

CARNE VEGETAL E CULTIVADA: NOVAS ALTERNATIVAS À CARNE TRADICIONAL

Artur Yabe Milanez

Guilherme Baptista da Silva Maia

Diego Duque Guimarães

*Cleiton Leandro Alves Ferreira**

Palavras-chave: Agroindústria. Carne vegetal. Carne cultivada.

* Respectivamente, gerente, economistas e estagiário do Departamento do Complexo Agroalimentar e de Biocombustíveis da Área de Indústria, Serviços e Comércio Exterior do BNDES. Agradecemos ao editor pelas contribuições ao aprimoramento do texto. Os erros e as omissões porventura remanescentes são de inteira responsabilidade dos autores.

PLANT-BASED AND CELL-BASED MEAT: NEW ALTERNATIVES TO TRADITIONAL MEAT

Artur Yabe Milanez

Guilherme Baptista da Silva Maia

Diego Duque Guimarães

*Cleiton Leandro Alves Ferreira**

Keywords: Agroindustry. Plant-based meat. Cell-based meat.

* Respectively, sectoral manager, economists and intern at the Department of Biofuels and Agrofood Complex of BNDES' Industry, Service and Foreign Trade Unit. We would like to thank the editor for his valuable contributions to improve the text. Any remaining errors and omissions are the authors' sole responsibility.

Resumo

A necessidade de elevar a produção de alimentos tem colocado uma pressão cada vez maior sobre a utilização de recursos naturais, aumentando a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa. Diante dos crescentes impactos ambientais, surgem soluções, sobretudo no que se refere à produção de proteína animal, segmento particularmente importante no Brasil. A carne vegetal, feita a partir de proteínas vegetais, e a carne cultivada, feita a partir de células animais reproduzidas em laboratório, buscam ser alternativas que preservem os aspectos sensoriais (sabor, odor e textura) e os valores nutricionais da carne tradicional, tendo, ainda, várias vantagens em termos ambientais. Este artigo busca resenhar essas opções, avaliando seus mercados atuais e seus potenciais de expansão.

Abstract

The need for food production growth has increasingly pressured producers to use more natural resources, raising the concern with greenhouse gas emissions. Given the increasing environmental impacts, alternative solutions have emerged, especially regarding meat production, a particularly important segment in Brazil. Plant-based meat, made from plant proteins, and cell-based meat, made from animal cells reproduced in laboratory, intend to be alternatives that preserve the sensory sensations (flavor, odor and texture) and nutritional values of traditional meat, while presenting several environmental advantages. This paper discuss these options by evaluating their current markets and future expansion.

Introdução

Estimativas indicam que a população humana deve chegar a dez bilhões de pessoas em 2050 e, nesse contexto, o aumento da produção de alimentos se caracteriza como um enorme desafio (OECD; FAO, 2022).

Investimentos em inovação em aprimoramento genético, novos fertilizantes, sementes e defensivos, máquinas e equipamentos, uso de internet das coisas (IoT) – além de outros processos que buscam incentivar a agropecuária de baixo carbono, elevar a produtividade e otimizar o uso dos recursos naturais – têm sido feitos pela cadeia produtiva de proteína animal. Os resultados, embora positivos, são incrementais, com ligeiras elevações da produtividade.

Projeta-se que, ao longo do decênio, haja aumento dos rebanhos e maior produtividade devido ao aperfeiçoamento das técnicas de criação, a melhores formulações de ração e ao aumento do peso médio de abate. O aumento na produção mundial de proteína animal será liderado pelo crescimento da produção avícola, que representará 41% da produção em 2030, seguida pela suína, com 34% da produção no mesmo ano. Desse modo, a produção de proteína animal ao longo do período tende a crescer 48 milhões de toneladas, atingindo, em 2031, 377 milhões de toneladas. Globalmente, a maior parte do crescimento da produção de carne ocorrerá na China, nos Estados Unidos, no Brasil e na Índia, o que representará 56% da produção adicional (OECD; FAO, 2022).

O atingimento dessa produção se dará com enormes pressões sobre os recursos naturais e sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) – inicialmente pela escassez crescente de terras disponíveis para a produção agropecuária, que leva à ocupação de novas terras, agravando o desmatamento

e gerando impactos ambientais sérios, como o aquecimento global e a redução da biodiversidade. O uso intensivo da terra causou impactos em sua produtividade e na disponibilidade de água doce. Essa restrição de recursos naturais tem ocasionado dificuldades cada vez maiores em aumentar ou mesmo manter a produtividade agrícola.

Cerca de 46% da atual produção de grãos mundial são utilizados para alimentar os rebanhos de animais (1,4 bilhão de bovinos, 1 bilhão de suínos, 1,9 bilhão de caprinos e 20 bilhões de aves). A produção de grãos destinada diretamente ao consumo humano é de apenas 37% do total. O restante destina-se à produção de biocombustíveis e diversos outros itens (OECD; FAO, 2022).

Do ponto de vista do consumidor, a criação de animais de abate vem sendo crescentemente criticada por um conjunto de motivos. Em primeiro lugar pela compreensão dos seus impactos no meio ambiente. Há também crescente preocupação com o bem-estar animal: a ideia de criar animais em processos “industriais” para abate e consumo humano vem gerando cada vez mais polêmica. Questões relacionadas à saúde pública, como o uso indiscriminado de antibióticos para os animais de abate, o que reduz sua eficácia como medicamento e causa efeitos não inteiramente determinados, também são focos de preocupação. Até mesmo a ocorrência de fatores exógenos, tais como a pandemia de Covid-19, gerou impactos, pois ajudou a difundir o medo de doenças oriundas do consumo de produtos de origem animal, como a doença da vaca louca.

Nesse contexto, problemas de expansão da produção, mudanças climáticas e novas percepções dos consumidores são fatores que têm levado à busca de alternativas ao consumo de carne animal. Produtos veganos e vegetarianos (que incluem não apenas vegetais, mas ingredientes de origem animal, como leite, ovos e mel) são tradicionais, contudo, têm alcance limitado, visto que atingem uma parcela pequena dos consumidores.

Proteínas de insetos são rejeitadas por grande parte dos consumidores, notadamente os ocidentais, devido à textura e ao sabor.

