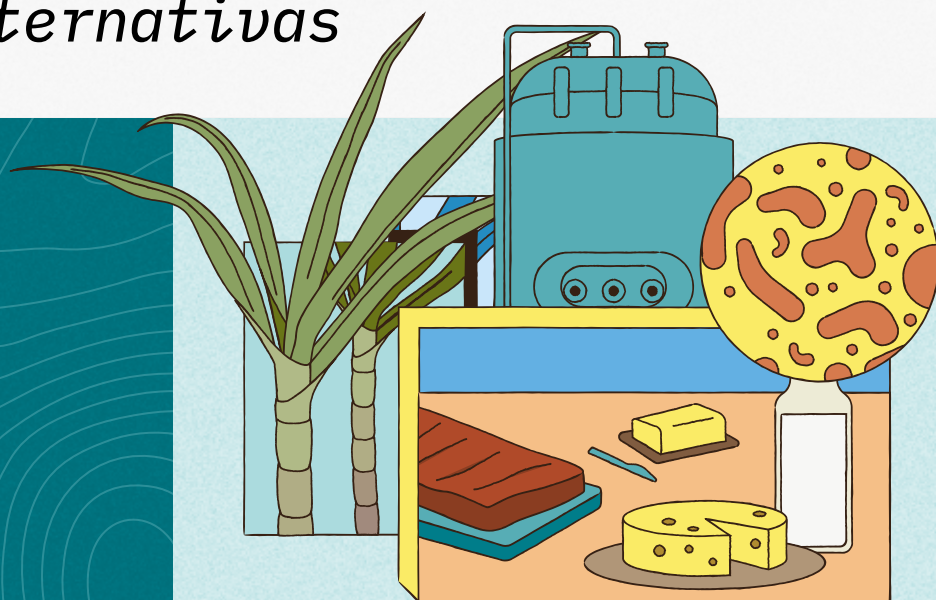




Fermentação no Brasil

*O potencial para a produção
de proteínas alternativas*

Imagem: carne vegetal análoga feita de
farinha de soja fermentada - Chunk Foods.



Equipe técnica

COMISSÃO DE ESTUDO

Marina Sucha Heidemann
Stéphanie Massaki
Maria Clara Manzoki
Nicolò Valentini

COLABORADORA

Bruna Leal Maske

COORDENAÇÃO GERAL

Germano Glufke Reis
Sérvio Túlio Prado Júnior

CONSULTORES TÉCNICOS

Carlos Ricardo Soccol
Susan Grace Karp

AUTORES

Marina Sucha Heidemann
Isabela de Oliveira Pereira
Bruna Leal Maske
Stéphanie Massaki
Maria Clara Manzoki
Nicolò Valentini
Sérvio Túlio Prado Júnior
Germano Glufke Reis
Amanda Leitolis
Cristiana Ambiel
Carlos Ricardo Soccol
Susan Grace Karp

DESIGN

Fabio Cardoso

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO - CIP

H465 Heidemann, Marina Sucha e Outros
Fermentação no Brasil: o potencial para a produção de proteínas alternativas / Marina Sucha Heidemann, Isabela de Oliveira Pereira, Bruna Leal Maske, Stéphanie Massaki, Maria Clara Manzoki, Nicolò Valentini, Sérvio Túlio Prado Júnior, Germano Glufke Reis, Amanda Leitolis, Cristiana Ambiel, Carlos Ricardo Soccol e Susan Grace Karp - São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2025.
E-Book: PDF, 52 p.; IL; Color

ISBN 978-65-87080-66-6

1. Alimentos. 2. Cadeia Produtiva Alimentar. 3. Tecnologia de Alimentos. 4. Inovação. 5. Fermentação. 6. Fermentação Tradicional. 7. Fermentação de Biomassa. 8. Fermentação de Precisão. 9. Tecnologia de Fermentação. 10. Microrganismo. 11. Proteínas Alternativas. 12. Produtos Vegetais Análogos. 13. Bioeconomia. 14. Sustentabilidade. I. Título. II. O potencial para a produção de proteínas alternativas. III. Heidemann, Marina Sucha. IV. Pereira, Isabela de Oliveira. V. Manzoki, Maria Clara. VI. Valentini, Nicolò. VII. Prado Júnior, Sérvio Túlio. VIII. Reis, Germano Glufke. IX. Leitolis, Amanda. X. Ambiel, Cristiana. XI. Soccol, Carlos Ricardo. XII. Karp, Susan Grace. XIII. IFC/Brasil. VIII. IFC/Brasil.

CDU 664

CDD 664

CATALOGAÇÃO ELABORADA POR REGINA SIMÃO PAULINO - CRB 6/1154

Resumo executivo



Cortes inteiros feitos de farinha de soja fermentada - Chunk Foods.

O Brasil desempenha globalmente um papel fundamental na produção de alimentos e pode participar ativamente da construção de um sistema alimentar mais sustentável. Diante da demanda crescente por alimentos e proteínas e dos impactos associados à cadeia atual de produção, como aspectos ambientais, risco à saúde, eficiência produtiva e uso de recursos, surge a busca por fontes alternativas de proteínas de alta qualidade, que tornem a cadeia de produção de alimentos mais eficiente, segura e resiliente.

Nesse cenário, em virtude do crescimento rápido e alta produtividade dos microrganismos, a tecnologia de fermentação destaca-se como uma ótima oportunidade para as indústrias de alimentos que buscam atender às novas demandas dos consumidores por produtos mais saudáveis e sustentáveis. Os ingredientes produzidos a partir de fermentação podem contribuir para o desenvolvimento de produtos de proteínas alternativas com alto teor proteico, saudáveis, com melhores aspectos sensoriais, nutricionais e tecnológicos. Além disso, está tecnologia pode ser utilizada para a produção de ingredientes específicos para carne cultivada, como componentes dos meios de cultivo.

Processos fermentativos englobando o cultivo de microrganismos com a finalidade de desenvolver perfis sensoriais e/ou nutricionais específicos em alimentos ou ingredientes são chamados de fermentação tradicional.

Já o cultivo de microrganismos para utilização da própria biomassa de células como fonte primária de proteína é conhecido como fermentação de biomassa. Por fim, a obtenção de ingredientes purificados específicos, como aromas, enzimas, proteínas e gorduras, para incorporação em produtos vegetais análogos ou carne cultivada é denominada de fermentação de precisão.



Produto feito de micélio análogo a peixe - Aqua Cultured Foods.

O mercado global de produtos alternativos derivados da fermentação vem crescendo nos últimos anos, tendo atingido 4,1 bilhões de dólares investidos entre 2013-2023 (Good Food Institute, 2023). Em termos de negócios já estabelecidos, existem atualmente 158 *startups* desenvolvendo opções alternativas de proteínas produzidas por meio de fermentação. Muitas oportunidades de desenvolvimento podem ser exploradas em todas as etapas da cadeia dos processos fermentativos, em especial para otimizar os processos como um todo e maximizar a competitividade dos produtos resultantes.

O Brasil possui o potencial de liderar a produção de proteínas alternativas, alinhando-se ao crescimento global dessa indústria. O país pode participar ativamente da construção dessa nova cadeia através da articulação entre *stakeholders* como instituições de pesquisa e indústrias, além do aproveitamento das fortalezas nacionais e de capacidades já estabelecidas. Tais fortalezas incluem a ampla disponibilidade de matéria-prima para fermentação como por exemplo, cana-de-açúcar, milho, resíduos agroindustriais e subprodutos das indústrias de alimentos e bebidas, além da significativa capacidade técnica e produtiva, impulsionada pelas inúmeras empresas utilizando fermentação em larga escala nas áreas alimentícia, química, da saúde e de biocombustíveis.

Este documento reúne um conjunto de informações sobre os processos de fermentação, suas aplicações na produção de proteínas alternativas, investimentos, negócios e regulação do setor. Além disso, traz resultados inéditos de um mapeamento do desenvolvimento da tecnologia de fermentação aplicada às proteínas alternativas no Brasil. A partir desse conteúdo, os potenciais, desafios, gargalos e oportunidades para produção em larga escala são discutidos.

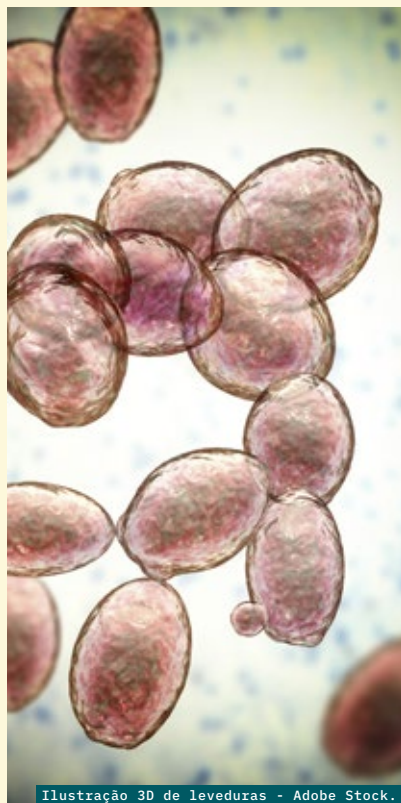


Ilustração 3D de leveduras - Adobe Stock.

- Biodiversidade natural: Possui grande diversidade de microrganismos, plantas, grãos, sementes, etc a serem explorados para uso na fermentação;
- Disponibilidade e diversidade de substratos na fermentação;
- Companhias de fermentação já estabelecidas poderão ser adaptadas para a produção de proteínas;
- Potencial de cooperação entre agroindústrias e empresas de produção de proteínas via fermentação, recuperando os resíduos para uso como meio de cultivo, gerando economia circular;
- Regulamentação estabelecida para proteínas via fermentação.

QUADRO 1 Benefícios e vantagens do Brasil para a produção de proteínas via fermentação.

Palavras-chave: fermentação tradicional; fermentação de biomassa; fermentação de precisão; alimentos; proteínas alternativas; bioeconomia; sustentabilidade.

Siglas e abreviaturas

ACV

Análise do Ciclo de Vida.

ANVISA

Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

ABBI

Associação Brasileira de Bioinovação.

BAL

Bactéria ácido lácticas.

CAPEX

Capital Expenditure ou Despesa de Capital, em português.

COP

Conferência das Partes.

CRISPR

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats ou Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Espaçadas, em português.

DNA

Ácido Desoxirribonucleico.

EMBO

European Molecular Biology Organization ou Organização Europeia de Biologia Molecular, em português.

EMBRAPA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EUA

Estado Unidos da América.

GFI

Good Food Institute.

ODS

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

OGM

Organismo Geneticamente Modificado.

pH

Potencial Hidrogeniônico.

PIB

Produto Interno Bruto.

RDC

Resolução da Diretoria Colegiada.

RNA

Ácido ribonucleico.

SCO

Single-Cell Oil ou óleos unicelulares.

SCP

Single-Cell Protein ou proteínas unicelulares.

TEA

Techno-economic assessment, techno-economic analysis ou análise técnico-econômica.

TIMP

Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão do inglês *Precision Breeding Innovation* (PBI).

UN

United Nations ou Nações Unidas, em português.

Sumário

1. Introdução.....	7
1.1. O sistema alimentar e as proteínas alternativas.....	8
1.2. Contextualização mercadológica nacional e internacional.....	9
2. A tecnologia de fermentação e sua aplicação na produção de proteínas.....	12
2.1. Fermentação tradicional.....	13
2.2. Fermentação de biomassa.....	16
2.3. fermentação de precisão.....	20
3. Fermentação como solução sustentável.....	25
4. Mapeamento do estágio de desenvolvimento da tecnologia de fermentação aplicada às proteínas alternativas no Brasil.....	28
4.1. Visão geral e abordagem.....	29
4.2. Principais achados.....	29
4.3. Oportunidades e desafios identificados.....	33
5. Considerações finais.....	36
6. Glossário.....	40
7. Referências bibliográficas.....	44

1

Introdução



Produto análogo ao frango feito de micélio - Typcal.

1.1. O sistema alimentar e as proteínas alternativas

O aumento da população, juntamente com as mudanças nos padrões alimentares e as preocupações com o aquecimento global tornam urgentes as reformulações no sistema alimentar mundial. Estima-se que a população mundial será de aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas até 2050 (United Nations, 2022), o que resultaria em uma necessidade de incremento proporcional na produção de alimentos de até 73% para atender à crescente demanda (Bonny et al., 2015). Contudo, é preciso também considerar o impacto ambiental da produção de alimentos e dos sistemas alimentares, que atualmente equivalem a quase um terço das emissões globais de gases de efeito estufa (Food and Agriculture Organization, 2021). No Brasil esse sistema representou 73,7% das emissões totais em 2021, tendo uma contribuição majoritária relacionada à produção de carne bovina, com o equivalente a 57,2% das emissões totais ([Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2023](#)). Diante desses desafios, torna-se imperativo buscar soluções que conciliem a necessidade de alimentar a população em crescimento com a mitigação dos impactos ambientais associados à produção de alimentos.

Diminuir as emissões de gases até 2030 tornou-se uma meta para lidar com o aquecimento global. Recentemente, os impactos dos sistemas alimentares foram destacados na COP27 e detalhados na avaliação global da COP28 (United Nations, 2023a). A mudança nos métodos de produção não apenas otimizaria o uso de terras, mas também reduziria as emissões de gases do efeito estufa, possibilitando a manutenção de ecossistemas. Nesse contexto, formas alternativas de produção de alimentos que sejam mais sustentáveis têm atraído a atenção dos consumidores (Fasolin et al., 2019), impulsionando inovações contínuas no setor de proteínas alternativas.

As proteínas alternativas incluem aquelas derivadas de microrganismos, como leveduras, bactérias, microalgas e fungos filamentosos, além de proteínas vegetais e de cultivo celular. Em comparação às proteínas convencionais, as proteínas alternativas têm o potencial de reduzir o impacto ambiental, diminuir

o risco de zoonoses e resistência antimicrobiana, além de contribuir para o bem-estar animal (United Nations, 2023b). Além disso, essas alternativas são capazes de fornecer quantidades de proteínas e nutrientes semelhantes e em alguns casos até superiores aos da carne convencional. Os alimentos vegetais análogos à carne se destacam, por exemplo, pelo alto teor de fibras em comparação à carne convencional ([Karatay; Ambiel, 2024](#)). Embora a soja e o trigo já sejam amplamente utilizados como fontes de proteínas alternativas, têm-se explorado outros insumos para disponibilizar maior diversidade de produtos substitutos de carne, pescados, ovos, leite e derivados, fabricados a partir de proteínas vegetais e bioprocessos como fermentação e cultivo celular.

Especificamente com relação à fermentação, desde a antiguidade os seres humanos aproveitam este processo natural para produzir uma variedade de produtos, de maior ou menor grau de complexidade. Inicialmente, a fermentação era usada para preservar alimentos por mais tempo e melhorar o seu valor nutricional (Mannaa et al., 2021). Hoje, desempenha um papel importante na ampliação das opções de produtos já conhecidos, como iogurtes e queijos, e na criação de novos alimentos, como análogos cárneos feitos de micélio¹.



Análogo cárneo feito de micélio - Nature's Fynd.

¹ Vide box "O que é micélio? E micoproteína?"

A produção de proteína microbiana por meio de processos fermentativos surge como uma solução eficaz e sustentável para suprir a crescente demanda por proteínas alternativas. Diferentemente da produção animal, este método oferece um ciclo de produção mais curto e contínuo, sem depender extensivamente de recursos naturais como terra arável e água, podendo ser mais resiliente a eventos ambientais, como por exemplo períodos de secas (Durkin et al., 2022). Adicionalmente, é possível utilizar resíduos agroindustriais como matéria-prima para desenvolvimento dos microrganismos, aumentando a eficiência ambiental desses processos. Com mais de 50 cepas de microrganismos já utilizadas para alimentação, incluindo bactérias, microalgas, fungos filamentosos e leveduras (Banks et al., 2022), a produção microbiana oferece uma ampla gama de produtos, como proteínas, aminoácidos, óleos, enzimas e vitaminas, com possibilidade de escalonamento industrial de curto a longo prazo. Assim, do ponto de vista mercadológico, a fermentação aplicada à produção de proteínas alternativas pode gerar inúmeras novas opções aos consumidores – com produtos saborosos, nutritivos e sustentáveis – e criar oportunidades de negócios.

