o açúcar) e mentol (da menta). Compostos químicos terminados em -ol, sufixo que indica a presença de um grupo hidroxila -OH, são álcoois. Aqui, no entanto, o termo álcool será usado no sentido coloquial para referirmo-nos ao etanol. Essa pequena molécula inclui um par de átomos de carbono ligados a átomos de hidrogênio e a um único grupo hidroxila: $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$.

O álcool é uma molécula rara na natureza. Além de sua produção pela levedura, a síntese de álcool é limitada a sementes em germinação e a alguns tipos de bactéria. As bactérias tendem a gerar aromas desagradáveis que podem estragar a cerveja e a cidra, oferecendo assim pouca competitividade com a levedura para as afeições dos cervejeiros. Álcool também é gerado fora da biologia em nuvens interestelares. A maior nuvem molecular próxima ao centro da Via Láctea, chamada Sagitário B2, contém álcool suficiente para 10^{28} garrafas de vodca, o que, por acaso, pesaria cinco vezes mais que todos os planetas do sistema solar.⁷

A levedura usa a glicose e outros açúcares como combustível propulsor da dinâmica de suas células. Obtém-se energia dessas moléculas quebrando-as em partes menores e arrancando-se elétrons de seus átomos. Arrancar elétrons denomina-se “oxidação”. Quando há oxigênio suficiente no ambiente, a levedura tem a opção de processar a glicose por dois conjuntos diferentes de reações, armazenando energia ao longo do caminho e deixando nada em seu rastro a não ser água e dióxido de carbono (CO_2) (Figura 3). A etapa 1 é chamada “glicólise” e a etapa 2 é o “ciclo do ácido cítrico”. Esse processo de respiração aeróbia é como uma queima controlada que extrai a quantidade máxima de energia do combustível disponível. O oxigênio coloca a levedura em modo acelerado e o fungo ronca como uma Ferrari.

Mas as células de levedura no mosto cervejeiro e no suco de uva rapidamente exaurem o oxigênio ali presente porque o gás dissolvido difunde muito lentamente nesses fluidos açucarados. Isso bloqueia as reações mais eficientes do ciclo do ácido cítrico. A falta de oxigênio também pode limitar o desempenho de um carro esportivo e isso é corrigido por turbocompressores que forcem mais ar para a mistura combustível. De maneira similar, os cervejeiros aeram seus mostos para otimizar o crescimento da levedura, especialmente no início do processo de fermentação. Essa ajuda é útil na fabricação de cerveja, mas o

fungo é ágil em se ajustar à ausência de oxigênio e pode continuar ativo de uma maneira diferente. Faz isso adotando uma queima anaeróbica ou fermentação. Esse processo não extrai tanta energia das moléculas de açúcar como ocorre na respiração aeróbica, mas consegue prover as necessidades imediatas de uma população de células de levedura em crescimento. A energia residual é liberada pelas células na forma de álcool.

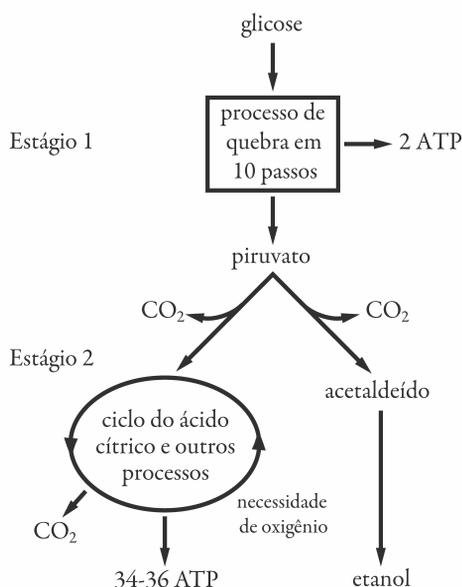


Figura 3 – Diagrama do metabolismo de açúcares na levedura. A quebra inicial em dez passos de cada molécula de glicose ($C_6H_{12}O_6$) para produzir duas moléculas de piruvato ($C_3H_4O_3$) é chamada “glicólise”. A célula desfruta de um ganho líquido de duas moléculas de trifosfato de adenosina (ATP) através da glicólise. ATP é uma forma portátil de energia química que abastece reações bioquímicas nas células. O metabolismo subsequente segue duas rotas alternativas. Na respiração aeróbica, a energia das moléculas de piruvato é capturada através do ciclo do ácido cítrico e outros processos, com a liberação de CO_2 e a formação de moléculas adicionais de ATP. Na fermentação alcoólica, CO_2 é liberado com a formação de acetaldeído e o etanol é gerado numa segunda reação. Grande parte da energia presente nas moléculas originais de glicose permanece nas moléculas de etanol liberadas pelas células em fermentação.

O custo envolvido em deixar todas essas calorias para trás no álcool é compensado porque essa válvula de escape química é tóxica para qualquer outro fungo ou bactéria que poderia competir com a levedura pelos açúcares que lhe dão vida. Isso é tão eficiente que a levedura dobra suas apostas nessa opção metabólica, escolhendo produzir álcool mesmo quando há oxigênio