Há duas alternativas que têm potencial disruptivo, pois seriam substitutas da carne tradicional, com textura e sabor similares e possibilidade de ganhos de escala na produção. A chamada carne vegetal (*plant-based meat*) e a carne cultivada (*cell-based meat*), esta última obtida da multiplicação de células animais em laboratório. Este artigo busca entender essas alternativas, resenhando o atual estado da arte das tecnologias, as vantagens em relação às proteínas animais, o mercado atual e potencial. Posteriormente, são feitas considerações sobre políticas públicas e tecidos alguns comentários finais.

Carne vegetal

O consumo de vegetais como alimentos substitutos aos de origem animal é algo existente há séculos (tofu, tempeh, carne de soja e carne de glúten são exemplos). Recentemente, um novo tipo de composto de vegetais que busca reproduzir os aspectos sensoriais e igualar o valor nutricional do consumo de carne animal vem sendo desenvolvido. Esses novos produtos buscam reproduzir, a partir de um composto 100% vegetal, a carne bovina, suína, de aves, de peixes e mesmo de frutos do mar. Assim como o produto de origem animal, a alternativa vegetal (*plant-based*) é composta de proteínas, gordura, vitaminas, minerais e água.

Até recentemente, o mercado para esses produtos era restrito a vegetarianos e veganos. Esse nicho de mercado tem se ampliado pela expansão do flexitarianismo, isto é, pessoas que seguem uma dieta essencialmente vegetal, mas ocasionalmente consomem produtos de origem animal.

Contudo, o potencial de mercado é significativamente maior por causa dos fatores anteriormente citados, como a crescente preocupação com o meio ambiente, com a saúde e com o bem-estar animal. Para atingir o público em geral, que aprecia a experiência sensorial no consumo de carne animal, é necessário desenvolver produtos à base de vegetais que reproduzam a textura e os sabores de produtos de origem animal. Tem-se observado grande crescimento do consumo da carne vegetal, notadamente na forma de embutidos e hambúrgueres, já amplamente comercializados na maioria dos mercados locais.¹

O desenvolvimento da carne vegetal envolve alguns desafios. A biomimética² tem sido utilizada na busca de inspiração na natureza para gerar inovações que possam mimetizar os processos naturais. Embora a proteína e os componentes nutricionais da carne animal possam ser encontrados em vegetais, distintas espécies têm diferentes tipos de proteínas que devem ser combinadas de forma a simular o produto de origem animal (GOOD FOOD INSTITUTE, [200-]).

Há, ainda, problemas na textura, que é fruto da distribuição espacial das proteínas. Na carne animal, os “blocos de proteína” oferecem uma concentração otimizada de aminoácidos (AA) que garantem o sabor, a textura e a capacidade nutricional do produto. Em sua forma original, as matérias-primas vegetais não têm todos os AA necessários, além de serem de digestão mais difícil. A combinação de distintos vegetais, a utilização de grãos varietais selecionados, a retirada de impurezas e a hidrólise proteica são formas de contornar esse problema. Em geral,

1 Outra alternativa à carne vegetal é a proteína produzida por fungos ou mucoproteína. A produção se dá por meio da fermentação aeróbica e adição de substratos (hidratos de carbono). Depois de um processo de purificação, se submete a proteína resultante à vaporização, à refrigeração e ao congelamento. O resultado é uma estrutura semelhante à carne animal. Ver Nóbrega (2022).

2 A biomimética é uma área da ciência que tem por objetivo o estudo das estruturas biológicas e das suas funções, procurando aprender com a natureza suas estratégias e soluções e utilizar esse conhecimento em diferentes domínios da ciência.

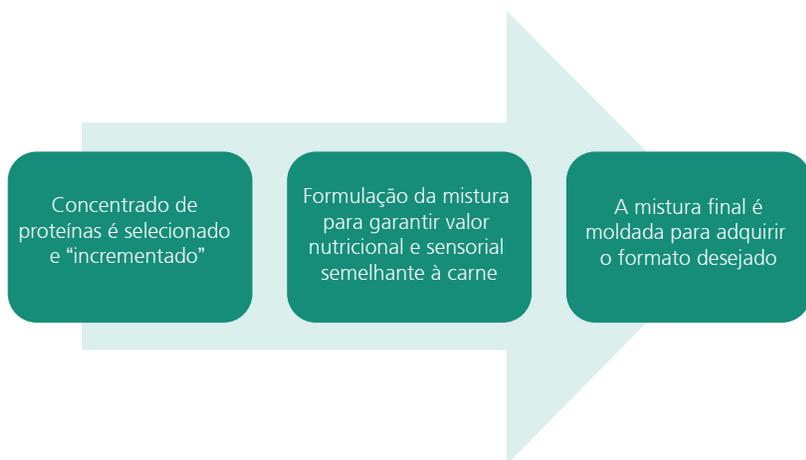
quanto maior a digestibilidade do produto, melhor é a qualidade da proteína (GOOD FOOD INSTITUTE, [200-]).

Dois tipos de proteína são importantes na comparação entre os produtos de origem vegetal e animal, as proteínas fibrosas e globulares. As proteínas fibrosas estão organizadas na forma de fibras ou lâminas (como em tecidos e músculos), com as cadeias de aminoácidos dispostas paralelamente e repetidas. Já as proteínas globulares são estruturas em formato de esfera, com sequências irregulares de AA.

De forma geral, as proteínas de origem animal são fibrosas e as de origem vegetal são globulares. Assim, as proteínas vegetais necessitam de processamento para mimetizar a estrutura fibrosa das carnes de origem animal. Essa dificuldade faz as carnes vegetais ofertadas atualmente terem a forma de carne processada, como nos hambúrgueres, sendo necessário maior aprimoramento tecnológico para que seja possível reproduzir, com maior exatidão, cortes maiores (GOOD FOOD INSTITUTE, [200-]).

São três passos principais para a produção da carne vegetal. Em primeiro lugar, a escolha e a colheita da matéria-prima – momento em que são frequentemente selecionados vegetais com elevado teor de proteína, tais como soja, ervilha, lentilha, grão-de-bico e tremoços. A seguir, se busca a otimização dos ingredientes para gerar a mistura desejada de proteínas, gordura e fibras. Por fim, é feito o processamento da mistura para reproduzir o sabor e a textura da carne animal. A Figura 1 representa esse processo.

Figura 1 | Principais etapas do processo produtivo da carne vegetal



Fonte: Elaboração própria, com base em Good Food Institute ([200-]).