1.2. Contextualização mercadológica nacional e internacional

O setor de proteínas alternativas atingiu um valor total de 59,1 bilhões de dólares em 2023 (Alternative Protein Market, 2023). Projeções atuais estimam que os custos dessas proteínas serão cinco vezes mais baixos até 2030 e dez vezes mais baixos até 2035. Essas projeções contam com o avanço da tecnologia e resolução de gargalos para que até 2030 os produtos de proteínas alternativas tenham melhor qualidade e custem menos da metade do custo de produção dos produtos de origem animal (Tubbs; Seba, 2019). Especificamente com relação à fermentação, modelos atuais de análise técnico-econômica estimam que a micoproteína, por exemplo, pode ser produzida por US\$ 3,55/kg e um produto análogo feito a partir dessa micoproteína pode ser produzido por US\$ 4,03/kg, indicando que a alternativa compete economicamente com preço de cortes de carne bovina, principalmente quando examinados os custos em relação ao conteúdo

de proteína. Essas análises, também destacam o impacto da escolha do tipo de processo, indicando que a utilização de fermentação contínua (em oposição a um sistema de batelada) foi necessária para atingir a paridade de custo com proteína bovina. Os autores também reforçam que reduções potenciais no custo para atingir paridade de preço com produtos mais baratos como frango, por exemplo, podem ser alcançadas por meio de avanços em parâmetros específicos do microrganismo, como teor de proteína, concentração de biomassa atingida (g/L) e velocidade específica de crescimento (Risner et al, 2023).

Nesse sentido, a tecnologia de fermentação é uma alternativa promissora para a indústria alimentícia devido à ampla gama de insumos e variedade de produtos gerados, desde os já conhecidos como extratos de levedura, empregados para compor o sabor dos produtos análogos a carne e queijos ou para elevar o valor nutricional de produtos (Kale; Mishra; Annapure, 2022), até novos produtos como os análogos de carne e lácteos feitos de proteína microbiana.

Segundo o relatório do GFI (Good Food Institute, 2023), o setor de fermentação para a produção de proteínas alternativas recebeu investimentos significativos, totalizando 515 milhões de dólares em 2023, e tendo um investimento acumulado de 4,1 bilhões investidos desde 2014. Atualmente, 158 empresas utilizam a tecnologia de fermentação para produção de proteínas alternativas, sendo 80 delas dedicadas à fermentação de biomassa, 73 à fermentação de precisão e 5 à fermentação tradicional.

Com o intuito de impulsionar o desenvolvimento desse mercado em crescimento, as empresas especializadas no processamento de carnes, leite e seus derivados, e aquelas de alimentos e bebidas, estão estabelecendo colaborações estratégicas com empresas de proteínas de fermentação. Essas empresas já possuem recursos financeiros substanciais, infraestrutura robusta e acesso consolidado à cadeia de distribuição. As parcerias contribuem para avanços tecnológicos, melhorias na fabricação e introdução efetiva de ingredientes e produtos de fermentação no mercado. Um exemplo é a parceria da multinacional [Nestlé com a Perfect Day](#), que se uniram para criar uma bebida láctea sem ingredientes de origem animal, feita a

partir da proteína de soro de leite produzida pela *startup*, por meio da fermentação de precisão. Outras gigantes multinacionais além da Nestlé, como Kraft Heinz, Cargill, Danone, ABInBev, General Mills e Tyson estão envolvidas no setor de fermentação seja através de investimentos, parcerias ou P&D e produção, o que demonstra o potencial e a importância desse mercado emergente (Good Food Institute, 2023a).

No cenário brasileiro, até Agosto de 2024, pelo menos nove startups nacionais estão desenvolvendo negócios e produtos de proteínas alternativas utilizando a tecnologia de fermentação. Três delas focadas atualmente na produção de proteínas do leite por fermentação de precisão: a [Updairy](#), a [Ark Bio Solutions](#) e a [Future Cow](#). Ainda, utilizando fermentação de precisão a [Biolinker](#) atua na produção de fatores de crescimento para carne cultivada. Outras três estão utilizando fermentação de biomassa para obtenção de ingredientes e produtos proteicos: [Tekohá](#), [Hyph](#) e [Typcal](#), que [anunciou recentemente o desenvolvimento de um análogo de peito de frango à base de micélio](#)², com somente dois ingredientes além do micélio na formulação e obtendo um produto com teor proteico satisfatório, zero gordura e contendo fibras. A *startup* participa da Associação de Proteínas Fúngicas ([Fungi Protein Association](#)), que tem por objetivo fomentar o conhecimento das proteínas à base de fungos e políticas públicas a respeito desta nova tecnologia. Já a [ProVerde](#) utiliza fermentação tradicional para desenvolvimento de ingredientes proteicos a partir de subprodutos da indústria de alimentos, visando a aplicação em análogos cárneos. Por fim, a startup [BioInFood](#) é focada no desenvolvimento de leveduras personalizadas, ingredientes e processos, demonstrando as outras oportunidades de negócio como fornecimento de serviços e suprimentos para essa cadeia de produção de produtos de proteínas alternativas via fermentação. Todas essas iniciativas ilustram o potencial crescente e a diversificação do campo de fermentação no Brasil, alinhando-se às tendências globais de inovação na indústria alimentícia.



1.3. Demandas regulatórias

Para desenvolver a indústria de proteínas alternativas no cenário mundial é necessário estabelecer regimes regulamentares e instrumentos de governança apropriados. A regulamentação de proteínas alternativas está evoluindo no mundo, com muitos governos formulando e implementando novas políticas para a aprovação de produtos. Adicionalmente, a implementação de regulamentações reduz o nível de risco associado a investimentos, seja por parte de empresas já consolidadas no setor ou por novos investidores interessados em *startups*, abrindo possibilidades de negócios.

Atualmente, a indústria alimentícia emprega a fermentação microbiana para processar e desenvolver ingredientes, aproveitando ao máximo essa tecnologia. Essa tecnologia também é empregada na produção de aromatizantes, adoçantes e espessantes presentes em diversos alimentos e bebidas. Para garantir a segurança de novos produtos, a maioria dos governos estabelece sistemas regulatórios bem definidos. Alguns países avaliam novos produtos de fermentação por meio da implementação de regulamentos específicos, exigindo autorização prévia à comercialização. Nos Estados Unidos, por exemplo, é aplicado um regulamento mais abrangente (Good Food Institute, 2022b).

² Vide box “O que é micélio? E micoproteína?”

Duas iniciativas de destaque global para a construção de regulamentação da fermentação foram a formação da *Fungi Protein Association*, em 2022, e da *Precision Fermentation Alliance*, em 2023. A primeira inclui mais de 30 *startups*, entre elas a Quorn e [ENOUGH](#), e a empresa brasileira Typcal. A segunda envolve 13 *startups* de fermentação de precisão, como a EVERY e a Perfect Day. Ambas as iniciativas têm o objetivo de buscar políticas públicas, engajamento de consumidores e o estabelecimento de regulamentação para produtos obtidos por meio de processos fermentativos. Além disso, a aceleradora da [ProVeg International](#) também apoia a *Fungi Protein Association*. Tais associações são agentes-chave na troca de conhecimento, no engajamento de apoio institucional, na articulação em torno de padrões regulatórios e na conscientização das pessoas sobre os avanços e benefícios da fermentação na produção de alimentos.



Produto análogo cárneo feito de micélio - Enough.

Atualmente o Ministério da Saúde é a principal autoridade responsável pela regulamentação e avaliação de segurança de alimentos no Brasil. Este desempenha

a função, por meio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), autônoma, que avalia a segurança de aditivos e ingredientes em alimentos e regulamenta a rotulagem. O Brasil está gradualmente substituindo muitas das suas normas alimentares pelas normas oficiais do Mercosul que, por sua vez, são influenciadas pelas normas europeias e norte-americanas.

Recentemente a ANVISA publicou a Resolução RDC Nº 839, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2023, regulamentando o registro de novos alimentos e ingredientes sem histórico de consumo seguro no país, incluindo os que têm origem no cultivo celular e fermentação. A resolução inclui alimentos obtidos de vegetais, animais, minerais, microrganismos, fungos, algas ou de forma sintética. Esse avanço coloca o Brasil em evidência global na aplicação de proteínas alternativas, criando oportunidades para atrair investimentos em novas formas sustentáveis de produção de alimentos. No documento constam as etapas da avaliação de exposição e de risco, caracterização, estudos de possíveis interações, efeitos adversos à saúde, especificação da composição, finalidade alimentar/terapêutica, qualidade nutricional, toxicidade, entre outros.

Segundo o documento, os novos alimentos e novos ingredientes que sejam constituídos, isolados ou produzidos a partir de microrganismos devem ser caracterizados pelo nome científico e pela origem do organismo, comprovando-se que é uma cultura internacionalmente reconhecida. No caso da fermentação de precisão, caso os ingredientes e alimentos **contenham OGM ou derivados de OGM** eles devem atender às exigências estabelecidas na Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005, da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBio.

A publicação da Anvisa foi um pré-requisito para as próximas etapas do processo regulatório, que definirão as normas de registro de produtos, incluindo as regras de rotulagem, os padrões de identidade e qualidade a serem atendidos e as regras para inspeção de unidades fabris, todas de responsabilidade do Ministério da Agricultura. Mais detalhes sobre o cenário brasileiro e global de políticas públicas envolvendo proteínas alternativas podem ser consultados no relatório [State of Global Policy](#) do *The Good Food Institute*.

2

A tecnologia de fermentação e sua aplicação na produção de proteínas



Produto cárneo análogo feito de micélio - Meati.

A fermentação é usada na produção de alimentos há milênios principalmente como técnica de produção e conservação de alimentos, como citado previamente. Nesse processo, os microrganismos consomem matérias-primas e nutrientes, gerando a partir deles macromoléculas, como proteínas e gorduras, além de moléculas produzidas através do metabolismo microbiano, como agentes aromatizantes (alcoois, ácidos orgânicos), peptídeos, aminoácidos, entre outros.

A produção de proteínas alternativas e ingredientes alimentícios por meio de processos fermentativos depende do estabelecimento de um bioprocesso que sempre envolve duas fases principais: *upstream* e *downstream*. Na fase de *upstream* ocorre a seleção e o desenvolvimento do microrganismo, seguida da sua inoculação e o cultivo em biorreatores. Já a fase de *downstream* é composta pela recuperação e, quando necessário, a purificação do produto de interesse (Gupta, 2023).

O coração desses processos são os biorreatores, que são os tanques nos quais os microrganismos consomem os nutrientes disponíveis e se multiplicam ao longo de um processo controlado. Eles são cuidadosamente projetados para proporcionar o ambiente ideal para a fermentação considerando as condições ótimas de temperatura, aeração, agitação, pH etc., resultando na obtenção do produto desejado (Arora; Rani; Ghosh, 2018).



Biorreatores para fermentação de biomassa - Solar Foods.

O escalonamento é uma das fases mais desafiadoras no desenvolvimento desses bioprocessos, pois espera-se que não haja perda de rendimento em relação à escala laboratorial, o que demanda estratégias específicas para cada *design* de biorreator e/ou produto e processo (Mello et al., 2024). A efetividade desse aumento de escala está atrelada a variáveis que exercem influência significativa no desempenho microbiano. Isso inclui fatores que podem ser afetados pelo aumento do volume de cultivo, como a acessibilidade do substrato utilizado para alimentar os microrganismos, além do controle preciso de fatores como temperatura, pH, umidade, pressão, aeração e agitação no meio de cultivo.

Nos tópicos seguintes serão detalhados as diferentes formas de utilizar a tecnologia de fermentação na produção de proteínas alternativas. Cada uma delas envolve desafios específicos em seu processamento e demandam alguns avanços científicos e tecnológicos para ganharem escala e se integrem ao mercado.

2.1. Fermentação tradicional

Como mencionado anteriormente, a fermentação é um processo que é empregado ancestralmente na produção de alimentos como pão, iogurte e cerveja, e que hoje ganha novas vertentes de inovação para obtenção de produtos de proteínas alternativas. Nesse sentido, a fermentação tradicional pode ser utilizada para criação de novos produtos e ingredientes à base de plantas por meio da ação de um ou mais microrganismos vivos, que podem ser bactérias, levedura ou fungos filamentosos (chamados de “culturas iniciadoras”). Nesse processo, ingredientes derivados de plantas, como soja, ou outros substratos vegetais, são fermentados gerando produtos com sabores distintos, perfis nutricionais melhorados e texturas modificadas (Figura 1).

Dentre as três abordagens tecnológicas de fermentação, a tradicional é a considerada mais simples e que requer menores investimentos em infraestrutura. Isso porque os processos são normalmente de fermentação em estado sólido³ e

³ Processo biotecnológico no qual microrganismos são cultivados em um meio sólido, onde a água está presente em quantidades muito baixas, geralmente abaixo de 20% em massa (Jin et al., 2019).

podem ocorrer em estufas simples, de temperatura controlada, ou quando em maior escala, em biorreatores de baixa complexidade e custo, como tambor rotativo ou de bandejas.

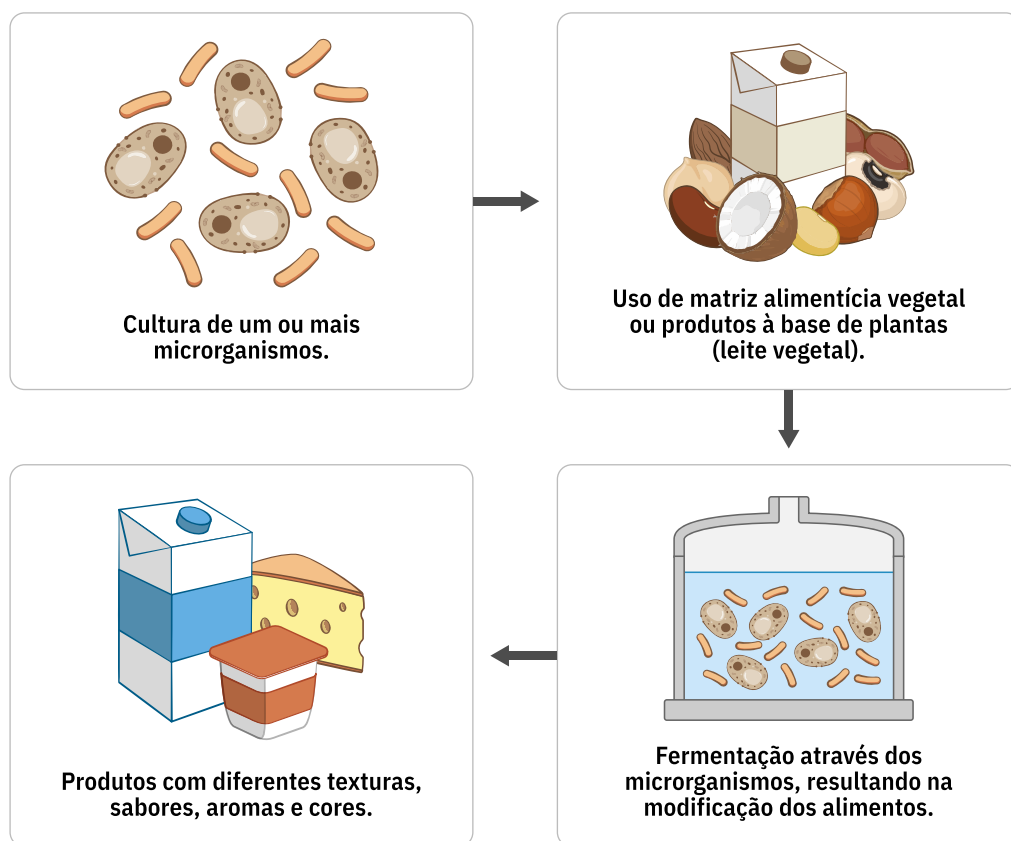


FIGURA 1
Fermentação tradicional.

O tempê é um exemplo clássico de produto proteico vegetal produzido por fermentação tradicionalmente a partir de grãos de soja integrais cozidos e fermentados pelo fungo *Rhizopus oligosporus*. Este produto também vem ganhando novas versões, como os produzidos pela [Mun Alimentos](#) por exemplo, sendo utilizados outros grãos como feijão fradinho e arroz negro além da soja, e entregando produtos com conveniência (congelados e prontos para consumo) com sugestões de consumo em refeições, sanduiches e também produtos de indulgência como esfihas recheadas de tempê.

A elaboração de queijos e iogurtes a partir de leites vegetais também são exemplos de como explorar o uso da fermentação tradicional para obtenção de produtos lácteos análogos. Os produtos são obtidos empregando bactérias ácido lácticas (BAL), que modificam leites vegetais, conferindo sabor semelhante aos produtos convencionais à base de leite (Harper et al., 2022). Este é o caso dos iogurtes e queijos desenvolvidos a partir de leite de castanha-de-caju da empresa [VidaVeg](#), por exemplo.

Pensando no desenvolvimento e melhoramento de ingredientes vegetais, alguns estudos com proteína de ervilha (Shi et al, 2021) e proteína de soja (Behrens; Roig; Silva, 2004) demonstram que o uso da fermentação com BAL disfarçou sabores e aromas indesejáveis e aumentou a aceitação dos produtos análogos formulados com esses ingredientes. Comercialmente, empresas como [Chunk Foods](#) e [Planetarians](#) usam fermentação tradicional e subprodutos desses processos para criar produtos vegetais análogos à carne exclusivos e cortes inteiros.

