

# Carne Cultivada

perspectivas e  
oportunidades  
para o Brasil



## **Ficha de Créditos**

### **Autores**

Luismar Marques Porto & Fernanda Vieira Berti

### **Coordenação**

Katherine de Matos & Amanda Leitolis

### **Revisão**

Alexandre Cabral, Amanda Leitolis, Cristiana Ambiel, Guilherme Augusto de Oliveira Vilela, Gustavo Guadanini, Katherine de Matos, Lorena Pinho e Vinícius Gallon

### **Projeto Gráfico**

Lisa Parucker

### **Equipe do The Good Food Institute Brasil**

Alexandre Cabral - *Diretor de Políticas Públicas*

Alysson Soares - *Especialista de Políticas Públicas*

Amanda Leitolis - *Especialista de Ciência e Tecnologia*

Ana Carolina Rossetini - *Gerente de Desenvolvimento*

Camila Lupetti - *Especialista de Dados*

Cristiana Ambiel - *Gerente de Ciência e Tecnologia*

Fábio Cardoso - *Analista de Comunicação*

Guilherme de Oliveira Vilela - *Especialista de Engajamento Corporativo*

Gustavo Guadagnini - *Diretor Executivo*

Jaqueline Gusmão - *Assistente Executiva*

Karine Seibel - *Gerente de Operações e Recursos Humanos*

Katherine de Matos - *Diretora de Ciência e Tecnologia*

Lorena Pinho - *Analista de Ciência e Tecnologia*

Luciana Fontinelle - *Especialista em Tecnologia de Alimentos*

Mariana Bernal - *Analista de Políticas Públicas*

Mariana Demarco - *Analista de Ciência e Tecnologia*

Raquel Casselli - *Gerente de Engajamento Corporativo*

Vinícius Gallon - *Especialista de Comunicação*

# Sumário

---

**Apresentação** 4

Introdução 6

---

---

**Panorama Geral** 9

---

**A Tecnologia da Carne Cultivada** 16

Fonte de células-tronco 21

Bancos de células 27

Meios de cultivo 30

Suportes teciduais 34

Biorreatores 36

Biorreatores teciduais 38

Bioimpressão 40

Otimizações Celulares 41

---

**O Papel da Academia** 43

Como formar profissionais para atuarem em carne cultivada 45

Oportunidade para jovens pesquisadores 46

Novas tecnologias 47

Oportunidades de pesquisa 48

---

---

**O Desafio da Indústria e as Oportunidades de Investimento** 50

As projeções de mercado 52

O Apoio à Pesquisa e a Extensão Rural 53

---

---

**As Demandas Regulatórias** 55

---

**Percepção do Público e Aceitação do Consumidor** 59

---

**Os Desafios Climáticos e a Carne Cultivada** 61

---

**Conclusões, Reflexões e Recomendações** 64

---

**Referências** 67

# Apresentação

Este documento contextualiza os desafios para o desenvolvimento da carne cultivada no Brasil, a atual condição do país como um grande ator na oferta de proteínas animais, suas condições para assumir um importante protagonismo no setor, as motivações para o seu desenvolvimento, e o papel dos diferentes agentes diante do cenário complexo e competitivo que se formou nos últimos anos.

Carne cultivada é a carne produzida com tecnologia de cultura (ou cultivo) de células animais, genuinamente produzida a partir de células-tronco animais, ao invés de criá-los e abatê-los. A partir de uma única célula-tronco, multiplicações sucessivas e posterior diferenciação e maturação vão aumentando o número de células e a densidade celular.

## Consumo de Carne

O consumo de carne deve aumentar em cerca de 80% nas regiões em desenvolvimento até 2029 quando, projeta-se, atingiremos 366 milhões de toneladas, um aumento de 40 milhões de toneladas na produção global de carne.

Fonte: OECD/FAO (2020)



*Bife cultivado da Aleph Farms*

Esse processo é conduzido em uma sequência de biorreatores de escala progressiva, até se atingir uma quantidade adequada de células, com ou sem a combinação com outros materiais de suporte (*scaffolds*).

Essas células compreendem os mesmos tipos de células que no animal estão organizadas em estruturas tridimensionais, que formam os tecidos e, portanto, podem replicar o perfil sensorial e nutricional de carne bovina, frango, frutos do mar ou de outros produtos de carne produzidos convencionalmente.

Com raríssimas exceções, as tecnologias de carne cultivada vêm sendo propostas e desenvolvidas por *startups* estrangeiras que buscam investimentos para ultrapassar as etapas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em seus laboratórios.

Poucas já alcançaram o estágio de planta piloto, onde os investimentos são altos, da ordem de dezenas de milhões de dólares, e enfrentam atualmente os desafios de ampliação de escala (*scale up*) para a produção comercial competitiva até 2030.