Uma das maiores dificuldades de expansão da produção é o fato de que as plantações não são “dedicadas” a fornecer insumos para a carne vegetal. Assim, algumas matérias-primas nem sempre estão disponíveis para a indústria, que passa a administrar limitadas opções de fontes e tipos de vegetais entre os comercialmente ofertados. Vale ainda ressaltar que as colheitas não são escolhidas para permitir as combinações de vegetais necessárias para compor a carne vegetal, ocasionando desarmonia entre oferta e procura.

Carne cultivada

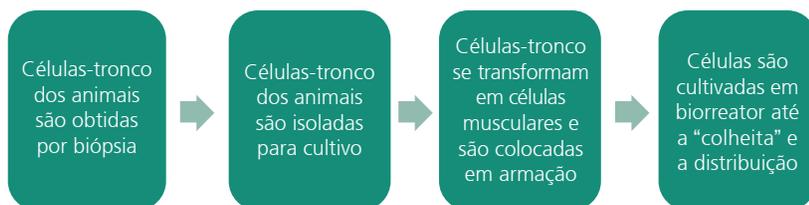
A produção da carne cultivada teve de enfrentar o desafio de replicar o ambiente para o crescimento de células, processo que depende de ampla compreensão biológica, física e química do desenvolvimento do tecido animal.

A carne cultivada é produzida diretamente de células animais. O primeiro passo é selecionar uma amostra de células-tronco por meio de uma biópsia, o que pode acarretar algum desconforto animal. A caracterização das células que serão a origem do processo deve ser rigorosa, pois sua capacidade replicativa dependerá de sua procedência, funcionalidade e de análises fenotípicas e genotípicas (MEDEIROS; DIAS; MALAFAIA, 2021).

A partir da proliferação das células será obtida uma densidade desejada, que, em grande parte, garantirá a progressão para o processo de diferenciação celular. A transformação das células se dá pela utilização de moléculas sinalizadoras (*signaling molecules*), que, ao se ligarem às moléculas receptoras, induzem as células-tronco a se transformarem em células musculares. As células são alimentadas por nutrientes, essencialmente aminoácidos e glicose, para se replicarem. Os nutrientes podem ser extraídos, por exemplo, de plantas e biomassas.³

A manipulação do formato e da densidade das células poderá reproduzir a experiência sensorial associada ao consumo da carne animal. Para atingir esse objetivo, as células são agrupadas em armações ou estruturas de suporte (*scaffolds*) nas quais elas possam se aderir ao se multiplicarem nos biorreatores. A sequência padrão de produção está representada na Figura 2.

3 A mesma tecnologia pode ser utilizada para produzir outros produtos de origem animal, tais como couro, gelatina etc.

Figura 2 | Principais etapas do processo produtivo da carne cultivada

Fonte: Elaboração própria com base em Medeiros, Dias e Malafaia (2021).

O primeiro hambúrguer de carne cultivada foi produzido utilizando células bovinas em 2013, na Universidade de Maastricht, pela equipe do professor Mark Post. Seu custo, à época, foi de 200 mil euros. Com o desenvolvimento tecnológico, o mesmo hambúrguer poderia ser produzido em 2019 por 9 euros (PORTO; BERTI, 2022).

A despeito dos desenvolvimentos recentes, a produção de carne cultivada ainda tem muitos desafios a superar antes de estar apta a ofertar um produto competitivo aos consumidores. Atualmente, é possível produzir fibras musculares desalinhas, ainda distintas do músculo real. A diversidade dos músculos é um fator adicional de complexidade. Nervos, gorduras intramusculares, tecidos conjuntivos e vasos sanguíneos definem a experiência sensorial de comer carne.

Reproduzir o valor nutricional da carne também é um desafio, visto que alguns nutrientes são resultantes do metabolismo do animal e não são produzidos no processo de multiplicação das células. A adição de ingredientes na fase final do processo pode contornar essa questão.

A superação desses problemas exige uma complexidade tecnológica que envolve diversos conhecimentos. É necessária a interação de técnicas

elaboradas de cultivo celular, biologia molecular, biomateriais, bioquímica, bioinformática e engenharias diversas (de alimentos, materiais etc.)

Vantagens socioambientais

Na comparação das carnes vegetal e cultivada com a tradicional, alguns pontos devem ser ressaltados. Na elaboração dessas carnes alternativas, é possível “customizar” os nutrientes, substituindo gorduras pouco saudáveis por outras mais saudáveis. O tempo de prateleira desses produtos é maior, pois algumas bactérias comuns – tais como a salmonela e a escherichia coli, que aceleram o processo de degradação – não estariam presentes. O rigoroso controle de qualidade dos processos afasta os riscos epidêmicos, como a doença da vaca louca ou a gripe aviária.

As taxas de conversão de grão em calorias por quilograma são significativamente maiores nas carnes alternativas porque grande parte da energia gerada nos alimentos consumidos pelos animais é utilizada para manter a temperatura corporal e produzir outras células distintas de músculos (pelos, unhas, órgãos etc.).

Os animais apresentam diferentes taxas de conversão do peso em grãos em seu peso corporal. Por exemplo, estima-se que são necessários 7 kg de grãos secos para produzir 1 kg de peso em um bovino. Além disso, a quantidade de carne é apenas uma fração, aproximadamente 40%, do peso do animal. Com isso, a taxa de conversão é de apenas 6%. Uma parcela significativa da produção agrícola se reduz ao ser transformada em proteína animal. A utilização dessa produção agrícola que se destina à alimentação dos animais diretamente

para a produção de carne vegetal ampliaria significativamente sua utilidade alimentar, mantendo o mesmo valor nutricional da carne animal (WARSCHUN; DONNAN; ZIEMSSSEN, 2020).

O confronto entre a carne tradicional e a carne cultivada mostra que a primeira necessita de muito mais energia e água para gerar a mesma quantidade de carne. Segundo Warschun, Donnan e Ziemssen (2020), 1,5 kg de proteína vegetal (soja, ervilha ou milho) produz 1 kg de carne cultivada. No caso da carne vegetal, 1,3 kg de proteína vegetal gera 1 kg de carne vegetal. Considerando o uso da soja como fonte de matéria-prima, como o teor de proteína gira em torno de 37%, conforme dados da Embrapa Soja, a taxa de conversão da carne cultivada seria de 27%, ao passo que para carne vegetal seria de 31%. Ressalte-se que os dois produtos têm o mesmo valor nutricional (EMBRAPA, 2019). O Quadro 1 resume essa comparação.