O produto final na fermentação tradicional é comumente composto pelo substrato utilizado para crescimento dos microrganismos e pelo próprio microrganismo que ali foi cultivado. Essa presença dos agentes da fermentação no produto final contribui com uma melhoria de perfil nutricional pelo incremento de nutrientes como proteínas e fibras provenientes da própria biomassa de célula dos microrganismos. Indo além no quesito perfil nutricional desses produtos, várias pesquisas têm gerado evidências dos benefícios proporcionados pelo consumo de alimentos fermentados para a saúde. Este interesse crescente é impulsionado pela constatação de que os alimentos submetidos à fermentação podem apresentar qualidade nutricional superior, incluindo o perfil de proteínas, aminoácidos, vitaminas, gorduras, ácidos graxos, e uma maior biodisponibilidade de nutrientes e digestibilidade (Adebo et al., 2022). Além disso, os produtos de fermentação tradicional podem conter os microrganismos ainda vivos, os quais exercem efeitos benéficos sobre o organismo do consumidor (Dahiya; Nigam, 2022). Dessa forma existe a possibilidade de produção de alimentos funcionais probióticos (entenda mais no **Quadro 2**).

O desenvolvimento de alimentos que não apenas proporcionam uma experiência sensorial agradável, mas também contribuem para a promoção da saúde, através da incorporação de microrganismos funcionais, é um campo aberto para a inovação nesta tecnologia e que pode ser uma opção para suprir a demanda crescente por produtos com apelo de saudabilidade em produtos vegetais análogos ([Lupetti; Casselli, 2024](#)).

As culturas iniciadoras utilizadas na fermentação tradicional incluem microrganismos dos gêneros *Saccharomyces*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* e *Enterococcus*. A diversificação e otimização desses microrganismos utilizados olhando para o mercado de produtos vegetais análogos também representa uma oportunidade de pesquisa e desenvolvimento com grande potencial. A empresa britânica **Myconeos Limited**, por exemplo, é especializada no desenvolvimento de novas cepas de fungos para aplicações alimentares e trabalha na criação de novas cepas projetadas para alcançar níveis similares de desempenho em produtos vegetais análogos aos laticínios. Recentemente [a](#)

[empresa divulgou uma descoberta científica](#) que abre possibilidades para utilização de espécies de *Penicillium cameberti* e *Penicillium roqueforti* otimizadas para o desenvolvimento de Brie e Camembert vegano.



O Brasil se destaca pela sua vasta diversidade de castanhas, como castanha-do-Brasil e castanha-de-caju, além de oleaginosas como amendoim e soja, e grãos como milho, arroz, feijão e quinoa, o que o torna um país privilegiado para explorar esses substratos na produção de alimentos fermentados. Além disso, o conhecimento estabelecido na pesquisa e desenvolvimento de produtos fermentados convencionais pode ser utilizado para desenvolvimento desses produtos vegetais, permitindo o estudo de comportamento de culturas tradicionais nesses diferentes substratos.

Probióticos e paraprobióticos: os microrganismos e seus benefícios para saúde.

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando consumidos em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde de quem os consome. Alimentos probióticos de base vegetal atendem um público que busca não apenas uma alimentação vegana, mas também produtos funcionais (Latif et al., 2023). Para ser considerado um alimento fonte de probiótico o alimento precisa ter uma quantidade suficiente de microrganismos que tem seu benefício cientificamente comprovado e é necessário garantir o conteúdo de células viáveis para que o efeito seja verificado no organismo. No entanto, pesquisas científicas têm reportado que os microrganismos probióticos não viáveis, conhecidos como paraprobióticos, também podem fornecer benefícios à saúde (Almada et al., 2016; Piqué et al., 2019; Taverniti; Guglielmetti, 2011).

Os paraprobióticos são células ou frações microbianas mortas (não viáveis), mas que, ainda assim, podem influenciar positivamente o organismo e conferir benefícios à saúde de quem consome. Esse é um campo ainda em estudo, principalmente quanto a ação paraprobiótica em alimentos e não o consumo desses microrganismos de forma isolada (Siciliano et al., 2021).

2.2. Fermentação de biomassa

Enquanto a fermentação tradicional remonta à ancestralidade, a tecnologia da fermentação de biomassa surgiu na era pós-moderna. Ela se baseia no rápido crescimento de microrganismos, como bactérias, leveduras, microalgas e fungos, com elevado teor de proteína, o que permite uma produção eficiente de proteína em larga escala (Aggelopoulos et al., 2014). Esse processo é também realizado dentro de biorreatores, que criam o ambiente favorável para o crescimento microbiano. Nesta tecnologia, o próprio microrganismo é o produto de interesse, sendo ao final da fermentação chamado de biomassa (Figura 2). Após a fermentação, a biomassa é recuperada e lavada, caso necessário, pode ser feito um tratamento térmico para redução do teor de RNA ou inativação do microrganismo. Por fim, a biomassa é condicionada a forma final do ingrediente, seja um pó ou uma biomassa úmida. Utilizando esses ingredientes é possível criar uma variedade de produtos que mimetizam produtos cárneos tradicionais ([Quorn](#)), como reestruturados ([Nature's Fynd](#)) e cortes inteiros análogos ao frango ([Bosque Foods](#)), boi ([Meati](#)), bacon ([Hyph](#)), frutos do mar ([Aqua Cultured Foods](#)), análogos lácteos como [cream cheese](#) e [iogurtes](#), ou ainda, ingredientes proteicos ([Typcal](#)), adequados para uso nessa categoria de alimentos, mas também em massas e outros alimentos. A levedura seca em pó e extratos de levedura, também são exemplos de ingredientes que podem ser utilizados de maneira semelhante, aumentando conteúdo proteico além de aperfeiçoar o sabor de produtos vegetais análogos.

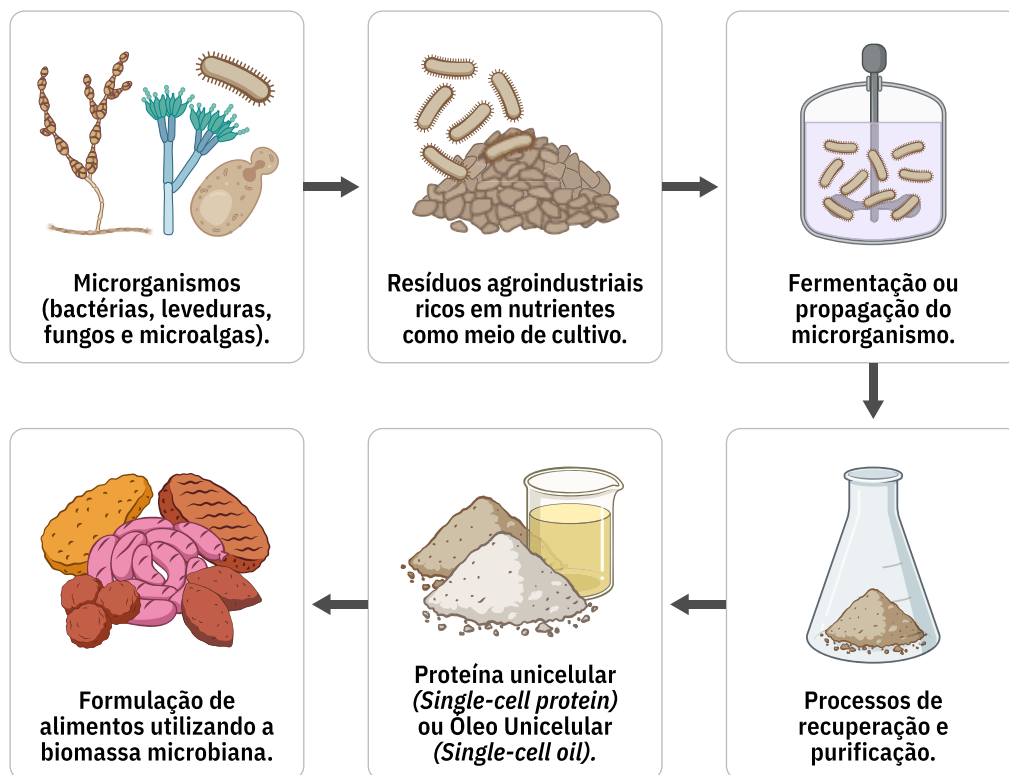


FIGURA 2
Fermentação de biomassa.

A depender do microrganismo escolhido para o processo fermentativo, os produtos da fermentação de biomassa são proteínas unicelulares (do inglês SCP - *Single-Cell Protein*) ou óleos/gorduras unicelulares (do inglês SCO - *Single-Cell Oil*). Os microrganismos classificados como proteínas unicelulares e óleos unicelulares possuem em sua composição teores muito elevados de proteínas e óleos, respectivamente. Alguns exemplos de espécies utilizadas como fonte de proteína incluem leveduras como *Saccharomyces cerevisiae*, com amplo histórico de consumo e utilização, sendo como levedura nutricional, fermento biológico e também fonte de extratos utilizados como agente flavorizante em formulações de alimentos, e também fungos filamentosos como *Fusarium venenatum*, utilizado pela *Quorn*, e *Fusarium flavolapis* utilizado pela *Nature's Fynd*. Já a levedura *Yarrowia lipolytica* e fungos do gênero *Mortierella* são exemplos de microrganismos que acumulam quantidades significativas de lipídeos (Ochsenreither et al, 2016).

QUADRO 3
O que é micélio?
E micoproteína?

Um dos principais agentes usados na fermentação de biomassa são os fungos filamentosos. O micélio é a parte estrutural básica desses fungos. Assim como animais são formados por órgãos e tecidos (que são um conjunto de células), os fungos são formados de micélio, feito de um emaranhado de estruturas fibrilares (chamadas hifas) que são filamentos de células desses microrganismos. Assim, desde a estrutura responsável pelo suporte e nutrição, que cresce dentro do substrato de forma similar a uma raiz (chamado micélio vegetativo), até os cogumelos e a estrutura semelhante ao algodão que vemos no crescimento de bolores (também chamados micélios aéreos), tudo é feito de micélio.

Já micoproteína é o nome dado a proteína que compõe a biomassa do fungo. O termo é originado da utilização do prefixo grego “mico” que significa fungo.

Algumas empresas utilizam esse nome, micoproteína, para designar o principal ingrediente da formulação de produtos obtidos a partir de fungos. Desta forma, podemos dizer que o micélio contém micoproteína.



Biomassa micelial - Nature's Fynd.

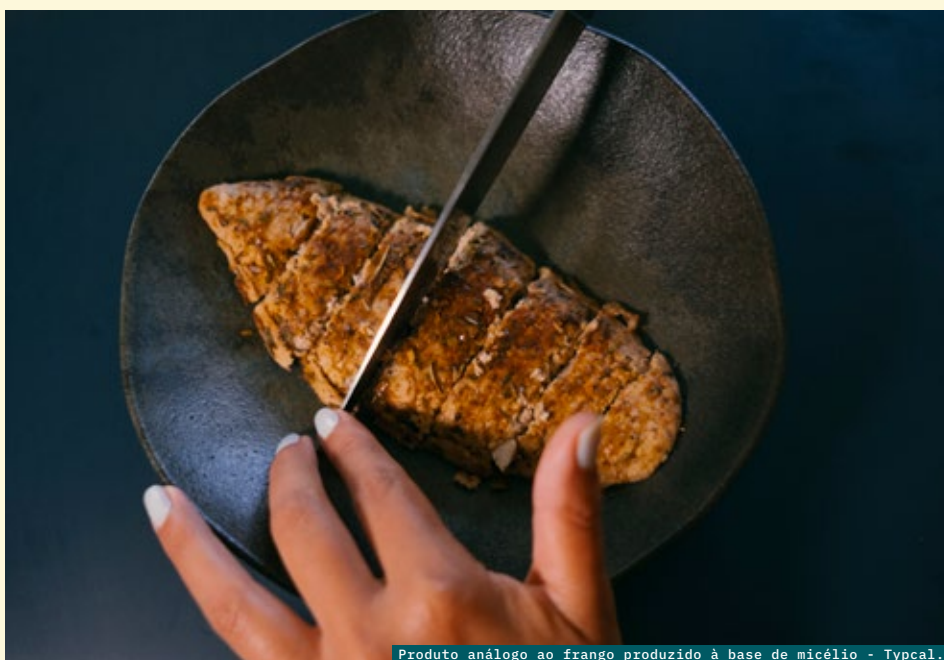


Produto análogo ao frango feito de micélio - Quorn.

Como citado anteriormente, o micélio é a parte do fungo filamentoso que se desenvolve dentro do substrato, assemelhando-se à “raiz” do fungo (no caso de cultivos em estado sólido). Essa estrutura em fibras, confere aos produtos uma textura muito similar à da carne, mimetizando de forma satisfatória os produtos cárneos. Além disso, o micélio é uma rica fonte de proteínas e fibras, e não contém gordura, o que acrescenta qualidade nutricional ao produto.

QUADRO 4

Análogos cárneos feitos de micélio.



Produto análogo ao frango produzido à base de micélio - Typcal.

Além de produzir alimentos ricos em proteínas, a fermentação de biomassa oferece uma oportunidade única para transformar os resíduos das indústrias de alimentos e bebidas em produtos de alto valor agregado (Gupta; Lee; Chen, 2018). Essa prática de utilização de resíduos contribui para o avanço da economia circular, além de reduzir custos de processo já que esses insumos têm valor menor que os substratos tradicionalmente utilizados.

Além da economia circular e de apresentar um vasto potencial para replicar características sensoriais desejáveis de produtos convencionais, a produção de biomassa oferece uma alternativa, além de sustentável, também nutritiva.

De maneira geral, os microrganismos são ricos em proteínas, fibras e micronutrientes, além de conterem baixo teor de gordura (Choi; Yu; Lee, 2022). A Tabela 1 apresenta os conteúdos de proteína, fibra e micronutrientes nos quatro tipos de microrganismos utilizados na fermentação de biomassa: bactérias, microalgas, fungos e leveduras. As setas indicam a quantidade relativa de macro e micronutrientes presentes nos microrganismos, sendo que o número de setas representa a quantidade, variando de uma seta (↑) para menor quantidade até três setas (↑↑↑) para maior quantidade.

Microrganismos	Proteínas	Fibras	Micronutrientes
Bactérias	↑↑↑	↑	↑↑
Microalgas	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Fungos filamentosos (micélio)	↑↑	↑↑↑	↑↑
Leveduras	↑↑	↑↑	↑↑

Fonte: Adaptado de Graham e Ledesma-Amaro (2023).

TABELA 1
Conteúdo médio relativo de nutrientes dos microrganismos utilizados na fermentação de biomassa.

Em relação às proteínas, as bactérias podem apresentar as maiores quantidades. Além do alto teor também podem ser uma fonte de proteínas completas: muitas espécies de microrganismos contêm aminoácidos essenciais, que são aqueles que precisamos adquirir através da dieta. Já em relação às fibras, destaca-se a alta quantidade de fibras insolúveis em microalgas, e os betaglucanos e monoligossacarídeos presentes em fungos filamentosos, que apresentam benefícios à saúde intestinal. Por fim, as microalgas se destacam em termos de disponibilidade de micronutrientes, que geralmente incluem vitaminas do complexo B, C e E, zinco, selênio, ferro e cobre (Demirgul et al., 2022; Leblanc et al., 2011; Ślusarczyk; Adamska; Czerwik-Marcinkowska, 2021).

2.3. Fermentação de precisão

A última abordagem da tecnologia de fermentação que vamos apresentar é também a mais recente a ser utilizada para a obtenção de ingredientes alimentícios. Inicialmente utilizada na produção de fármacos, como a insulina, e na fabricação de insumos para alimentos, como a quimosina (enzima fundamental na produção do queijo), ácido cítrico e aromas, a tecnologia de fermentação de precisão passou por avanços significativos. Hoje em dia, essa técnica é empregada também na obtenção de proteínas de origem

animal entre outros insumos essenciais para a indústria de proteínas alternativas. Esses insumos, que podem ser proteínas do leite, de ovo, colágeno, óleos e enzimas, são produzidos por microrganismos recombinantes, e, após a fermentação, são isolados e purificados para posterior aplicação em alimentos (Knychala et al., 2024) (Figura 3).

Para isso, o primeiro passo é identificar o gene responsável pela produção da molécula de interesse, que podem ser de origem animal ou vegetal (Quadro 6). Este gene é então inserido em um vetor de expressão ou diretamente no genoma do microrganismo, que passa a produzir a molécula ao se replicar. As células microbianas agem, então, como pequenas “fábricas” durante o processo fermentativo (Good Food Institute, 2023a).