Quadro 1 | Comparação das taxas de conversão das carnes

Tipo de carne	Grãos secos (kg)	Carne consumível (kg)	Taxa de conversão
Bovinos	17,5	1	6%
Carne cultivada	3,75	1	27%
Carne vegetal	3,25	1	31%

Fonte: Elaboração própria com base em Warschun, Donnan e Ziemssen (2020).

Conforme se vê, a eficiência de conversão das carnes alternativas supera em cerca de cinco vezes mais a carne bovina tradicional, diferença que ainda pode ser incrementada com o avanço natural de um novo paradigma tecnológico que ainda não se beneficiou de todos os ganhos de aprendizagem e de maior escala produtiva.

As carnes alternativas têm o potencial de suplantarem alguns dos principais desafios da agropecuária sustentável, tanto no uso mais racional

da terra quanto dos recursos hídricos, além de resolverem o desconforto crescente com o abate de animais.

Uma pesquisa buscou avaliar os impactos ambientais da produção de carne cultivada quando comparada à produção da mesma quantidade de carne tradicional. As comparações foram realizadas utilizando na cultura hidrolisados de cianobactérias, ainda sob condições de laboratório, em método desenvolvido pela Universidade de Amsterdã. Coordenado pela pesquisadora Hanna Tuomisto da *Wildlife Conservation Research Unit* da Universidade de Oxford, o estudo concluiu que a carne cultivada seria produzida com 96% menos emissões de GEE, 45% menos energia, 99% menos uso de terra e 96% menos consumo de água (TUOMISTO; MATTOS, 2011).

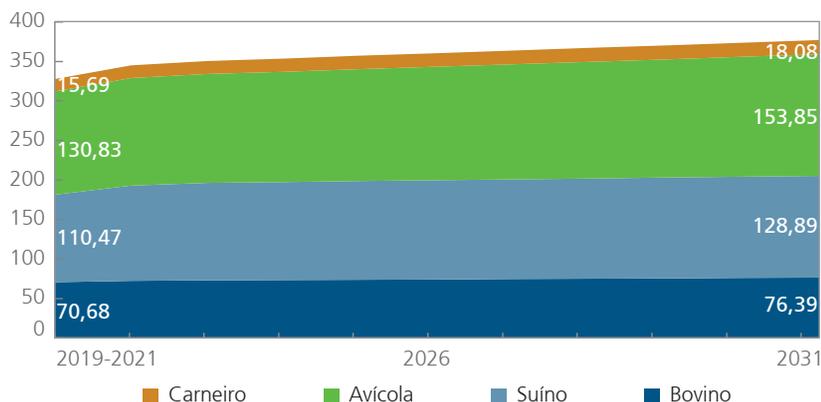
Estimativas de demanda

O crescimento populacional e o aumento da renda serão os impulsionadores para o crescimento do consumo global de proteína animal durante a próxima década. Espera-se que até 2031 o aumento no consumo global de proteínas cresça 15% em comparação com a média do período de 2019 a 2021. Os maiores crescimentos ocorrerão na Ásia (64%), África (14%) e América Latina (13%). Nesse contexto, o consumo mundial *per capita* de carne aumentará em média 0,4% ao ano para 35,6 kg rwt (*retail weight* ou peso equivalente no varejo) em 2031, sendo que mais da metade desse aumento será pelo maior consumo *per capita* de proteína da carne de aves. O aumento do consumo de carne de frango nos países em desenvolvimento de renda média e baixa se dará devido ao preço mais baixo dessa proteína em relação às outras carnes; já nos países de renda alta, o motivo é a preferência pelo consumo de carne branca, percebida como mais saudável.

As projeções do consumo global de proteínas animais (kg rwt/ano por pessoa) estão representadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 | Consumo mundial

Mt c.w.e ou r.t.c



Fonte: OECD e FAO (2022) e OECD ([200-]).

Nota: c.w.e. – *carcass weight equivalent* ou peso de carcaça equivalente; r.t.c. – *right to cook* ou pronto para cozinhar.

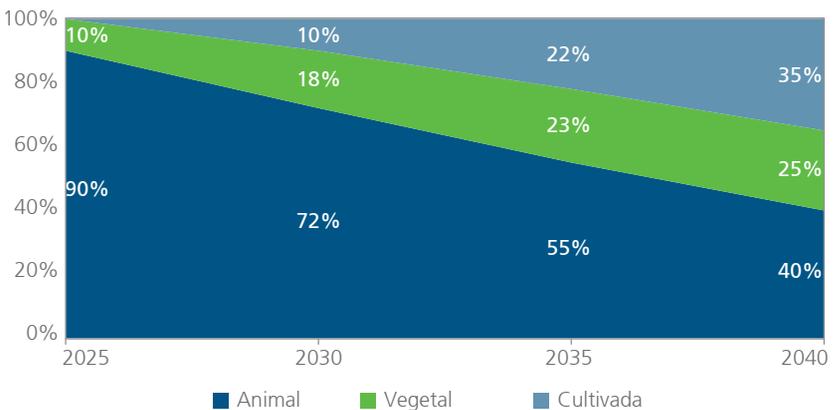
No mundo, durante o período de 2019 a 2021, as emissões dos gases de efeito estufa provenientes da produção de carne corresponderam a 54% do total de emissões da agricultura. Até 2031, o aumento das emissões pelo setor de carne é projetado em 9%, sendo considerado menor do que o aumento da produção de carne no período. Esse crescimento proporcionalmente menor nas emissões de GEE é devido principalmente ao aumento do percentual da produção de aves e à adoção de tecnologias para reduzir as emissões de metano (OECD; FAO, 2022).

As principais alternativas à proteína animal tradicional, isto é, a carne vegetal e a carne cultivada, têm potencial disruptivo sobre a produção agrícola e a criação de animais, em um momento de desafios para produção de alimentos com uma população humana em crescimento.

A consultoria Grand View Research (GVR, 2021) publicou em 2021 um relatório no qual o mercado de substitutos à carne animal foi estimado em US\$ 12,9 bilhões em 2022 e espera-se que cresça a uma taxa de 42% a.a. entre 2022 e 2030.

Ao considerar o crescimento esperado do mercado e do consumo de carnes tradicionais e das alternativas vegetal e cultivada, outra consultoria, a A.T. Kearney, estimou em 2018 que haveria forte alteração na composição do consumo, com redução da importância da carne tradicional e ampliação das fatias das carnes alternativas. Em 2040, cerca de 35% do consumo seria de carne cultivada e 25% de carne vegetal. A carne tradicional seria responsável por apenas 40% do mercado. A estimativa pode ser observada no Gráfico 2.

Gráfico 2 | Divisão do mercado



Fonte: Elaboração própria com base em Warschun, Donnan e Ziemssen (2020).

O recente desenvolvimento tecnológico originou uma nova geração de carne vegetal que é competitiva com os produtos de origem animal quando computados custo, sabor e acesso. Isso favoreceu um crescente apetite dos consumidores por produtos substitutos de carne bovina,

porco, aves e frutos do mar. Nos Estados Unidos, esses produtos foram comprados por consumidores que em 98% dos casos também compraram os produtos de origem animal.

Atualmente, o mercado de carne vegetal nos Estados Unidos é estimado em US\$ 1,4 bilhão, tendo observado um significativo crescimento nos últimos anos (cerca de 72% entre 2018 e 2020). A despeito desse crescimento, o mercado representa apenas 1,4% das vendas de carne animal no varejo norte-americano (GOOD FOOD INSTITUTE, [200-]).

Uma forma de se estimar as perspectivas desse mercado é observar o tamanho de mercados similares mais maduros. Nos Estados Unidos, o mercado mais estabelecido é o de substitutos vegetais do leite, que corresponde a vendas de US\$ 2,5 bilhões e representa 15% das vendas de leite no varejo. Sob esse aspecto, há um enorme potencial de crescimento (GOOD FOOD INSTITUTE, [200-]).

Entretanto, quando se busca atingir a maioria dos consumidores, é necessário reconhecer que eles têm preferências cristalizadas sobre como devem ser o sabor e a textura do produto que desejam consumir. Replicar o perfil sensorial (aparência, odor e sabor) que atenda a esse consumidor permanece um desafio. Quanto maior a semelhança com a carne tradicional, maior será o potencial comercial, visto que alcançará uma gama maior de consumidores.

No caso da carne vegetal, existe a percepção de que é um produto mais saudável, com diversas vantagens sobre a saúde humana, em especial nos aspectos cardiovasculares. Uma ampla aceitação estaria mais associada à efetividade do produto em reproduzir a experiência sensorial de consumir a carne tradicional.

No entanto, há outros aspectos a serem considerados que dificultam a ampla aceitação pelos consumidores. Até que ponto, em uma sociedade

com crescente preferência por produtos naturais, esses processos serão vistos como “de laboratório” ou antinaturais?

No que se refere à carne cultivada, foi realizada, em 2018, uma pesquisa que buscou avaliar a percepção dos consumidores brasileiros sobre o produto. Cerca de dois terços dos entrevistados consideraram experimentá-la. A pesquisa concluiu que há pouco conhecimento sobre o produto e que conhecer detalhes do processo reduz sua aceitação. Por outro lado, saber dos benefícios ambientais e da ausência de abate melhora a percepção sobre o produto. Algumas estratégias de *marketing* sugerem nomes como “carne sem abate” ou “carne livre” como forma de ampliar a aceitação (MEDEIROS; DIAS; MALAFAIA, 2021).⁴

Panorama da oferta

Warschun, Donnan e Ziemssen (2020) listaram os principais fatores que devem definir o potencial disruptivo da expansão da produção das carnes vegetal e cultivada até 2040. Esses fatores seriam: disponibilidade de insumos, taxa de conversão, características dos produtos, possibilidade de ganhos de escala, aceitação dos consumidores, ética e sustentabilidade, arcabouço regulatório e atratividade ao capital de risco. A situação atual e a projetada para 2040 desses fatores foram sistematizadas no Quadro 2.

4 Há outras questões ainda pendentes sobre o *marketing* desses produtos. Recentemente, o governo da França instituiu uma norma proibindo que produtos vegetais que imitam proteínas animais sejam chamados de carne, frango ou peixe. A questão foi judicializada (HAMAIDE, 2022).

Quadro 2 | Estágio de desenvolvimento dos fatores que definem o potencial disruptivo das carnes alternativas

	Carne vegetal		Carne cultivada	
	2018	2040	2018	2040
Insumos	Médio	Alto	Baixo	Alto
Taxa de conversão	Alto	Alto	Médio	Alto
Características do produto	Baixo	Médio	Baixo	Alto
Ganhos de escala	Médio	Alto	Baixo	Alto
Aceitação do consumidor	Médio	Alto	Baixo	Alto
Sustentabilidade e ética	Alto	Alto	Médio	Alto
Aspectos regulatórios	Alto	Alto	Baixo	Alto
Capital de risco	Alto	Médio	Baixo	Alto

Fonte: Elaboração Própria com base em Warschun, Donnan e Ziemssen (2020).

Na visão dos autores, as vantagens das carnes alternativas sobre a carne tradicional, sobretudo quanto aos aspectos ambientais, são de tal ordem que é apenas uma questão de tempo para que sejam responsáveis por uma significativa parcela do mercado. Essa dinâmica implicará a atração de novas empresas e novos fornecedores na oferta de produtos agrícolas e nas áreas química e de biotecnologia.

Carne vegetal

Nos últimos anos, o mercado da carne vegetal cresceu fortemente a taxas muito superiores às do mercado de proteína animal tradicional. Redes de restaurantes populares nos Estados Unidos, como Carl's Jr. e Burger King, já oferecem produtos de base vegetal em seus cardápios. Grandes produtores do setor, como Tyson Foods e Nestlé, também já ofertam produtos de carne vegetal.

O mercado conta com centenas de produtores que oferecem uma ampla gama de produtos de carne vegetal. O total investido no mundo, de 2010 até 2021, chega a US\$ 6,3 bilhões, sendo US\$ 1,9 bilhão somente em 2021. Durante o primeiro semestre de 2020, os investimentos globais chegaram a US\$ 717 milhões, sendo as principais companhias internacionais a Redefine Meat (Israel), Startfiel Food Science & Technology (China), Next Gen Foods (Singapura) e Beyond Meat e Impossible Foods nos Estados Unidos (GOOD FOOD INSTITUTE, [200-]).

No Brasil, as grandes empresas de proteína animal já estão atuantes nesse mercado. A BRF oferece seus produtos pela Sadia Veg&Tal (*nuggets*, quibes, carne moída, hambúrgueres, almôndegas etc.) e em 2021 anunciou uma linha carbono neutro, a Veg Frango (frango em cubos, em tiras e desfiado), produzida com uma combinação de proteínas de feijão, ervilha e soja, a partir de uma tecnologia que adiciona calor e pressão (extrusão úmida) que resulta em fibras longas semelhantes ao produto animal (SADIA, [200-]).