Essas modificações genéticas são realizadas por meio de técnicas de biologia molecular, como a tecnologia de DNA recombinante ou a abordagem CRISPR⁴. Tais técnicas possibilitam a inserção de um gene de um organismo doador, ou seja, uma sequência de DNA que codifica a síntese da molécula específica, em um microrganismo hospedeiro de multiplicação mais rápida. Dessa forma, grandes quantidades dessa molécula podem ser produzidas em biorreatores em um curto período de tempo (Augustin et al., 2023). Em resumo, um microorganismo, como uma bactéria, que receba um gene para codificar uma proteína animal poderá passar a produzir grandes quantidades da proteína animal sem que ela precise ser obtida por meio da cadeia convencional usando animais.

Alguns exemplos de microrganismos utilizados na fermentação de precisão são bactérias como *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium glutamicum*, e *Lactococcus lactis*, leveduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, *Komagataella phaffii*, e *Kluyveromyces sp*, além de fungos filamentosos, como *Trichoderma reesei*, *Aspergillus oryzae* (Eastam; Leman, 2024) (saiba mais sobre cada um desses microrganismos e sua utilização na Tabela 2).

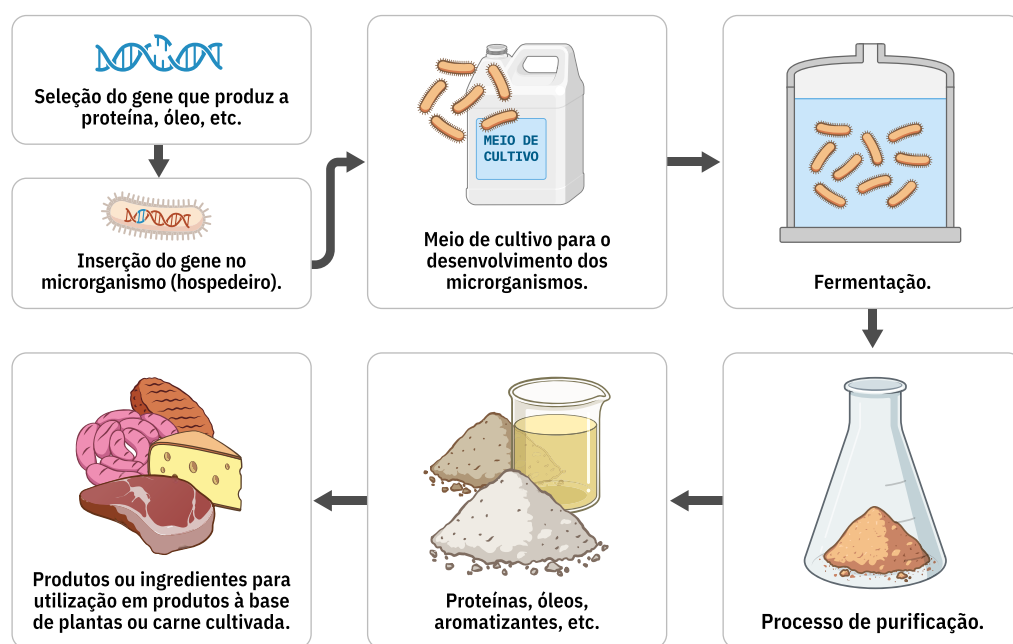


FIGURA 3
Fermentação de precisão.

4 CRISPR - Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Espaçadas

O primeiro passo do desenvolvimento de um processo de fermentação de precisão: o desafio da escolha da molécula alvo.

A seleção e o *design* do alvo são o ponto de partida para o processo de fermentação de precisão. A molécula, ou moléculas, de interesse são chamadas de alvo. O alvo pode ser uma proteína, um lipídio, um composto de sabor, aroma, uma enzima, um fator de crescimento, um pigmento ou qualquer outro ingrediente.

Um dos desafios mais básicos para a seleção desses alvos é simplesmente determinar quais moléculas contribuem mais para propriedades específicas de produtos de origem animal.

Alguns exemplos notáveis de ingredientes já produzidos por fermentação de precisão no contexto de proteínas alternativas são o uso da heme proteínas como ingrediente para produzir um conjunto de propriedades sensoriais no produto vegetal análogo a carne, como feito pela empresa [Impossible Foods](#), que incorpora leghemoglobina de soja produzida por fermentação de precisão para melhorar sabor, suculência e aparência do hambúrguer vegetal produzido pela empresa. Outras proteínas recombinantes, como caseína e soro de leite, são também alvos importantes devido à sua funcionalidade única em produtos lácteos. Essas proteínas podem ser combinadas com ingredientes derivados de plantas para criar um produto final. Por exemplo, açúcar, óleo de coco e óleo de girassol são combinados com soro de leite recombinante produzido por fermentação para fazer a base de sorvete da [Perfect Day](#). Podemos citar também a escolha de proteínas de clara de ovo como alvo, como feito pela [Every](#), que entregam ingredientes com funcionalidades específicas importantes para formulações alimentícias como formação de espuma, decorrente da presença de ovomucina, globulina e ovoalbumina.

Embora o desenvolvimento da cepa, a otimização da matéria-prima e meios de cultivo possam contribuir substancialmente para a viabilidade do processo, a seleção do alvo é um fator crítico para alcançar a viabilidade econômica. Isso porque, a partir da escolha do alvo se determina a demanda, parcela de mercado, e o custo necessário para atingir paridade de preço, determinado pelos ingredientes similares já existentes no mercado.

Fonte: [The Science Of...](#) (2024)



Produto vegetal análogo a hambúrguer com heme proteína obtida por fermentação - Impossible.



Sorvete feito com proteína de leite obtida por fermentação de precisão - Perfect Day.

TABELA 2
Tipos de microrganismos utilizados para fermentação de precisão.

	Bactérias	Leveduras	Fungos filamentosos
Principais espécies utilizadas	<i>Corynebacterium glutamicum</i> , <i>E. coli</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Lactococcus lactis</i>	<i>Komogaetella phaffii</i> (<i>Pichia pastoris</i>), <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Kluyveromyces lactis</i>	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> e <i>Trichoderma reesei</i>
Características	Crescimento rápido; Títulos baixos, mas alto rendimento	Capacidade de enovelamento da proteína*; Ausência de metabólitos secundários (micotoxinas); Títulos intermediários.	Capacidade de enovelamento da proteína*; Maiores títulos; Alta capacidade de secreção de proteínas; Muitos metabólitos secundários requerem repressão/deleção de vias.
Tempo de fermentação	<48 horas	3-6 dias	5-10 dias
Títulos	0,5-3 g/L	1-22 g/L	5-100 g/L

* As propriedades funcionais das proteínas dependem da estrutura espacial resultante desse enovelamento e do dobramento do filamento proteico sobre si mesmo (Deckers et al., 2020).
Fonte: Adaptado de [Eastham and Leman \(2024\)](#).

As etapas de recuperação e purificação dos ingredientes de interesse são fundamentais, e um dos principais geradores de custo do processo de fermentação de precisão, além de afetarem significativamente os rendimentos de processo. A complexidade varia caso a molécula seja produzida de forma intracelular ou secretada no meio de cultivo. Caso seja produzida de forma intracelular, é necessária ainda a ruptura das células microbianas para liberar o conteúdo intracelular contendo a proteína-alvo, bem como a separação dos resíduos celulares. Em seguida, técnicas de separação são empregadas, incluindo centrifugação, filtração, precipitação e cromatografia, permitindo a obtenção da proteína-alvo com certo grau de pureza. Por fim, a concentração da molécula-alvo é realizada, geralmente por meio de filtração ou cromatografias adicionais (Augustin et al., 2023).

A complexidade dessa abordagem da fermentação é superior às que apresentamos anteriormente. Não só por ter processos de *downstream* mais complexos, mas também pela etapa inicial de desenvolvimento da cepa. Nesta tecnologia é necessária a compreensão dos microrganismos que serão utilizados no processo fermentativo, bem como de seus genomas e funções metabólicas, sendo necessário empregar tecnologias avançadas, como inteligência artificial, bioinformática e biologia de sistemas, para identificar, manipular e otimizar os microrganismos e o processo de fermentação (Teng et al., 2021).

Todos esses aspectos apresentados alimentam um dos principais desafios da fermentação de precisão: melhorar a viabilidade econômica da produção. Para competir com proteínas de origem animal, pesquisadores e empresas devem aumentar o título (quantidade de uma molécula-alvo expressa em relação ao volume

total de líquido produzido durante o *upstream* contendo o agente – a principal referência de eficiência de *upstream*) e o rendimento (a proporção da massa da proteína purificada final em relação à sua massa no início da purificação – a principal referência de eficiência de *downstream*) das moléculas alvo e da biomassa proteica.

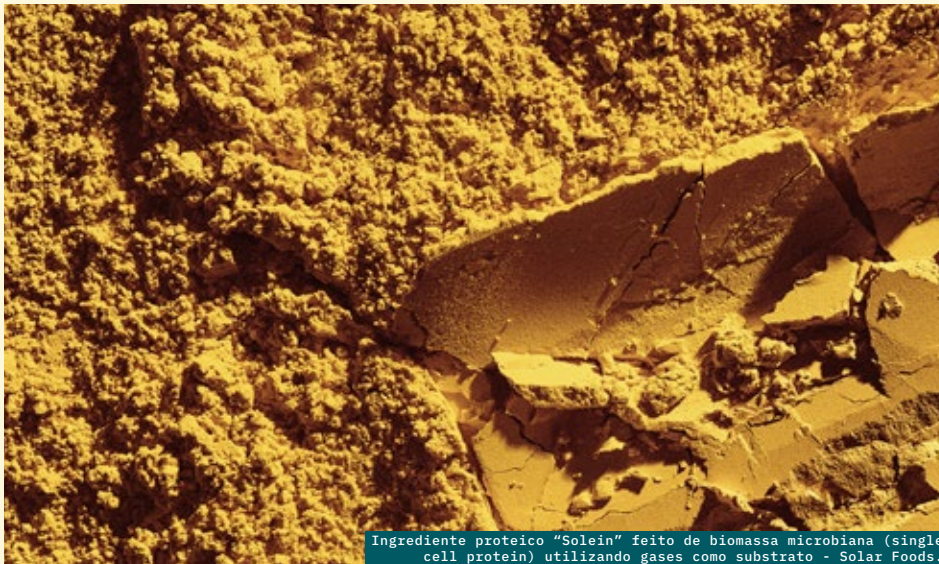
	Abordagens da tecnologia de fermentação aplicada a proteínas alternativas		
	Tradicional	Biomassa	Precisão
O microrganismo está presente no produto final?	Sim, podendo ter atividade biológica benéfica quando o produto não passa por processos térmicos.	Sim, sempre na forma inativa.	Não.
Qual a proteína contida no produto/ingrediente obtido?	A proteína da base vegetal utilizada para fermentação e a proteína do microrganismo utilizado para fermentar.	O conteúdo de proteína do microrganismo.	Uma proteína purificada idêntica (ou similar) à de origem animal.
Requer processos de purificação?	Não.	Não é necessário, mas pode-se optar por desenvolver um ingrediente com uma proteína microbiana concentrada.	Sim.
Principais exemplos de produtos	Bebidas vegetais fermentadas, tempê, produtos vegetais análogos a queijos e cárneos.	Produtos feitos de micélio análogos a carne (frango, bacon) e a cream cheese.	Proteínas de soro de leite, caseína, proteínas de ovo, colágeno, hemoproteínas, enzimas.
Diferencial tecnológico	Melhoria sensorial e nutricional de ingredientes vegetais; e desenvolvimento da categoria de produtos fermentados vegetais análogos à lácteos.	Obtenção de ingredientes proteicos em bioprocessos com tecnologias já bem estabelecidas, com alta produtividade e eficiência, podendo utilizar subprodutos.	Produzir de forma eficiente ingredientes <i>animal-free</i> com funcionalidades específicas essenciais em formulações alimentícias.
Sugestões de leitura	Fact Sheet: Fermentação Tradicional	Fact Sheet: Fermentação de Biomassa	Fact Sheet: Fermentação de Precisão

TABELA 3
Entenda as diferenças de cada uma das abordagens da tecnologia de fermentação para produção de proteínas alternativas.

Recentemente, foi anunciado o desenvolvimento de uma abordagem inovadora para a produção de proteínas, utilizando a fermentação de microrganismos alimentados pelo ar. Em outras palavras, esses microrganismos utilizam componentes do ar como fonte de carbono para seu crescimento e formação da biomassa microbiana.

A empresa [Air Protein](#) está produzindo proteínas a partir de dióxido de carbono (CO_2), já a [Solar Foods](#) utiliza tanto CO_2 quanto hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2) obtidos do ar. Ambas produzem um ingrediente proteico que é incorporado na produção de diversos produtos alimentícios.

Essa é uma nova abordagem para produção de alimentos de forma sustentável já que não necessita de substratos de origem agrícola, o que reduz o uso de terra e minimiza o de outros recursos, além de mitigar gases poluentes da atmosfera, como o CO_2 .



Ingrediente proteico "Solein" feito de biomassa microbiana (single cell protein) utilizando gases como substrato - Solar Foods.

3

Fermentação como solução sustentável



Produto análogo ao atum obtido por fermentação de biomassa - Aqua Cultured Foods.

A fermentação no contexto de produção de alimentos de proteínas alternativas representa um modelo de produção que segue uma lógica circular, onde os fluxos residuais de uma cadeia podem ser insumos valiosos para outras e onde busca-se desenvolver processos produtivos mais eficientes e menos intensivos em insumos e energia, de maneira fortemente apoiada na biotecnologia. Isso inclui essa tecnologia no conceito de bioeconomia, definida como toda atividade econômica que utiliza bioprocessos e gera bioprodutos que contribuem para soluções eficientes no uso de recursos biológicos (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2021).

Todas as abordagens tecnológicas de fermentação apresentam um potencial de escalabilidade e eficiência de produção, com redução dos impactos ambientais, do uso de terras e do consumo de água. Estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) demonstram que a fermentação de biomassa e precisão pode diminuir significativamente a demanda de solo e ocupação de terra em comparação com a produção convencional de proteínas, além de reduzir o consumo de água em relação a outras fontes de proteínas. Os dados indicam que a proteína produzida por fermentação de biomassa pode ter de 53% a 100% menos impacto ambiental, dependendo do produto de referência e da fonte de energia assumida para sua produção (Durkin et al., 2022; Järviö et al., 2021) e 83,9% de redução de consumo de água potável (Durkin et al., 2022). Outros indicam que quando comparada a produção de carne de ruminantes, a micoproteína apresenta um potencial significativo de redução no uso da água e da terra, podendo chegar a 90% de redução, além de uma diminuição de até 80% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Hashempour-Baltork et al. 2020; Rubio; Xiang; Kaplan, 2020). Um estudo mais recente de Kobayashi et al. (2023) afirma que os impactos ambientais da produção de proteína microbiana produzida com subprodutos de aveia em comparação com outros produtos convencionais de soja, por exemplo, resultam na redução de mais de 60% no uso de terras.

A Perfect Day, uma das pioneiras no desenvolvimento de proteínas alternativas via fermentação de precisão, [desenvolveu uma ACV](#) do ingrediente produzido por eles e os resultados demonstram que, em comparação com a proteína total do leite, sua proteína de soro de

leite: emite 91% a 97% menos GEE, reduz de 29% a 60% a demanda de energia, e reduz em 96% a 99% o consumo de água.

É importante destacar que todos esses estudos indicam que essas reduções nas emissões de gases de efeito estufa estão intrinsecamente ligadas à fonte de energia utilizada no processo de produção, apontando para o uso de fontes renováveis como solução. Nesse sentido, o [Brasil se destaca como referência em bioenergia](#), com uma das matrizes energéticas mais limpas do planeta. Enquanto o mundo tem, em média, 84% de energia primária gerada por fontes fósseis, o Brasil tem 43% da sua matriz energética gerada por fontes renováveis (Toledo, 2020), e quando analisamos a matriz elétrica esse número sobe para 84,25% proveniente de fontes renováveis (Matriz Elétrica Brasileira..., 2024). Os dados do [Relatório de Tecnologia e Inovação de 2023](#) da *United Nations Conference on Trade And Development* (UNCTAD) (2023), mostram que o Brasil se encontra na segunda posição em bioenergia, na frente dos Estados Unidos e atrás apenas da China.

Depois da fonte de energia, o segundo contribuinte majoritário destacado nessas ACV é a fonte de carbono utilizada no meio, a glicose. Na ACV da proteína de soro de leite da [Perfect Day](#) citada previamente, por exemplo, a fase de produção de proteína (fermentação) contribuiu com 25% para as emissões totais de GEE, devido à etapa de produção de glicose por meio da hidrólise do amido que contribui sozinha por 83% das emissões nessa fase de fermentação. Nesse sentido, [ser o maior produtor mundial de açúcar de cana, incluindo resultados de safra recorde de 713,2 milhões de toneladas cana em 2023/24](#), também pode ser um diferencial brasileiro, já que esses açúcares do caldo da cana (sacarose) são fermentescíveis e não precisam passar pelo processo de hidrólise.

Ademais, outra solução para reduzir os impactos do ciclo de vida dessa cadeia é a utilização e valorização de subprodutos e resíduos como matérias-primas para processos de fermentação, ou ainda utilizar recursos e matérias-primas disponíveis localmente para reduzir as distâncias de transporte (Good Food Institute, 2022a; Koutinas et al. 2014; Smetana et al. 2018).

Nesse sentido, o Brasil também se destaca já que são gerados bilhões de toneladas de resíduos agroindustriais por ano, tanto de alimentos minimamente processados (frutas e verduras), como os que passam por processamento para separação de frações de interesse, seja para alimentos ou bioenergia (Woiciechowski et al., 2013). A Tabela 4 demonstra algumas das principais culturas processadas no Brasil e seus principais resíduos.

Cultura	Produção anual (milhões de toneladas)	Tipo de resíduo	Produção de resíduos (milhões de toneladas)
Cana-de-açúcar	685,851	Bagaço	1742
Soja	147,681	Farelo	41,73
Milho	111,641	Farelo	2,44
Total	945,17	-	218,1

Fonte: Ajustes na Área... (2023) (1); Vilella e Hofsetz (2019) (2); Projeções para o... (2024) (3); Anec Eleva Previsões... (2024) (4).

Esses resíduos, como farelos, cascas, palha, bagaços, e resíduos de frutas e sementes, são excelentes substratos para o crescimento de microrganismos, fornecendo nutrientes para seu desenvolvimento. A depender do tipo de resíduo agroindustrial utilizado, diferentes processos devem ser aplicados para o pré-tratamento da biomassa e liberação dos nutrientes que irão compor o meio de cultivo da fermentação, abrangendo uma área de estudos na qual o Brasil é, sem dúvidas, pioneiro.

Como se trata de uma tecnologia em desenvolvimento, os dados de ACV ainda são um pouco limitados e podem não representar o real potencial de redução dos impactos dessa cadeia, visto que, o ganho de escala e maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento podem gerar ganhos de eficiência superiores aos previstos nas ACVs atuais. Destaca-se também a necessidade de ampliar os estudos com dados representativos da cadeia produtiva brasileira para endereçar o real potencial de produção sustentável de proteínas por fermentação no país.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODSS)


A fermentação para produção de proteínas alternativas está alinhada com vários ODSs, como a segurança alimentar e gestão de resíduos.

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL


Os processos de fermentação têm menor emissão de gases do efeito estufa e menor consumo de água em comparação com a produção convencional de proteínas.

PRODUÇÃO EFICIENTE


Independente do tipo de fermentação, a produção de proteínas através da fermentação é eficiente, ao mesmo tempo que reduz os impactos ambientais, como uso de terras e poluição.

ECONOMIA CIRCULAR


A produção de proteínas através da fermentação tem potencial de reutilização de resíduos agroindustriais como meio de cultivo dos microrganismos, integrando e retroalimentando a cadeia.

TABELA 4
Exemplos de culturas processadas no Brasil e seus principais resíduos.

FIGURA 4
Fermentação como solução sustentável.

4

Mapeamento do estágio de desenvolvimento da tecnologia de fermentação aplicada às proteínas alternativas no Brasil



Carne análoga desfiada obtida através de fermentação - Chunk Foods.

4.1. Visão geral e abordagem

Em uma parceria do *The Good Food Institute Brasil* com pesquisadores da Universidade Federal do Paraná e da Fundação Getúlio Vargas, foi desenvolvido ao longo de 2024 um mapeamento para identificar as potencialidades, oportunidades e desafios para desenvolvimento do ecossistema e da cadeia de produção de proteínas a partir de fermentação no país. Os dados deste mapeamento foram coletados usando as seguintes abordagens quantitativas e qualitativas:

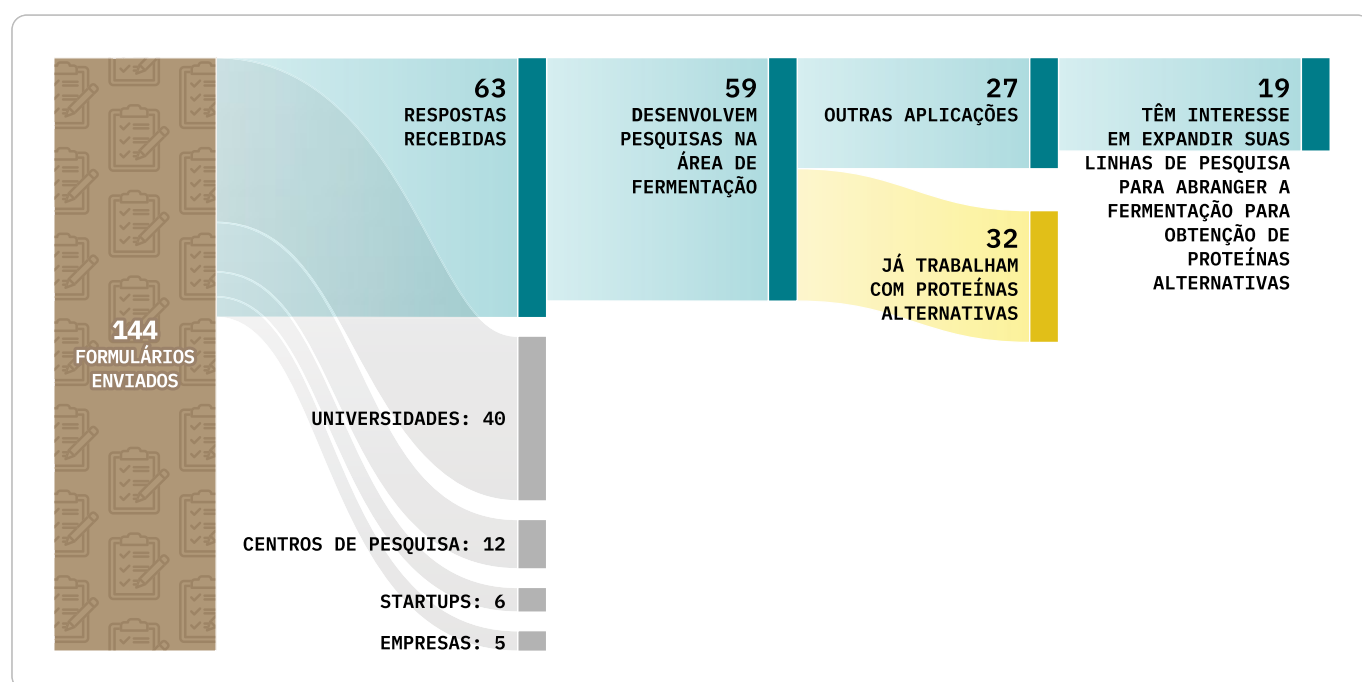
- 1 Utilizando sites de busca (Google), bancos de dados públicos ([Plataforma Sucupira](#)) e base de dados do próprio GFI ([Alternative Protein Company Database](#)) foram levantadas 240 instituições entre, universidades, *startups*, centros de pesquisa e empresas relevantes a área de proteínas alternativas.
- 2 Destas 240 instituições, foi possível obter o contato específico (email) de 144 pessoas ligadas a elas, como coordenadores de curso, colaboradores e pesquisadores. Esses profissionais receberam um [questionário online](#) que endereçava as mais variadas perguntas incluindo produtos desenvolvidos, linhas de pesquisa, proximidade da instituição com o tema de proteínas alternativas, infraestrutura instalada para ensaios de bancada e escalonamento, captação de recursos, contato com fornecedores, dificuldades enfrentadas, entre outros.

- 3 Dos contatos específicos obtidos foram selecionados cerca de 18 para a coleta mais aprofundada de informações por meio de consultas e entrevistas.

Os dados obtidos do mapeamento geraram uma extensa análise do cenário da tecnologia de fermentação aplicada a proteínas alternativas no Brasil que servirá como apoio para o desenvolvimento das atividades do GFI Brasil nessa área. Em virtude da relevância das informações para outros atores do ecossistema de proteínas alternativas serão compartilhados nos tópicos a seguir os principais resultados obtidos nesse estudo, além das oportunidades e desafios identificados a partir da análise do cenário mapeado.

4.2. Principais achados

Dos 144 envios do questionário foram obtidas 63 respostas divididas entre 40 universidades, 12 centros de pesquisa, 5 empresas e 6 startups. Destas, 59 responderam que estão ativas no desenvolvimento de pesquisa na área de fermentação sendo que a maioria (54%) já trabalha com proteínas alternativas (32 respondentes) e 46% trabalham com fermentação para outras aplicações (27 respondentes). Destes 46%, grande parte (71%) afirma ter interesse em expandir as suas linhas de pesquisa para abranger a fermentação para obtenção de proteínas alternativas.



Observou-se que, dentre as instituições que atuam na área de proteínas alternativas, 43,8% realizam apenas um tipo de fermentação e dispõe de uma infraestrutura mais específica e dedicada a esta única abordagem. Das instituições com este perfil, 18,8% realizam apenas fermentação de biomassa, 12,5% apenas fermentação tradicional e 12,5% apenas fermentação de precisão. Instituições com perfil de pesquisa mais diversificado, ou seja, ativas na condução de dois ou mais tipos de fermentação somam 56,6% do total. Destes, cerca de um terço (37,5%) realizam fermentação de biomassa ou tradicional e fermentação de precisão e apresentam uma infraestrutura mais completa e versátil para desenvolvimento de linhas de pesquisa mais amplas. Os 18,8% restantes das instituições realizam pesquisas com fermentação tradicional e de biomassa. Esses resultados demonstram a amplitude de atuação das instituições brasileiras mapeadas, em termos técnicos e de infraestrutura, dentro do tema de fermentação, sendo em sua maioria capazes de conduzir pesquisas nas três diferentes abordagens tecnológicas.

Também foram mapeadas as capacidades instaladas de biorreatores (Figura 5) e os resultados demonstraram um predomínio de infraestrutura de pesquisa em escala da bancada (biorreatores de 1-10L) presente em 70% de todas as instituições avaliadas. Infraestruturas deste tipo permitem avaliar a maior parte das variáveis de processo, como velocidade de agitação, controle de temperatura e de pH, mas são insuficientes para identificação do critério de escalonamento ideal e consequentemente permitir a transição para para escalas de produção industrial.

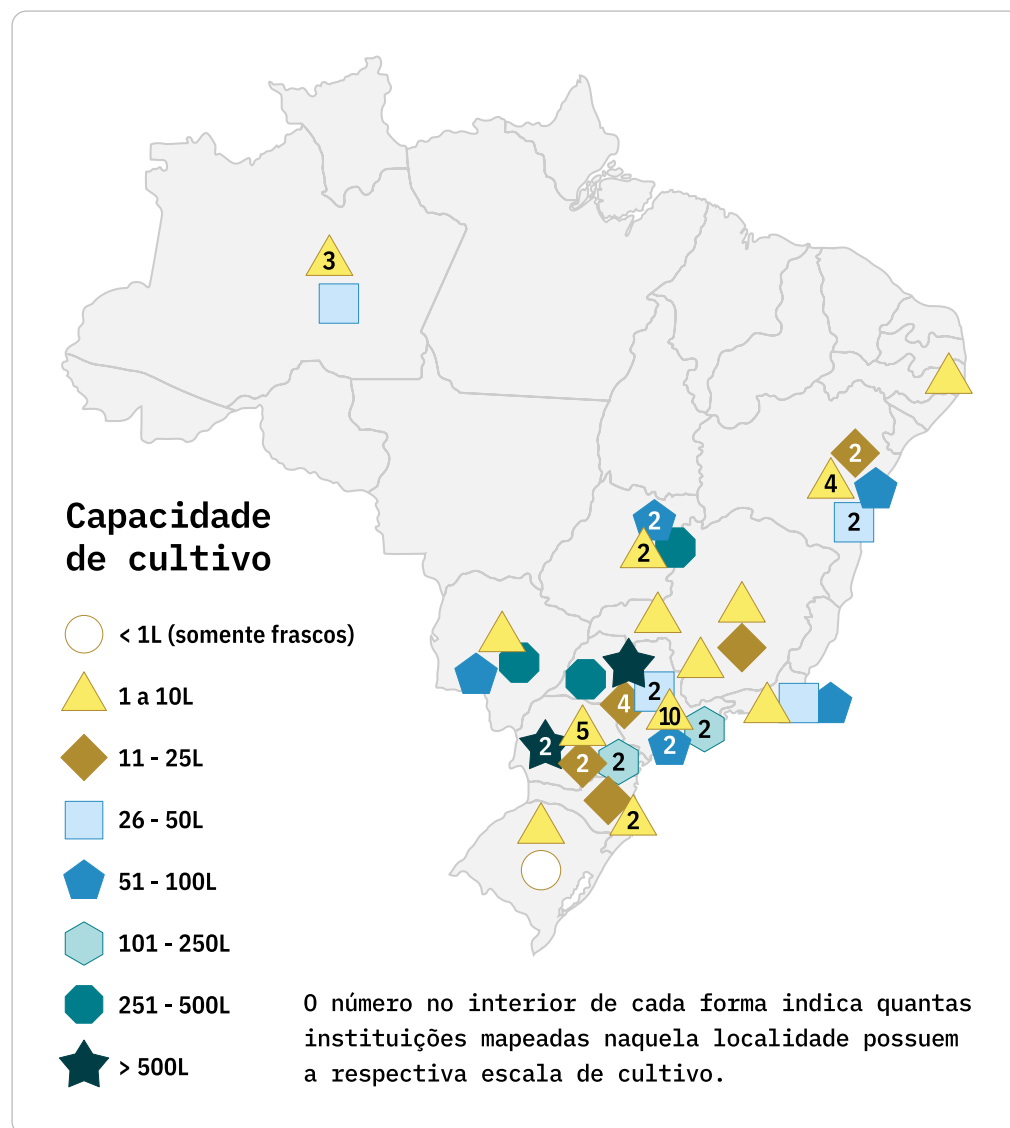
Infraestruturas piloto para escalonamento (acima de 11L) mapeadas no estudo, estão concentradas em centros de pesquisa, institutos tecnológicos e instituições privadas. Apenas seis instituições afirmaram ter biorreatores de volumes superiores a 100 litros, o que pode representar um desafio para àqueles que buscam escalar seus processos. O estabelecimento da escala piloto colabora com uma visão realista dos rendimentos do processo, análise do gasto energético e dos custos - sendo assim chamada escala “demonstrativa”. Produções nessa escala são essenciais para realizar o estudo de viabilidade do processo, que é necessário para as

empresas que buscam financiamento e para permitir que as tecnologias passem para a fase de produção em escala industrial.

A partir dos dados do estudo, constatou-se que a indústria de tecnologia em proteínas alternativas via fermentação no Brasil está em formação, e caracteriza-se por alta fragmentação de *players* e alto potencial de diferenciação de produtos. As empresas mapeadas são na sua maioria *startups* em estágios iniciais de desenvolvimento. Nas entrevistas, observou-se que as *startups* encontram-se majoritariamente em fase de prova de conceito, testes de bancada e desenvolvimento de produtos, enquanto poucas estão em estágio piloto e/ou início de produção industrial. Empresas com linhas de receita ou mesmo em *break-even* enfrentam desafios de escalabilidade devido à falta de investimentos e projeções mais estabilizadas em termos de demanda. Além disso, *startups* manifestaram ter dificuldade para encontrar estruturas para escalonamento de seus produtos. É importante ressaltar, que dentre as instituições com infraestrutura piloto disponível, somente três possuem a certificação *food grade*. Este resultado é provavelmente reflexo dos objetivos das instituições com este perfil que majoritariamente não são focadas na pesquisa ou produção de alimentos e/ou não buscam a comercialização dos produtos de pesquisa. A certificação adequada dessas infraestruturas e a viabilização do acesso das *startups* às estruturas existentes são pontos cruciais para que negócios evoluam e para que o ecossistema de produção de proteínas alternativas via fermentação se desenvolva no país. Tais adaptações podem facilitar, por exemplo, a transição de *startups* pelo desafiador “vale da morte”⁵. Durante esse estágio, muitas delas falham devido à falta de recursos ou à incapacidade de demonstrar a viabilidade comercial de seu produto ou serviço.