A JBS oferta seus produtos por meio da líder do mercado brasileiro, a Incrível, uma unidade de negócios independente da Seara que oferece uma linha ampla de produtos, de hambúrgueres a refeições prontas, 100% vegetal. Além disso, a JBS atua desde 2020 nos Estados Unidos por meio da marca OZO, com produtos desenvolvidos pela *foodtech* Planterra Foods, e na Europa com a empresa Vivera (adquirida em 2021), terceira maior produtora de produtos *plant-based* naquele continente (JBS, [200-]).

Outra grande empresa presente no segmento é a Marfrig, por meio da PlantPlus Foods (*joint venture* com a Archer Daniels Midland), atuando desde 2020 por meio de um hambúrguer vegetal ofertado pela rede Burger King. A aceitação do produto abriu caminho para que a PlantPlus Foods lançasse uma linha de carne vegetal que inclui quibes, almôndegas e carne moída (MARFRIG..., 2022).

Além das grandes empresas, há outras marcas se consolidando nesse mercado, tais como a Fazenda Futuro, *foodtech* criada em abril de 2019 e já avaliada em R\$ 2,2 bilhões. A empresa oferece produtos vegetais que mimetizam hambúrgueres, almôndegas, carne moída, frango em pedaços, linguças de pernil e atum. A Fazenda Futuro vem se internacionalizando e já está presente em 25 países (FONSECA, 2021).

Carne cultivada

Atualmente, a produção de carne cultivada se dá essencialmente em *startups*, atraindo crescente interesse de investidores. Algumas *foodtechs*, tais como Mosa Meat, Good Meat e Aleph Farms, tornaram-se conhecidas nesse segmento. Nos Estados Unidos foram investidos, por alguns dos principais *players* no mercado, cerca de US\$ 350 milhões em 2020. São exemplos desses investidores Cargill, Tyson Food, Merck, Google, UBS e PHW Group. Além de recursos financeiros, essas empresas também aportam conhecimentos (PORTO; BERTI, 2022).

Como visto anteriormente, a expansão desse mercado está vinculada a alguns fatores, mas a aceitação do consumidor e os desenvolvimentos tecnológicos capazes de gerar ganhos de escala e redução dos custos de produção são essenciais para sua concretização.

O cultivo em laboratório pode ter um custo muitas vezes maior que o equivalente à carne tradicional. A viabilização da produção em escala ainda depende de acesso a insumos mais baratos (em especial as moléculas sinalizadoras), novos meios de cultura celular, biorreatores mais aprimorados e mesmo novas moléculas que agreguem sabor, odor e textura mais fidedignos à carne animal. Além disso, segue pendente o desenvolvimento mais satisfatório de matérias de suporte (armações) em 3D para mimetizar a estrutura da carne e superar as barreiras atuais.

Em suma, a carne cultivada ainda está em um estágio da produção que precisa de aprimoramentos para viabilizar a produção em grande escala comercial. No entanto, isso não impede que o produto possa ser introduzido em um mercado “*premium*”, que justifique seu custo mais elevado por suas vantagens em relação à carne tradicional (PORTO; BERTI, 2022).

Outro desafio é a manutenção dos meios de cultura de forma a mantê-los funcionais e sem contaminação, uma vez que esse processo é custoso mesmo em condições laboratoriais. As proteínas utilizadas como fonte de crescimento ainda são bastante caras e substituí-las por meios alternativos ainda depende da obtenção das garantias de que são seguras para o consumo humano. Estima-se que dezenas de bilhões de dólares em investimentos serão necessários para que a produção seja capaz de suprir cerca de 1% do mercado de proteína animal.

Assim, a despeito dos investimentos recentes, a indústria ainda tem desafios a superar antes de estar apta a ofertar um produto competitivo aos consumidores. No entanto, a perspectiva é que em um futuro próximo os consumidores possam consumir um filé mignon cultivado por um custo equivalente ao de um hambúrguer.

No Brasil, os movimentos estratégicos dos participantes do mercado já se iniciaram. Embora os valores ainda sejam modestos se comparados à Europa e aos Estados Unidos, esses movimentos indicam que há clara percepção de que se desenvolver nessa área será fundamental para o país manter sua posição no mercado de carnes.

Ao lado de movimentos pioneiros como o da *startup* Ambi Real Food, que já em 2011 recebeu auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (Fapergs), ou do Banco de Células do Rio de Janeiro, que há muito oferece consultoria e assessoria de

linhagens e bancos de células, um número crescente de agentes de inovação em biotecnologia e ciências da vida vem se agregando. O Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia (Cietec), o Parque de Inovação Supera, o Hub AgTech Garage, a Lyfeli VC e o Hub de Inovação BioTech Town são exemplos destacados (PORTO; BERTI, 2022).

Contudo, igualmente importante é a entrada dos principais *players* brasileiros do setor de proteína animal. A BRF S.A. pretende ofertar o produto no Brasil por meio de uma parceria com a empresa israelense Aleph Farms, tendo investido US\$ 2,5 milhões para ser parte do corpo societário e garantir um acordo de exclusividade para produção e venda no país. A ideia é produzir carne cultivada em “biofazendas”. Foi estimado que o ciclo produtivo terá entre 25 e trinta dias e, a princípio, chegará aos consumidores com um valor entre US\$ 30 e US\$ 40 por quilograma. Dado o custo, espera-se que a escolha pelo produto ocorra por motivos nutricionais ou ideológicos do consumidor (BECKER, 2022).

A JBS também entende que é importante se engajar no desenvolvimento da carne cultivada. A empresa anunciou investimentos de US\$ 100 milhões em proteína cultivada com a aquisição da espanhola BioTech Foods (transformada em subsidiária da JBS Global Luxembourg) e a instalação de um centro de pesquisa em Florianópolis (SC), o JBS BioTech Innovation, que contará com laboratórios de última geração e diversos pesquisadores, ocupando uma área de dez mil metros quadrados. Vale destacar que, com o aporte da JBS, a BioTech, que já operava uma planta piloto na Espanha, pretende iniciar a produção comercial de carne cultivada na forma de hambúrgueres, embutidos e almôndegas já em 2024 (SOUZA, 2021).