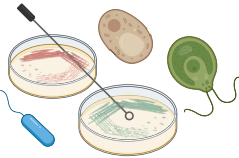
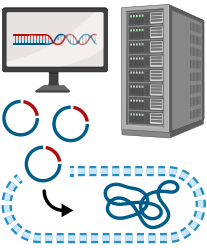
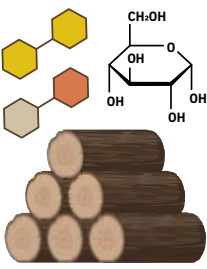
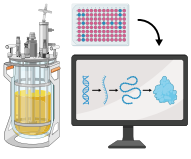
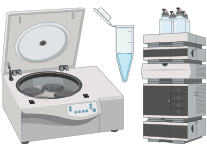
5 Termo refere-se ao período crítico na vida de uma startup ou de um projeto, no qual a empresa enfrenta grandes dificuldades financeiras e operacionais para transformar uma ideia inovadora em um produto comercial viável.

FIGURA 5
Mapeamento
da capacidade
instalada de
instituições
brasileiras para
pesquisa com
cultivo microbiano.



O mapeamento também evidenciou o papel essencial das universidades nesse ecossistema. Elas representaram quase dois terços das instituições mapeadas e desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de pesquisas no país, impulsionando o desenvolvimento científico e de tecnologias no setor. Quanto ao potencial científico e linhas de pesquisa desenvolvidas (Tabela 5), os resultados demonstraram uma concentração de pesquisas envolvendo o uso de subprodutos para a produção de meios de cultivo em andamento em cerca de 90% das instituições mapeadas. Também foi possível identificar as linhas de pesquisa menos investigadas pelos pesquisadores brasileiros mapeados como as que envolvem processos de *downstream* e são desenvolvidas por apenas 29% dos pesquisadores atuando com fermentação de biomassa e tradicional, embora sejam foco de pesquisa para 64% dos ativos em fermentação de precisão. É essencial desenvolver novas abordagens para purificação e secagem de proteínas que reduzam o custo e aumentem o rendimento e sustentabilidade dos processos de *downstream* para viabilizar a produção de proteínas alternativas por fermentação de precisão. Outro destaque é que somente 36% dos pesquisadores mapeados estão trabalhando com prospecção de novos microrganismos e explorando a biodiversidade microbiana dos biomas brasileiros. Esta pode ser uma grande oportunidade para explorar e valorizar a grande biodiversidade existente no país (Figura 5).

TABELA 5
Porcentagem de instituições brasileiras mapeadas que realizam pesquisas em cada tema da cadeia de processos fermentativos.

Temática de pesquisa	Fermentação de precisão	Fermentação de biomassa e tradicional
	Prospecção de novos microrganismos	na36%
	Uso de análises ômicas para busca de moléculas-alvo	57%na
	Desenvolvimento de chassis microbianos para fermentação de precisão	86%na
	Otimização da clonagem/ expressão heteróloga	86%na
	Utilização de resíduos industriais / agroindustriais como componentes do meio de cultivo	93%86%
	Otimização de componentes e/ou quantidades de componentes de meio sintético	50%43%
	Otimização das condições de fermentação	100%93%
	Estudos de engenharia metabólica	79%na
	Otimização das operações de downstream (processos de separação, purificação etc.)	64%29%

na: não se aplica. O tema não foi incluído no formulário dessa abordagem tecnológica.

QUADRO 7
Oportunidades de pesquisa no Brasil.



Na biodiversidade

Prospecção de novos microrganismos na biodiversidade brasileira.



Na agroindústria

Resíduos agroindustriais abundantes e de baixo custo a serem pesquisados com a finalidade de meios de cultivo para a fermentação dos microrganismos.



4.3. Oportunidades e desafios identificados

O Brasil possui um enorme potencial para se destacar e influenciar o avanço da tecnologia de fermentação para proteínas alternativas no mundo, em especial por destacar-se na biodiversidade e agricultura, e pelo seu capital humano. Dentre suas fortalezas podem ser destacadas: a abundante biodiversidade de microrganismos e a disponibilidade de matérias-primas para fermentação. Alguns exemplos de matérias-primas são cana-de-açúcar, milho, resíduos agroindustriais e subprodutos das indústrias de alimentos e bebidas, como os provenientes da indústria cervejeira (leveduras ou bagaço de malte). Além disso, o país conta com uma significativa capacidade técnica e produtiva, impulsionada pelas empresas utilizando fermentação em larga escala para diferentes fins comerciais, como nas áreas alimentícia, química, da saúde e de biocombustíveis.

Apesar da similaridade dos processos de fermentação desenvolvidos em diferentes tipos de indústrias no país, a produção de proteínas alternativas utilizando esta tecnologia resguarda características únicas que tornam a formação de profissionais especializados nessa área uma das iniciativas cruciais para o desenvolvimento da indústria. Conhecimentos em microbiologia industrial, escalonamento de bioprocessos, construção e operação de biorreatores, processos de separação e purificação de bioprodutos, técnicas assépticas, conhecimentos em biologia molecular e bioquímica, e desenvolvimento de formulações e produtos finais, por exemplo, são essenciais para execução de bioprocessos de fermentação. O mapeamento realizado demonstrou que os profissionais envolvidos na área de fermentação são principalmente biólogos, engenheiros de bioprocessos, engenheiros químicos, e biotecnologistas, com a presença crescente de engenheiros de alimentos no caso das instituições que realizam pesquisas em proteínas alternativas. A diversidade de profissionais retrata a multidisciplinaridade da cadeia de fermentação, cujo desenvolvimento ainda depende de outros profissionais como engenheiros mecânicos, mecatrônicos e elétricos que atuem produzindo equipamentos e sensores para biorreatores, sendo

este último uma linha de pesquisa ainda pouco explorada no Brasil. Novos modelos de biorreatores *high throughput* têm emergido como ferramentas poderosas para a validação de processos de fermentação, além do uso de ferramentas de Inteligência Artificial e *Machine Learning* para otimização de processos.

O Brasil também tem a oportunidade de mobilizar parcerias assertivas com as indústrias, para transpor os desafios da tecnologia e otimizar a produção. Exemplos como a cooperação das indústrias alcooleiras para a viabilização de equipamentos industriais de fermentação para a produção de proteínas alternativas demonstram como podemos aproveitar a expertise e a infraestrutura já instaladas no país também para ser destaque na produção de alimentos de proteínas alternativas obtidas por fermentação (ver quadro 8). O conceito de economia circular também pode ser aplicado nessa cadeia, conectando agroindústrias e indústrias de alimentos com empresas de fermentação para fornecer seus subprodutos como substratos para o desenvolvimento de microrganismos.

Recentemente, a regulamentação nacional de novos alimentos facilitou a entrada do Brasil no setor de proteínas via fermentação, pois assegura sua produção e comercialização nacional, criando oportunidades tanto para empresas já estabelecidas neste segmento como para novos participantes. Essa regulamentação também minimiza os riscos para investidores, uma vez que os produtos alternativos se tornam confiáveis e seguros, incentivando oportunidades de negócios tanto para empresas consolidadas quanto para novos investidores em *startups*.

Com base no mapeamento e em estudos internos executados no GFI Brasil, o desenvolvimento desta indústria enfrenta dois desafios centrais: atrair recursos financeiros para seu crescimento e produzir produtos competitivos em termos de preço e qualidade. Isso requer investimentos em pesquisa, desenvolvimento de insumos, otimização de processos, estudos de escalonamento e viabilidade econômica.

A mobilização de recursos pode ocorrer por meio de doações ou patrocínios privados, investimentos privados e de fomento público. Estratégias de visibilidade, competitividade e antecipação regulatória são exemplos de motivadores de investimentos privados, que são majoritariamente impulsionados pela viabilidade econômica e financeira dos modelos de negócio apresentados. Para esse setor no Brasil, isso implica diretamente na necessidade de criação de infraestrutura compartilhada para a produção de proteínas alternativas via fermentação. Isso porque, um dos maiores desafios na expansão da capacidade fermentativa do Brasil reside na carência de infraestrutura em escala piloto para servir de base para escalonamento industrial, conforme destacado no tópico anterior deste documento, limitando as oportunidades de escalonamento, estudo de viabilidade econômica com dados em escala representativa, além de viabilidade de testes de produtos e ingredientes por potenciais parceiros e investidores.

Por fim, o desenvolvimento de produtos competitivos implica em superar o desafio da aceitação pelo consumidor. Nesse sentido, as características cruciais que podem influenciar a atitude do consumidor são preço (NEwton et al., 2024), aspectos sensoriais e de saudabilidade (Good Food Institute, 2021). O desafio do preço tende a ser mitigado à medida que se adotam processos e insumos de menor custo, bem como ao se escalar a produção por meio do crescimento do consumo e de economias de escala. Já para atingir a qualidade sensorial e nutricional do produto é necessário investir em pesquisa e desenvolvimento de insumos e processos. É válido lembrar os potenciais amplamente discutidos nesse documento quanto a geração de ingredientes que promovem melhorias sensoriais e nutricionais nos produtos vegetais análogos através da fermentação.

A produção de proteínas via fermentação pode envolver custos elevados, incluindo equipamentos, infraestrutura e operações. E esse custo pode variar para cada tipo de fermentação, considerando-se as etapas de *upstream* e *downstream*. Na fermentação de precisão os processos de purificação elevam os custos com equipamentos, já na fermentação tradicional os custos de *upstream* tendem a ser menores pela menor complexidade dos biorreatores empregados, por exemplo. As opções além de construção de uma nova planta e aquisição de novos equipamentos, incluem parcerias com *Contract Manufacturing Organizations* (CMO), onde se terceiriza a produção, ou ainda as adequações (*retrofit*) de instalações e de equipamentos de uma indústria já existente.

O investimento em CMO no setor de proteínas alternativas no Brasil é uma grande oportunidade também para o país, não só para suprir a demanda interna de *startups* brasileiras, mas também uma demanda global por esse tipo de infraestrutura, considerando as vantagens competitivas que o país já apresenta como a ampla disponibilidade de substratos de baixo custo e cadeia bem estabelecida.

QUADRO 8

Oportunidades para indústrias de fermentação e bioprocessos no desenvolvimento de infraestruturas industriais.

No Brasil, onde a indústria de fermentação em alguns setores já é bem estabelecida, é possível que parte da infraestrutura já existente seja adaptada aos processos de fermentação para a produção de proteínas alternativas. Isso poderia reduzir o CAPEX⁶ inicial em até 70% e reduzir em até 6 meses o prazo de construção, a depender da quantidade de ajustes necessários nos equipamentos e instalações (Good Food Institute, 2023b).

Várias indústrias poderiam ser candidatas adequadas para adaptação para fermentação de biomassa, mas três são apresentadas com maior potencial para conversão ou capacidade de adaptação:



Cervejarias: Semelhanças significativas de processo e condições vantajosas de mercado indicam a disponibilidade de instalações e equipamentos ociosos ou desativados.



Usinas de etanol: A construção anexa fornece acesso direto à fonte mais barata de matéria-prima necessária para fermentação, reduzindo assim o risco da cadeia de suprimentos e os custos operacionais ([Amyris](#) e [Lesaffre](#) são exemplos). Adicionalmente, no Brasil ainda é possível reduzir impactos ambientais do processo com o uso de fontes renováveis de energia já produzidas nessas instalações.



Vinícolas: Existem estudos de caso no Estados Unidos que demonstram um potencial de alavancar 75% do tempo de inatividade dos equipamentos ao longo do ano, devido à sazonalidade da produção de vinho, especialmente em vinícolas que usam fermentadores de aço inoxidável (e, portanto, esterilizáveis).

Saiba mais em: [Manufacturing capacity landscape and scaling strategies for fermentation-derived protein.](#)

⁶ O termo CAPEX (Capital Expenditure ou Despesa de Capital, em português) refere-se aos investimentos que uma empresa faz em ativos fixos.

5

Considerações finais



Vieira análoga obtida através de fermentação - Aqua Cultured Foods.

Para garantir a viabilidade de indústrias de proteínas obtidas via fermentação, é essencial ter uma cadeia de suprimentos sólida e um ecossistema empreendedor robusto. Isso envolve colaboração entre agroindústrias, indústrias alimentícias, empresas de fermentação, e outros *stakeholders*. Universidades, *startups* e empresas lideram a inovação, enquanto investidores e agências governamentais fornecem suporte financeiro e regulatório, criando uma rede colaborativa e a cooperação entre esses diversos atores pode impulsionar a indústria de proteínas via fermentação.

No Brasil, embora haja um crescimento significativo no interesse por proteínas alternativas, os dados de investimento ainda mostram lacunas em comparação com outros países. Enquanto nações como os Estados Unidos e alguns países europeus têm visto um aumento substancial nos investimentos em proteínas alternativas, o Brasil ainda enfrenta desafios nesse aspecto. Essa disparidade de investimento pode representar um obstáculo para o desenvolvimento pleno da indústria de proteínas alternativas no país, ressaltando a necessidade de uma abordagem mais proativa para atrair investimentos e estimular a inovação no setor. A obtenção de investimento e financiamento para a pesquisa e o escalonamento de tecnologias de fermentação abre portas para grandes oportunidades.

De acordo com o estudo de Moraes, Claro e Rodrigues (2023) com consulta a especialistas de proteínas alternativas, fatores importantes que impulsionam a inovação neste setor são incentivos fiscais, acesso ao financiamento e os custos de oportunidades. Muitas das barreiras e facilitadores identificados neste estudo se apresentam como questões de interesse público, demandando que organizações e *stakeholders* desenvolvam uma compreensão coletiva sobre os temas mais sensíveis e urgentes que necessitam de ação.

Investir em pesquisa e desenvolvimento para geração de novas tecnologias para os processos fermentativos pode gerar retornos significativos na próxima década (Visão de Futuro..., 2018). O Brasil tem grande potencial de inovação neste setor, com uma estratégia focada e colaborativa, o Brasil estará

bem posicionado para se tornar um líder global nesse mercado emergente, reproduzindo casos de sucesso de desenvolvimento e de liderança do país em setores similares como de biocombustíveis, e reafirmando sua liderança no desenvolvimento de bioeconomia.

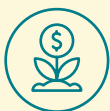
Para o avanço e desenvolvimento dessa nova abordagem da tecnologia de fermentação, recomenda-se, portanto, a disseminação de informações fundamentadas sobre as tecnologias de fermentação para produção de proteínas alternativas, a fim de educar a população e aumentar a aceitação do consumidor. Também é necessário o contínuo investimento em pesquisa e desenvolvimento, com colaborações interdisciplinares, para engajamento e movimentação desta nova cadeia global de valor. Além disso, a implementação de parcerias entre instituições de pesquisa, como universidades, *startups* e empresas, permite que as tecnologias extrapolem as bancadas e atinjam o comércio de maneira efetiva e segura. A escalabilidade da tecnologia será chave para obter-se novos produtos acessíveis e satisfatórios ao consumidor.



Carne análoga feita de micélio - Meati.



Disseminar conteúdos técnicos e promover fóruns de discussões e workshops com diversos atores do ecossistema, abordando as tecnologias de fermentação para a produção de proteínas alternativas com fundamentos científicos, esclarecendo os seus benefícios e identificando as potencialidades e diferenciais competitivos do país nesse setor;



Incentivar e financiar a pesquisa e desenvolvimento na área de fermentações para produção de proteínas no Brasil em universidades e centros de pesquisa. Destacando os tópicos já identificados para superar alguns gargalos da tecnologia:

- Prospeção de novos substratos nacionais de baixo custo, como subprodutos industriais/agroindustriais, e que diversifiquem e reduzam a competição pelas fontes de carbono e nitrogênio já utilizadas;
- Desenvolvimento de rotas tecnológicas para geração eficiente e segura de hidrolisados celulósico/hemicelulósico para utilização na produção de alimentos;
- Prospeção de novos microrganismos e desenvolvimento de chassis microbianos com potencial de produção em escala, também capazes de utilizar diversas fontes de carbono além dos açúcares (álcoois, ácidos orgânicos, metano, CO₂, por exemplo) possibilitando a diversificação de substratos e não competição com a produção de alimentos e outras cadeias;
- Otimização de bioprocessos e redução do uso de recursos como energia e água;
- Reciclo de meio e utilização de subprodutos do processo, desenvolvendo processos no conceito de economia circular;
- Desenvolvimento de processos de *downstream* mais eficientes, com menor custo e menor uso de recursos (energia, água) para fermentação de precisão;
- Estudos de ACV e TEA (*Techno-economic analysis*) com dados da cadeia brasileira para entender os potenciais e pontos de melhoria.