Considerações sobre políticas públicas

Em 2015, por ocasião da 21ª Conferência das Partes (COP 21) em Paris, o Brasil, tomando por base o volume de emissões de gases de efeito estufa de 2005, se comprometeu a reduzir suas emissões (*Nationally Determined Contribution – NDC*) em 37% até 2025, elevando seus esforços até atingir uma redução de 43% em 2030. Em seu último NDC, de 2022, o Brasil reafirmou o compromisso de reduzir, com base em 2005, cerca de 37% das emissões até 2025 e 50% até 2030. Além disso, o país reafirmou o objetivo de longo prazo de atingir a neutralidade até 2050.

Adicionalmente, em 2021, o Brasil também assinou, na COP 26, em Glasgow, Escócia, o Acordo do Metano, que estabeleceu o compromisso global de reduzir em 30% as emissões desse gás até 2030, tendo por base as emissões de 2020.

Segundo estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), a pecuária bovina respondeu por mais de 70% das emissões da agropecuária brasileira em 2019, ou seja, quase 20% de todas as emissões brasileiras diretas de CO₂ equivalente. A principal fonte das emissões da pecuária se deve à fermentação entérica, nome dado ao processo de digestão de celulose de ruminantes, como os bovinos, que emite metano (popularmente conhecido como “arroto do boi”). Ou seja, qualquer ação que impacte as emissões desse setor terá um grande efeito sobre as emissões brasileiras de GEE, ajudando o país a cumprir suas metas de redução de emissões.

Assim, simultaneamente a medidas que auxiliem a redução das emissões de GEE decorrentes da atividade pecuária no Brasil, atividades

que busquem o desenvolvimento e a expansão das carnes vegetal e cultivada têm muito a contribuir na preservação ambiental e, portanto, deveriam contar com estímulo de políticas públicas, tais como as exemplificadas a seguir.

Financiamento do BNDES

Como um banco promotor do desenvolvimento sustentável, o BNDES tem expandido suas atividades e instrumentos visando acelerar a transição para uma economia carbono neutro. Nesse contexto, é oportuno que se busque adaptar tais instrumentos de forma a apoiar investimentos de empresas, sejam *foodtechs* ou frigoríficos, que tenham como objetivo o desenvolvimento de tecnologias e produtos ligados à carne vegetal e cultivada.

Sem prejuízo das linhas convencionais do BNDES que apoiam inovação e expansão produtiva, linhas de crédito que tenham condições diferenciadas para o desenvolvimento desses produtos devem ser estruturadas, apoiando seu aspecto inovador e sua importância ambiental.

Por outro lado, existem os instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), como o Fundo Clima, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, que tem a finalidade de garantir recursos para apoio a projetos, estudos e financiamento de empreendimentos que tenham como objetivo a mitigação das mudanças climáticas. Parece pertinente avaliar a possibilidade de inclusão de projetos relativos a carnes alternativas como elegíveis ao fundo.

Finalmente, cabe lembrar que, atualmente, qualquer apoio a frigoríficos bovinos exige o cumprimento de exigências de regularidade fundiária e ambiental de todos os fornecedores de gado, incluindo os indiretos, ou seja, desde o nascimento até o abate. Seria oportuno, portanto, ao menos para investimentos inovadores de elevado impacto socioambiental, como

os ligados às carnes alternativas, avaliar a possibilidade de atualizar as políticas de apoio ao setor de forma a permitir maior capacidade de fomento para o desenvolvimento sustentável da produção de proteínas.

Fomento tecnológico

O protagonismo na produção e exportação de carne bovina, assim como na de grãos, coloca o Brasil em condição de destaque para atração de investimentos em produção e desenvolvimento de tecnologias ligadas às carnes alternativas.

Nesse sentido, e considerando o potencial para redução dos impactos ambientais e emissões de carbono, o desenvolvimento tecnológico voltado para carnes alternativas poderia ser considerado prioritário para os instrumentos de fomento tecnológico do Governo Federal, como é o caso dos fundos setoriais de inovação, especialmente aqueles ligados ao agronegócio e à bioeconomia.

Marco regulatório

A experiência internacional, reportada no relatório GFI, observou as agências da União Europeia, dos Estados Unidos, da Austrália, da Nova Zelândia e de Singapura e concluiu que os regulamentos de controle sanitário e os demais requisitos de liberação e monitoramento de unidades fabris ainda carecem de desenvolvimento. A Singapore Food Agency foi a pioneira em autorizar a comercialização de um produto de carne de frango cultivada da Good Meat (GARCIA *et al.*, 2022).

No que se refere aos aspectos regulatórios no Brasil, o GFI entende que a carne cultivada não se enquadra nas definições de carnes e derivados adotadas pelo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (Riispoa) do Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (Mapa). Entretanto, há previsão de inovações tecnológicas, desde que seu processo de fabricação e sua composição sejam aprovados pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (Dipoa/Mapa).

Por outro lado, o GFI entende que essa categoria de produtos deve ser classificada no conceito internacionalmente adotado de Novos Alimentos (*Novel Foods*), cuja avaliação da segurança hoje no Brasil é de responsabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa).

Assim, o GFI espera que o registro das carnes cultivadas seja expedido pela Anvisa e que a inspeção e os requisitos de produção e de comercialização dos produtos cárneos dela derivados venham a ser de responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (GARCIA *et al.*, 2022).

Comentários finais

As perspectivas atuais indicam que grandes mudanças no mercado global de proteína animal virão dos avanços em biotecnologia que se difundirão por toda a cadeia produtiva de alimentos.

Embora a carne vegetal já seja produzida em escala e esteja acessível aos consumidores, ainda existem alguns problemas de regularidade no acesso às proteínas vegetais necessárias aos compostos. Eventualmente, esses problemas podem pressionar os custos para produção da carne vegetal.

Na recente crise econômica, o mercado de carne vegetal, representado por uma de suas principais empresas, sofreu alguns reveses. A Beyond Meat, empresa de carne vegetal que teve uma das ofertas iniciais (IPO)

mais bem-sucedidas de Wall Street em 2019, está tendo um ano bastante difícil, com uma queda no faturamento estimada de 9% a 14% em 2022. Essa queda se soma a uma sequência de semestres nos quais o resultado efetivo tem sido sempre inferior ao esperado. Esses resultados têm levantado dúvidas sobre a real demanda dos consumidores por carne vegetal e sinalizam para uma possível estagnação do mercado (VIRI, 2022).

Parte dos analistas considera que é uma questão conjuntural. A crise inflacionária recente levou os consumidores norte-americanos a privilegiarem o preço na hora das compras. Nos Estados Unidos, o produto vegetal equivalente à carne animal sai por um preço mais elevado, e esse fator tem sido decisivo na queda nas vendas.