Incentivar o estabelecimento de parcerias entre instituições que possuem infraestrutura para testes piloto e instituições que não possuem, de maneira a estabelecer colaborações que permitam prova de conceito e análise da escalabilidade dos processos - especialmente no caso de *startups* que estejam atravessando o chamado “vale da morte”;

QUADRO 9

***Call to action:* o que pode ser feito para impulsionar esse ecossistema?**

As recomendações listadas são pontos-chave identificados para desenvolver a cadeia de valor da fermentação para produção de proteínas no Brasil



Financiar por meio de subsídios públicos e privados, o desenvolvimento da cadeia de valor da fermentação para produção de proteínas alternativas no Brasil, engajando profissionais de multiáreas;



Engajar as indústrias de fermentação e CMO já estabelecidas no Brasil, ampliando capacidade instalada disponível no país para a produção de proteínas por fermentação;



Engajar as agroindústrias e indústrias de alimentos e bebidas na cadeia de fermentação para produção de proteínas, e estabelecer modelos de cooperação para concessão de seus resíduos e subprodutos para utilização como insumo de meios de cultivo para a fermentação, de forma a incluir a produção de alimentos no conceito de economia circular e biorrefinarias.

Glossário

Alimentos de origem animal

Produtos provenientes de animais. Neste relatório, o termo é usado para se referir a alimentos derivados de animais, como carne bovina, suína, carneiro, aves, frutos do mar, ovos e laticínios.

Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Avaliação dos impactos ambientais de um produto ao longo de todas as fases da sua produção, desde a extração de matérias-primas até o descarte, para informar os impactos ambientais da sua produção.

Biomassa

Matéria orgânica produzida por meio de fermentação, consistindo no próprio microrganismo.

Biomassa lignocelulósica

Material vegetal composto principalmente por três componentes: celulose, hemicelulose e lignina.

Biorreator

Equipamento utilizado em processos de fermentação para controlar as condições ideais de crescimento e produção de microrganismos, como temperatura, umidade, pH etc.

Break even

Também conhecido dentro das empresas como “ponto de equilíbrio”, é o ponto onde as receitas igualam os custos e despesas de um negócio em um período. Nada mais é do que o exato momento em que o balanço do negócio está completamente equilibrado, ou seja, não há prejuízo e nem lucro.

CAPEX

O termo CAPEX (Capital Expenditure ou Despesa de Capital, em português) refere-se aos investimentos que uma empresa faz em ativos fixos. O CAPEX representa o capital utilizado pelas empresas para comprar, implementar, expandir ou substituir ativos físicos como construções, equipamentos, maquinários, instalações e outros ativos.

Carne cultivada

Carne produzida do cultivo de células animais. Isso é feito extraíndo-se células de um animal vivo e cultivando-as em biorreatores. As células podem ser diferenciadas em músculo, gordura ou outros tipos de células para criar produtos que tenham estrutura tridimensional, perfil nutricional e propriedades organolépticas iguais ou semelhantes à carne convencional.

Cepa

Refere-se a uma linhagem específica de microrganismos que são usados para realizar a fermentação.

CRISPR

Tecnologia de edição genética que permite a modificação precisa de sequências de DNA em organismos vivos.

Culturas Iniciadoras ou Starter

Referem-se aos microrganismos específicos adicionados intencionalmente a um meio de fermentação para iniciar e controlar o processo.

Debris celulares

São fragmentos ou resíduos celulares resultantes do processo de rompimentos dos microrganismos após a fermentação.

Downstream

Refere-se às etapas posteriores ao processo de fermentação, abrangendo a recuperação, purificação e formulação dos produtos desejados, como proteínas, após a fermentação.

Economia circular

É um modelo sustentável que visa minimizar o desperdício e otimizar o uso de recursos, promovendo a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais ou resíduos.

Expertise

Habilidade, conhecimento e experiência especializada em uma área específica.

Fermentação

Processo biológico que converte o meio de cultivo rico em nutrientes, como açúcares, em álcool, ácidos, gases, proteínas etc., geralmente realizado por microrganismos como bactérias, leveduras ou fungos.

Fermentação de biomassa

Processo de fermentação onde se visa multiplicar microrganismos, e, posteriormente, utilizar o próprio microrganismo (ou seja, a biomassa celular) como fonte de proteínas e outros constituintes de interesse alimentar.

Fermentação tradicional

Processo no qual são adicionados microrganismos a uma matriz de origem vegetal, visando aprimorar as características sensoriais, aumentar o valor nutricional e melhorar a biodisponibilidade das proteínas por meio da sua multiplicação e da geração de compostos metabólicos.

Fermentação de precisão

Processo que utiliza microrganismos geneticamente modificados para produzir ingredientes funcionais específicos, incluindo proteínas, vitaminas e moléculas de sabor. Estes podem ser utilizados em novos alimentos à base de plantas para melhorar o sabor ou a textura, e em carne cultivada para permitir um crescimento mais eficiente, por exemplo.

High throughput

A Triagem de Alto Desempenho, é um método para descoberta científica onde se utiliza robótica, softwares de processamento/controle de dados, dispositivos de manuseio de líquidos e detectores sensíveis, o que permite que um pesquisador conduza rapidamente uma quantidade maior de testes e acelera a obtenção de resultados e processos otimizados.

Insumo

Elementos utilizados como matérias-primas para produzir alimentos.

Leghemoglobina

Proteína de tipo heme encontrada nas raízes dos nódulos das plantas leguminosas, como a soja. É utilizada em hambúrguer à base de plantas para mimetizar o sabor e suculência da carne convencional.

Machine learning

Ou aprendizado de máquina, é um ramo da Inteligência Artificial que se concentra em criar sistemas que podem aprender a partir de dados. Ao invés de serem programados com regras específicas para executar uma tarefa diretamente, esses sistemas são treinados usando dados e algoritmos que lhes permitem melhorar seu desempenho para realizar seu objetivo. Em outras palavras, o *Machine Learning* permite que computadores aprendam com os dados, sem que precise explicitamente programar essa tarefa.

Micélio

Estrutura de fungos filamentosos formada por longos filamentos de células (hifas) que se ramificam e se entrelaçam.

Micoproteína

Termo que define a proteína derivada de fungos, originado do grego, em que “mico” significa fungo.

Neofobia

Medo ou aversão a novas experiências, como, por exemplo, a recusa em experimentar novos alimentos.

Organismos geneticamente modificados (OGM)

Eles são organismos cujo material genético foi alterado de uma maneira que não ocorre naturalmente por meio de cruzamento ou recombinação natural.

Produção convencional

Referente à produção animal tradicional, que envolve desde a reprodução de animais, alimentação, desenvolvimento, até abate.

Produto convencional

Referente a produtos de origem animal, como carne, leite e ovos.

Produtos derivados da fermentação

Produtos obtidos por processos microbianos, ou seja, pelo cultivo de microrganismos como bactérias, leveduras, microalgas e fungos filamentosos.

Propriedades organolépticas

Propriedades sensoriais como sabor, aroma, textura, umidade, sensação na boca, aparência e cor.

Proteínas alternativas

Fontes de proteína não convencionais (como a animal), sendo muitas vezes de origem vegetal, de cultivo celular, ou de fermentação.

Purificação

Processo de separar e remover impurezas, tais como outros componentes celulares e subprodutos, para obter uma proteína purificada e de alta qualidade.

Resolução RDC Nº 839 (14 de dezembro de 2023, ANVISA)

Resolução que dispõe sobre a comprovação de segurança e a autorização de uso de novos alimentos e novos ingredientes.

Segurança alimentar

Segurança alimentar refere-se à garantia de que todas as pessoas tenham acesso físico, social e econômico a alimentos suficientes, seguros e nutritivos que atendam às suas necessidades dietéticas e preferências para uma vida ativa e saudável.

Single-Cell Oil (SCO)

Óleos produzidos a partir de microrganismos unicelulares, como bactérias, leveduras ou algas.

Single-Cell Protein (SCP)

Proteínas produzidas a partir de microrganismos unicelulares, como bactérias, leveduras ou algas.

Stakeholders

Os stakeholders para a fermentação de proteínas alternativas incluem produtores, consumidores, grupos de interesse específico (defesa do meio ambiente, redução do sofrimento animal, promoção de saúde integral etc.), reguladores e a indústria alimentícia.

Startup

É uma empresa de base tecnológica, com um modelo de negócios repetível, escalável e sustentável, que vive em um cenário de riscos e incertezas. Elas podem atuar em diferentes áreas e mercados, e utilizam a tecnologia como a base para as suas operações. São criadas para solucionar dores ou problemas até então sem solução ou melhorar antigas soluções que já não são tão eficientes. Isso faz com que o desafio para quem está criando o negócio seja muito maior. Outra grande diferença está nos objetivos: enquanto uma empresa tradicional busca uma rentabilidade e valor estável a longo prazo, o foco das *startups* é captar investimentos que lhes permitam consolidar seu modelo de negócio, crescer e aumentar os lucros de forma exponencial.

Upstream

Refere-se à fase inicial do processo de produção, envolvendo etapas como a seleção de microrganismos, preparo de inóculo e o cultivo dos microrganismos no biorreator principal.

Vale da morte

Refere-se ao período crítico na vida de uma *startup* ou de um projeto, no qual a empresa enfrenta grandes dificuldades financeiras e operacionais para transformar uma ideia inovadora em um produto comercial viável.

Vetores de expressão

Ou plasmídeos são sequências circulares de DNA que são usadas como uma ferramenta usada como um veículo para carregar sequências de DNA estrangeiras dentro de uma célula hospedeira. Possibilitam a produção de proteínas diferentes das normalmente geradas pela célula, por meio de um DNA externo. São vetores de clonagem com todos os elementos genéticos que permitem a expressão de proteínas recombinantes.

Referências bibliográficas

ADEBO, J. A. et al. Fermentation of cereals and legumes: Impact on nutritional constituents and nutrient bioavailability. *Fermentation*, Basel, v. 8, n. 2, p. 63, 2022. DOI: 10.3390/fermentation8020063.

AGGELOPOULOS, T. et al. Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production. *Food chemistry*, London, v. 145, p. 710-716, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.105.

AJUSTES NA ÁREA de milho e soja resultam em uma produção de 295,45 milhões de toneladas na safra 2023/2024. Conab, Brasília, DF, 14 maio 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5531-ajustes-na-area-de-milho-e-soja-resultam-em-uma-producao-de-295-45-milhoes-de-toneladas-na-safra-2023-2024>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ALMADA, C. N. et al. Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 58, p. 96-114, 2016.

ALMEIDA, A. D. A.; CONTO, L. C. Lúpulo no Brasil: Uma cultura promissora em ascensão. *Food Science Today*, v. 3, n. 1, n. 1-6. 2024. DOI: 10.58951/fstoday.2024.001

ALTERNATIVE PROTEIN MARKET. Precision Business Insights, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.precisionbusinessinsights.com/market-reports/alternative-protein-market#:~:text=Alternative%20Protein%20Market%20size%20was,through%20the%20way%20of%20fermentation>. Acesso em: 1 fev. 2024.

ALVIM, J. C. et al. Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos. *Journal of bioenergy and food science*, Florianópolis, v. 1, n. 3, p. 61-77, 2014. DOI: 10.18067/jbfs.v1i3.22.

ANEC ELEVA PREVISÕES de exportação de soja, farelo e milho em junho. Forbes Agro, [s. l.], 11 jun. 2024. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2024/06/anec-eleva-previsoes-de-exportacao-de-soja-farelo-e-milho-em-junho/>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ANUPONG, W. et al. Sustainable bioremediation approach to treat the sago industry effluents and evaluate the possibility of yielded biomass as a single cell protein (SCP) using cyanide tolerant *Streptomyces tritici* D5. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 304, 135248 Oct. 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135248.

ARORA, S.; RANI, R.; GHOSH, S. Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*, Amsterdam, v. 269, p. 16-34, Mar. 2018. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.01.010.

AUGUSTIN, M. A. et al. Innovation in precision fermentation for food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Abingdon, v. 64, n. 18, 2023. DOI: 10.1080/10408398.2023.2166014.

AYIVI, R. D. et al. Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, Basel, v. 1, n. 3, p. 202-232, 2020. DOI: 10.3390/dairy1030015.

BALA, S. et al. Transformation of Agro-Waste into Value-Added Bioproducts and Bioactive Compounds: Micro/Nano Formulations and Application in the Agri-Food-Pharma Sector. *Bioengineering*, Basel, v. 10, n. 2, 1522023, Feb. 2023. DOI: 10.3390/bioengineering10020152.

BANKS, M. et al. Industrial production of microbial protein products. *Current Opinion in Biotechnology*, Amsterdam, v. 75, 102707, June 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102707>.

BANOVIC, M.; GRUNERT, K. G. Consumer acceptance of precision fermentation technology: A cross-cultural study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Amsterdam, v. 88, 103435, Aug. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103435>.

BEHRENS, J. H.; ROIG, S. M.; SILVA, M. Fermentation of soymilk by commercial lactic cultures: development of a product with market potential. *Acta Alimentaria*, v. 33, n. 2, p. 101-109, 2004. DOI: 10.1556/aalim.33.2004.2.2.

BONNY, S. P. F. et al. What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry? *Journal of Integrative Agriculture*, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 255-263, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60888-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60888-1).

CAPES DESTACA A necessidade de investimentos públicos e privados em ciência. Capes, Brasília, DF, 25 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/ciencia-precisa-de-investimentos-publicos-e-privados-destaca-capes>. Acesso em: 7 jun. 2024.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Bioeconomia no Brasil e no mundo: panorama da produção científica. Brasília, DF: CGEE, 2021. Boletim Temático da Bioeconomia. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/6917123/CGEE_OBio_bol-tem-bio.pdf. Acesso em: 8 nov. 2024.

CHOI, K. R.; YU, H. E.; LEE, S. Y. Microbial food: microorganisms repurposed for our food. *Microbial biotechnology*, Hoboken, v. 15, n. 1, p. 18-25, 2022. DOI: 10.1111/1751-7915.13911.

DAHIYA, Divakar; NIGAM, Poonam Singh. Probiotics, prebiotics, synbiotics, and fermented foods as potential biotics in nutrition improving health via microbiome-gut-brain axis. *Fermentation*, Basel, v. 8, n. 7, p. 303, 2022. DOI: 10.3390/fermentation8070303.

DECKERS, M. et al. Genetically modified microorganisms for industrial food enzyme production: An overview. *Foods*, Basel, v. 9, n. 3, 326, 2020. DOI: 10.3390/foods9030326.

DEMIRGUL, F. et al. Amino acid, mineral, vitamin B contents and bioactivities of extracts of yeasts isolated from sourdough. *Food Bioscience*, Berlin, v. 50, Part A, 102040, 2022. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.102040. Disponível em: <https://www.rethinkx.com/food-and-agriculture>. Acesso em: 6 fev. 2024.

DIWAN, B.; GUPTA, P. Lignocellulosic Biomass to Fungal Oils: A Radical Bioconversion Toward Establishing a Prospective Resource. In: YADAV, A. et al. (ed.). *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*. Berlin: Springer, 2019. p. 407-440. DOI: 10.1007/978-3-030-14846-1_14.

DURKIN, A. et al. Can closed-loop microbial protein provide sustainable protein security against the hunger pandemic? *Current Research in Biotechnology*, Amsterdam, v. 4, p. 365-376, 2022. DOI: 10.1016/j.crbiot.2022.09.001.

EASTHAM, J. L.; LEMAN, A. R. Precision fermentation for food proteins: ingredient innovations, bioprocess considerations, and outlook – a mini-review. *Current Opinion in Food Science*, Amsterdam, v. 58, 101194, Aug. 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799324000729?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8df835b2392e27ef. Acesso em: 8 nov. 2024.

ETTINGER, J. Nestlé Swaps Out Cow's Milk for Perfect Day's Precision Fermentation in Cowabunga. *Green Queen*, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.greenqueen.com.hk/nestle-perfect-day-precision-fermentation-cowabunga/>. Acesso em: 1 fev. 2024.

FASOLIN, L. H. et al. Emergent food proteins—Towards sustainability, health and innovation. *Food Research International*, Amsterdam, v. 125, 108586, Nov. 2019. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108586.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Methods for Estimating Greenhouse Gas – Emissions from Food Systems – Part III: Energy Use in Fertilizer Manufacturing, Food Processing, Packaging, Retail and Household Consumption. Rome: Food and Agriculture Organization, 2021. p. 71.

GLIENKE, C. et al. Microbiological Collections in Brazil: Current Status and Perspectives. *Diversity*, Basel, v. 16, n. 2, 1162024, Jan 2024. DOI: 10.3390/d16020116.

GOOD FOOD INSTITUTE BRASIL. O consumidor brasileiro e o mercado plant-based. [S. l.]: GFI Brasil, 2021. Disponível em: <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2021/02/O-consumidor-brasileiro-e-o-mercado-plant-based.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE BRASIL. Série Tecnológica das Proteínas Alternativas: fermentação e processos fermentativos. São Paulo: Tiki Books; GFI Brasil, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22491/fermentacao-processos>. Acesso em: 19 fev. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. 2022 State of the Industry Report – Fermentation: Meat, seafood, eggs and dairy. Washington, DC: GFI, 2022a. Disponível em: <https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/2022-Fermentation-State-of-the-Industry-Report-1.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. 2023 State of the Industry Report – Fermentation: Meat, seafood, eggs and dairy. Washington, DC: GFI, 2023a. Disponível em: <https://gfi.org/resource/fermentation-state-of-the-industry-report/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. Manufacturing capacity landscape and scaling strategies for fermentation-derived protein. Washington, DC: GFI, 2023b. Disponível em: <https://gfi.org/resource/fermentation-manufacturing-capacity-analysis/>. Acesso em 29 de abril de 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. The State of Global Policy on Alternative Proteins. Washington, DC: GFI, 2022b. Disponível em: https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/State-of-Global-Policy-Report_2022.pdf. Acesso em: 19 fev. 2024.

GRAHAM, A. E.; LEDESMA-AMARO, R. The microbial food revolution. *Nature Communications*, London, v. 14, n. 1, 2231, 2023. DOI: 10.1038/s41467-023-37891-1.

GUPTA, G. K. Microbial enzyme bioprocesses in biobleaching of pulp and paper: technological updates. *Microbial Bioprocesses Applications and Perspectives Progress in Biochemistry and Biotechnology*, Amsterdam, p. 319-337, 2023. DOI: 10.1016/B978-0-323-95332-0.00009-0.

- GUPTA, S.; LEE, J. J. L.; CHEN, W. N. Analysis of Improved Nutritional Composition of Potential Functional Food (Okara) after Probiotic Solid-State Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], v. 66, n. 21, p. 5373-5381, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b00971.
- HAMELIN, L.; CELLIER, C. Life Cycle Assessment of animal-free whey protein production by fermentation. [S. l.: s. n.], Dec. 2022. LCA Report Version, v. 1. Disponível em: <https://bonvivant-food.com/wp-content/uploads/2023/09/Copy-of-LCA-Report-VF-Bon-Vivant-Confidential.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2024.
- HARPER, A. R. et al. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, Hoboken, v. 15, n. 5, p. 1404-1421, 2022. DOI: 10.1111/1751-7915.14008.
- HASHEMPOUR-BALTORK, F. et al. Mycoproteins as safe meat substitutes, *Journal of Cleaner Production*, v. 253, 119958, April 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.119958.
- JÄRVIÖ, N. et al. An attributional life cycle assessment of microbial protein production: a case study on using hydrogen-oxidizing bacteria. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 776, 145764, July 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145764.
- KALE, P.; MISHRA, A.; ANNAPURE, U. S. Development of vegan meat flavour: A review on sources and techniques. *Future Foods*, Basel, v. 5, 100149, 2022. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100149.
- KARATAY, G. G. B.; AMBIEL, C. Aspectos nutricionais dos alimentos vegetais análogos à carne no mercado brasileiro: resumo técnico. São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2024.
- KIM, J. et al. Properties of alternative microbial hosts used in synthetic biology: towards the design of a modular chassis. *Essays in Biochemistry*, London, v. 60, n. 4, p. 303-313, Nov. 2016. DOI: 10.1042/EBC20160015.
- KNYCHALA, M. M. et al. Precision Fermentation as an Alternative to Animal Protein, a Review. 2024. Preprint, [s. l.], 1 May 2024. DOI: 10.20944/preprints202405.0005.v1.
- KOBAYASHI, Y. et al. Life-cycle assessment of yeast-based single-cell protein production with oat processing side-stream. *Science of The Total Environment*, Amsterdam, v. 873, 16231815, May 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162318.
- LACERDA, D. Cientistas descobrem novas leveduras e homenageiam pesquisadores brasileiros. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 26 set. 2023. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/cientistas-descobrem-novas-leveduras-e-homenageiam-pesquisadores-brasileiros>. Acesso em: 7 fev. 2024.
- LATIF, A. et al. Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 17, 14:1216674, Aug. 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1216674.
- LEBLANC, J. G. et al. B-Group vitamin production by lactic acid bacteria—current knowledge and potential applications. *Journal of Applied Microbiology*, Oxford, v. 111, n. 6, p. 1297-1309, 2021. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.05157.x.
- LIMA, P. A. A natureza do produto e modelos de negócio na bioeconomia: estudo de caso Amyris. 2019. Dissertação (Mestrado na Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

LUPETTI, C.; CASSELLI, R. Olhar 360° sobre o consumidor brasileiro e o mercado plant-based 2023/2024. São Paulo: Tikbooks; The Good Food Institute, 2024. E-book. Disponível em: <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2024/05/Pesquisa-de-Consumidor-2023-2024-GFI-Brasil.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.

MADHUSHAN, K. W. A. et al. Microbial production of amino acids and peptides. In: KUMAR, R. (ed.). Biorationals and Biopesticides: pest management. Berlin: De Gruyter, 2024. p. 295-334. DOI: 10.1515/9783111204819-015.

MAGALHÃES, C. E. B. et al. Candida tropicalis able to produce yeast single cell protein using sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate as carbon source. Biotechnology Research and Innovation, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 19-21, 2018. DOI: 10.1016/j.biori.2018.08.002.

MANNA, M. et al. Evolution of food fermentation processes and the use of multi-omics in deciphering the roles of the microbiota. Foods, Basel, v. 10, n. 11, 2861, 2021. DOI: 10.3390/foods10112861.

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA alcança 200 GW. Aneel, Brasília, DF, 7 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 8 nov. 2024.

MELLO, A. F. M. et al. Strategies and engineering aspects on the scale-up of bioreactors for different bioprocesses. Systems Microbiology and Biomanufacturing, Berlin, v. 4, p. 365-385, 2024. DOI: 10.1007/s43393-023-00205-z.

MILANEZ, A. Y.; SOUZA, J. A. P. D.; MANCUSO, R. V. Panoramas setoriais 2030: sucroenergético. In: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. p. 107-121.

MORAES, C. C.; CLARO, P. B.; RODRIGUES, V. P. Why can't the alternative become mainstream? Unpacking the barriers and enablers of sustainable protein innovation in Brazil. Sustainable Production and Consumption, Amsterdam, v. 35, p. 313-324, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2022.11.008.

NEWTON, P. et al. Price above all else: An analysis of expert opinion on the priority actions to scale up production and consumption of plant-based meat in Brazil. Frontiers in Sustainable Food Systems, [s. l.], v. 8, 2024. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1303448.

NG'ONG'OLA-MANANI, T. A. et al. Sensory evaluation and consumer acceptance of naturally and lactic acid bacteria-fermented pastes of soybeans and soybean-maize blends. Food science & nutrition, Hoboken, v. 2, n. 2, p. 114-131, 2014. DOI: 10.1002/fsn3.82.

NIELSEN, M. B.; MEYER, A. S.; ARNAU, J. The Next Food Revolution Is Here: Recombinant Microbial Production of Milk and Egg Proteins by Precision Fermentation. Annual Review of Food Science and Technology, San Mateo, v. 15, 2023. DOI: 10.1146/annurev-food-072023-034256.

OCHSENREITHER, K. et al. Production Strategies and Applications of Microbial Single Cell Oils, Frontiers in Microbiology, Lausanne, v. 7, 2016. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01539.

PAIVARINTA, E. et al. Replacing animal-based proteins with plant-based proteins changes the composition of a whole Nordic diet—a randomised clinical trial in healthy Finnish adults. Nutrients, Basel, v. 12, n. 4, 943, 2020. DOI: 10.3390/nu12040943.

PIQUÉ, N.; BERLANGA, M.; MIÑANA-GALBIS, D. Health Benefits of Heat-Killed (Tyndallized) Probiotics: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 20, n. 10, 2534, 2019.

PROJEÇÕES PARA O ciclo 2024 da soja seguem sem grandes alterações. Abiove, [s. l.], 9 maio 2024. Disponível em: <https://abiove.org.br/projecoes-para-o-ciclo-2024-da-soja-seguem-sem-grandes-alteracoes/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20do%20farelo%20de,%C3%B3leo%20em%2011%20milh%C3%B5es%20t.&text=O%20processamento%20do%20m%C3%AAs%20de,amostral%20de%2089%2C8%25>. Acesso em: 7 jun. 2024.

REGONESI, G. BIOREACTORS: A Complete Review. Istanbul: MicroalgaeX Innovation Center, Aug. 2023. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.2.11630.79685.

REIS, G. G. et al. Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. *Technology in Society*, Amsterdam, v. 62, 101286, Aug. 2020. DOI: 10.1016/j.techsoc.2020.101286.

RICE, D. et al. Transforming Plant-Based Alternatives by Harnessing Precision Fermentation for Next Generation Ingredients. Amsterdam: Elsevier BV, 2024.

RISNER D. et al. A techno-economic model of mycoprotein production: achieving price parity with beef protein. *Frontiers in Sustainable Food System*, [s. l.], v. 7, 1204307, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1204307.

RUBIO, N.R., XIANG, N. & KAPLAN, D.L. Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nat Commun*, 11, 6276, 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-20061-y.

SCHWEIGGERT-WEISZ, U. et al. Food proteins from plants and fungi. *Current Opinion in Food Science*, Amsterdam, v. 32, p. 156-162, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.cofs.2020.08.003.

SHI, Y. et al. Lactic acid fermentation: A novel approach to eliminate unpleasant aroma in pea protein isolates. *LWT*, Amsterdam, v. 150, 111927, Oct. 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111927.

SICILIANO, R. A. et al. Paraprobiotics: A New Perspective for Functional Foods and Nutraceuticals. *Nutrients*, Basel, v. 13, n. 4, 1225. DOI: 10.3390/nu13041225.

SILLMAN, J. et al. A life cycle environmental sustainability analysis of microbial protein production via power-to-food approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Berlin, v. 25, n. 11, p. 2190-2203, 2020. DOI: 10.1007/s11367-020-01771-3.

SINGH, S. et al. Cultured meat production fuelled by fermentation. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 120, p. 48-58, 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.12.028.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Estimativa de emissões de gases de efeito estufa dos sistemas alimentares no Brasil. [S. l.]: SEEG, 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/10/SEEG-Sistemas-Alimentares.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.

SLUSARCZYK, J.; ADAMSKA, E.; CZERWIK-MARCINKOWSKA, J. Fungi and algae as sources of medicinal and other biologically active compounds: A review. *Nutrients*, Basel, v. 13, n. 9, 3178, 2021. DOI: 10.3390/nu13093178.

TAVERNITI, V.; GUGLIELMETTI, S. The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: Proposal of paraprobiotic concept). *Genes & Nutrition*, London, v. 6, p. 261-274, 2011.

TENG, T. S. et al. Fermentation for future food systems. *EMBO Reports*, [s. l.], v. 22, e52680, 2021. DOI: 10.15252/embr.202152680.

THE SCIENCE OF fermentation (2024). Good Food Institute, Washington, DC, 2024. Disponível em: <https://gfi.org/science/the-science-of-fermentation/#h-target-selection-and-design>. Acesso em: 8 nov. 2024.

TOLEDO, T. Matriz Energética Brasileira. Flourish, [s. l.], 15 Oct. 2020. Disponível em: <https://public.flourish.studio/story/592426/>. Acesso em: 8 nov. 2024.

TUBB, C.; SEBA, T. Rethinking Food and Agriculture 2020-2030. [S. l.], RethinkX, 2019.

UNITED NATIONS. Global Sustainable Development Report Advance – unedited version, n. 1–24, June 2023b. [S. l.]: UN, 2023. Disponível em: <https://sdgs.un.org/gsdr/gsdr2023>. Acesso em: 20 abr. 2024.

UNITED NATIONS. Outcome of the first global stocktake. New York: UN, 2023a. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_L17_adv.pdf. Acesso em: 20 abr. 2024.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. Technology and Innovation Report 2023: Opening green windows – Technological opportunities for a low-carbon world. [S. l.]: UNCTAD, 2023. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2023_en.pdf. Acesso em: 8 nov. 2024.

UNITED NATIONS. What's cooking? An assessment of the potential impacts cooking of selected novel alternatives to conventional animal products. Nairobi: UN, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44236>. Acesso em: 20 abr. 2024.

UNITED NATIONS. World Population Prospects 2022. New York: UN, 2022. Disponível em: www.un.org/development/desa/pd/. Acesso em: 20 abr. 2024.

UPCRAFT, T. et al. Protein from renewable resources: mycoprotein production from agricultural residues. *Green Chemistry*, [s. l.], v. 23, 5150, June 2021. DOI: 10.1039/d1gc01021b.

VILELLA, J.; HOFSETZ, K. Bagaço de cana-de-açúcar no Brasil: produção e disponibilidade no cenário atual. 2019. In: CONGRESSO DE PROJETOS DE APOIO À PERMANÊNCIA DE ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO DA UNICAMP, 2., 2019, Campinas. Anais eletrônicos [...] Campinas: Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/permanencia-2019/trabalhos/bagaco-de-cana-de-acucar-no-brasil-producao-e-disponibilidade-no-cenario-atual?lang=pt-br>. Acesso em: 14 Jun. 2024.

VISÃO DE FUTURO do agro brasileiro. Embrapa, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/visao-de-futuro>. Acesso em: 8 nov. 2024.

WATROUS, M. Alternative Protein Investments Decline in Line with Market Trends. *Food Business News*, Washington, DC, 2023. Disponível em: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/23717-alternative-protein-investments-decline-in-line-with-market-trends>. Acesso em: 8 fev. 2024.

WOICIECHOWSKI, A. L. et al. Emprego de resíduos agroindustriais em bioprocessos alimentares. In: BICAS, J. L.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. (ed.). Biotecnologia de alimentos. Rio de Janeiro: Atheneu, 2013. v. 1, p. 143-171. DOI: 10.13140/RG.2.1.1508.7529.

ZOLLMAN THOMAS, O.; BRYANT, C. Don't have a cow, man: consumer acceptance of animal-free dairy products in five countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, [s. l.], v. 5, 678491, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.678491.

The Good Food Institute Brasil

Alexandre Cabral

VICE-PRESIDENTE EXECUTIVO

Alysson Soares

ESPECIALISTA EM POLÍTICAS PÚBLICAS

Amanda Leitolis, Ph.D.

ESPECIALISTA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ana Carolina Rossettini

GERENTE DE DESENVOLVIMENTO E ESTRATÉGIA

Ana Paula Rossettini

ANALISTA DE RECURSOS HUMANOS

Bruno Filgueira

ANALISTA DE ENGAJAMENTO CORPORATIVO

Camila Nascimento

ANALISTA DE OPERAÇÕES E FINANÇAS PLENO

Camila Lupetti

ESPECIALISTA EM INTELIGÊNCIA DE MERCADO DE ENGAJAMENTO CORPORATIVO

Cristiana Ambiel, MS.

DIRETORA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Fabio Cardoso

ANALISTA DE COMUNICAÇÃO

Gabriela Garcia, MS.

ANALISTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Gabriel Mesquita

ANALISTA EM ESG DE ENGAJAMENTO CORPORATIVO

Graziele Grossi Bovi Karatay, Ph.D.

ESPECIALISTA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Guilherme de Oliveira

ESPECIALISTA EM INOVAÇÃO DE ENGAJAMENTO CORPORATIVO

Gustavo Guadagnini

PRESIDENTE

Isabela Pereira MS.

ANALISTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Julia Cadete

ANALISTA DE OPERAÇÕES

Karine Seibel

GERENTE DE OPERAÇÕES

Lorena Pinho, Ph.D.

ANALISTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Luciana Fontinelle, Ph.D.

ESPECIALISTA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Lívia Brito, MS.

ANALISTA DE COMUNICAÇÃO

Manuel Netto

ANALISTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Mariana Bernal, MS.

ANALISTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Mariana Demarco, Ph.D.

ANALISTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Patrícia Santos

ASSISTENTE EXECUTIVA

Raquel Casselli

DIRETORA DE ENGAJAMENTO CORPORATIVO

Vinícius Gallon

GERENTE DE COMUNICAÇÃO



Todo o trabalho desenvolvido pelo GFI é oferecido gratuitamente à sociedade e só conseguimos realizá-lo pois contamos com o suporte de nossa família de doadores. Atuamos de maneira a maximizar as doações de nossa comunidade de apoiadores, buscando sempre a maior eficiência na utilização dos recursos.

-  [GFI.ORG.BR](https://gfi.org.br)
-  GFIBR@GFI.ORG
-  [INSTAGRAM](#)
-  [TIKTOK](#)
-  [YOUTUBE](#)
-  [LINKEDIN](#)

Ajude a construir uma cadeia de alimentos mais justa, segura e sustentável.

Doe para o GFI Brasil