Por outro lado, embora as pesquisas realizadas atestem uma melhoria substancial no sabor do produto nos últimos anos, outras avaliações revelam que houve uma redução na percepção de que as carnes vegetais eram efetivamente mais saudáveis.

Essa reversão momentânea nas expectativas de crescimento no mercado norte-americano ainda não se refletiu no mercado internacional. Na Europa e na América Latina o crescimento da demanda tem permanecido estável, o que tem levado as empresas a ampliarem o foco nesses mercados.

Quanto à carne cultivada, ainda permanecem em aberto os desafios anteriormente citados, com destaque para a percepção sensorial e a escala de produção. No entanto, quando se observa o ritmo de desenvolvimento tecnológico recente, há motivos para otimismo.

Embora persistam alguns obstáculos ao desenvolvimento do pleno potencial desses mercados, permanece o desafio de expandir a oferta de proteínas para responder à pressão decorrente do crescimento populacional e sua compatibilização com a disponibilidade de recursos

naturais cada vez mais escassos e com a redução das emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, a busca de alternativas aos processos produtivos tradicionais, tais como a carne vegetal e a carne cultivada, é uma opção promissora.

Referências

BECKER, L. Como será a carne cultivada que vai chegar aos mercados do Brasil em 2024. *Globo Rural*, São Paulo, 22 set. 2021. Disponível em: <https://globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2021/09/como-sera-carne-cultivada-que-vai-chegar-aos-mercados-do-brasil-em-2024.html>. Acesso em: 27 out. 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Nota de esclarecimento – teor de proteína da soja brasileira. *Embrapa*, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/teordeproteina>. Acesso em: 8 nov. 2022.

FONSECA, M. Fazenda Futuro: “carne de planta” brasileira vale mais de R\$ 2 bilhões. Agora, quer conquistar os Estados Unidos. *Infomoney*, São Paulo, 4 nov. 2021. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/do-zero-ao-topo/fazenda-futuro-carne-de-planta-brasileira-vale-mais-de-r-2-bilhoes-agora-quer-conquistar-os-estados-unidos/>. Acesso em: 16 jan. 2023.

GARCIA, E. E. C. *et al.* *Estudo regulatório sobre proteínas alternativas no Brasil – carne cultivada*. São Paulo: Good Food Institute Brasil, 2022. Disponível em: <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Estudo-Regulatorio-Carne-Cultivada-GFI-Brasil.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.

GOOD FOOD INSTITUTE. Plant based meat. *GFI*, Washington, DC, [200-]. Disponível em: <https://gfi.org/plant-based/>. Acesso em: 19 set. 2022.

GVR – GRAND VIEW RESEARCH. *Meat substitute market & share report: 2022-2030*. San Francisco: GVR, 2021. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/meat-substitutes-market>. Acesso em: 16 jan. 2023.

HAMAIDE, S. Carne vegetal com nome de prato carnívoro é polêmica em novos restaurantes franceses. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 19 out. 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2022/10/carne-vegetal-com-nome-de-prato-carnivoro-e-polemica-em-novos-restaurantes-franceses.shtml>. Acesso em: 16 jan. 2023.

JBS. Plant based – 100% vegetal. JBS, São Paulo, [200-]. Disponível em: <https://jbs.com.br/sobre/negocios/plant-based/>. Acesso em: 17 out. 2022.

MARFRIG: carne vegetal para conquistar público jovem e diversificado. *Exame*, São Paulo, 17 fev. 2022. Disponível em: <https://exame.com/negocios/marfrig-carne-vegetal-para-conquistar-publico-jovem-e-diversificado/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

MEDEIROS, S. R.; DIAS, F. R. T.; MALAFAIA, G. C. *Carne de laboratório: será o fim da pecuária como a conhecemos?* Brasília, DF: Embrapa, 2021. (Boletim CiCarne, ano 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228317/1/Boletim-CiCarne-38-2021.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.

NÓBREGA, A. Proteína feita de fungos substitui a animal? *eCycle*, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/proteina-feita-de-fungos/>. Acesso em: 16 jan. 2023.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. Paris: OECD, 2022. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/f1b0b29c-en.pdf?expires=1673880423&id=id&acname=guest&checksum=1A2D246CB3CEA43900C659AAE0F97782>. Acesso em: 16 jan. 2023.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD Agriculture statistics. *OECD*, Paris, [200-]. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics Agr-data-en>. Acesso em: 16 jan. 2023.

PORTO, L. M.; BERTI, F. V. *Carne cultivada: perspectivas e oportunidades para o Brasil*. São Paulo: Tiki Books: The Good Food Institute Brasil, 2022. Disponível em: https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2022/06/WP-Carne-Cultivada-no-Brasil-GFI-Brasil-05_2022_.pdf. Acesso em: 16 jan. 2023.

SADIA. Nossos produtos: 14 opções para quem busca refeições sem carne e muito mais. *Sadia*, [s. l.], [200-]. Disponível em: <https://www.sadia.com.br/vegtal/produtos/>. Acesso em: 24 out. 2022.

SOUZA, K. JBS anuncia aquisição e investimento de US\$ 100 mi em carne cultivada. *Exame*, São Paulo, 17 nov. 2021. Disponível em: <https://exame.com/negocios/jbs-investe-us-100-mi-para-entrar-no-mercado-de-carne-de-laboratorio/>. Acesso em: 16 jan. 2023.

TUOMISTO, H. L.; MATTOS, J. T. Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental Science & Technology*, Washington, DC, v. 45, n. 14, p. 6117-6123, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es200130u>. Acesso em: 26 set. 2022.

VIRI, N. Em crise, Beyond Meat acende sinal amarelo para a carne plant-based. *Capital Reset*, São Paulo, 21 out. 2022. Disponível em: <https://www.capitalreset.com/crise-da-beyond-meat-e-alerta-para-a-carne-plant-based/#:~:text=Em%20crise%2C%20Beyond%20Meat%20acende,para%20a%20carne%20plant%2Dbased>. Acesso em: 16 jan. 2023.

WARSCHUN, M.; DONNAN, D.; ZIEMSEN, F. When consumers go vegan, how much meat will be left on the table for agribusiness? *Kearney*, Chicago, 8 jan. 2020. Disponível em: <https://www.kearney.com/consumer-retail/article/-/insights/when-consumers-go-vegan-how-much-meat-will-be-left-on-the-table-for-agribusiness>. Acesso em: 5 set. 2022.