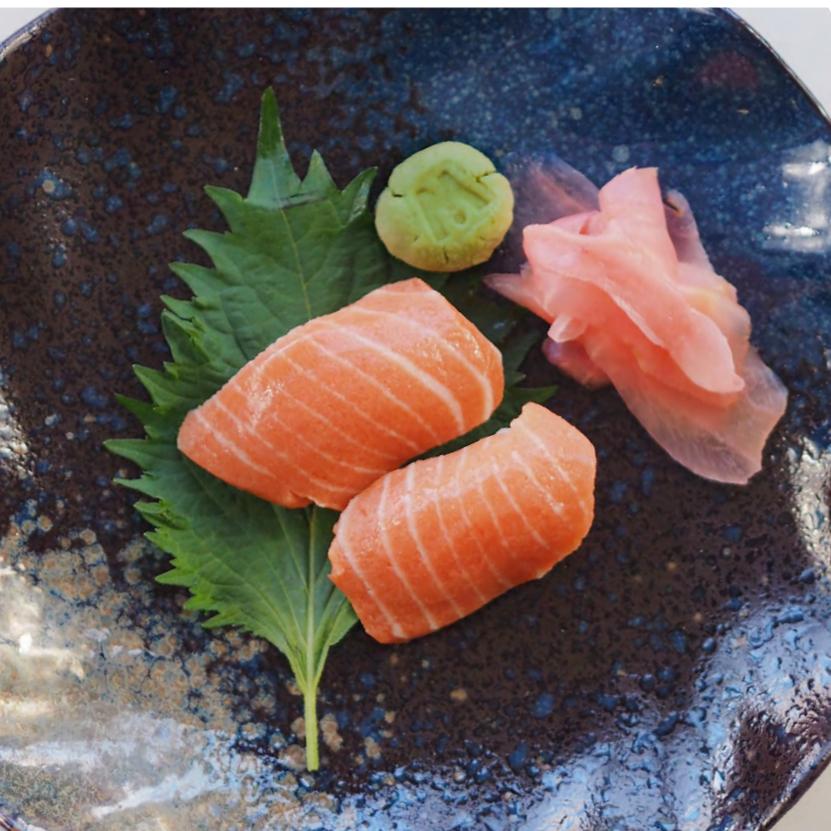
No Brasil, o anúncio de investimentos de 2,5 milhões de dólares da empresa brasileira BRF na *startup* israelense [Aleph Farms](#) alertou o mercado para a iminência de se ter um produto comercial a curto prazo. A tecnologia da Aleph Farms para produzir carne cultivada a partir de células bovinas não geneticamente modificadas estaria disponível no Brasil em 2024. Há, todavia, interesse e necessidade de se desenvolver tecnologia nacional, além de possibilitar transferência de tecnologia de empresas estrangeiras. Com isso, há também a necessidade de se incentivar a inovação e o

empreendedorismo, e de se regulamentar de forma adequada a produção e a comercialização, além de se fomentar a pesquisa e a formação de recursos humanos para o setor.

O GFI tem sido um importante catalisador de todo este processo no Brasil e no exterior, fornecendo subsídios para o desenvolvimento do setor de proteínas alternativas no mundo. Nesse cenário, o GFI não poderia deixar de ser um agente de transformação e de apoio no país onde a carne é um produto de primeira linha, de relevância econômica indiscutível, e produto de desejo e de consumo como em poucos lugares do mundo.

No texto que segue, procuramos destacar pontos que entendemos relevantes para a devida introdução ao tema, de uma forma geral, e também alguns aspectos tecnológicos, econômicos e sociais, que podem ser utilizados para nortear o desenvolvimento da carne cultivada no país.

O GFI espera que este documento seja útil como fonte de informação técnica introdutória, ou mesmo para que auxilie na tomada de decisões, estabelecendo políticas e estratégias de P&D e de investimento no setor de carne cultivada no Brasil. Como este documento contém uma série de terminologias técnicas acerca do tema “Carne Cultivada”, recomendamos que você acesse o [Glossário de Carne Cultivada](#).



*Salmão da Wildtype*

# Introdução

A ideia de produzir carne cultivada tem pelo menos quase um século, desde que o então primeiro-ministro britânico Winston Churchill<sup>1</sup> declarou em 1931 que “devemos nos livrar da ideia absurda de criar um frango inteiro para comer apenas o peito ou a asa, cultivar essas partes separadamente em um meio de cultura adequado”, em seu ensaio intitulado **“Fifty Years Hence”**. Certamente, Churchill estava à frente de seu tempo, mas o que ele disse não é mais ficção científica. Nos últimos anos, essa ideia saiu do plano imaginário para se tornar uma alternativa promissora à produção de carne proveniente do abate de animais. Os desafios tecnológicos e econômicos são enormes, mas o aprofundamento científico e tecnológico, potenciais ganhos de escala e automação de processos industriais, podem acelerar o desenvolvimento, o amadurecimento e a sustentabilidade de tecnologias tão disruptivas como esta.

É neste contexto que é necessário avaliar cuidadosamente as alternativas existentes no mercado, os principais *players* e *stakeholders*, potenciais parceiros,

## A produção de carne do Brasil no cenário mundial.

Brasil, China, União Europeia e Estados Unidos devem produzir quase 60% da produção global de carne até 2029. O crescimento da produção no Brasil continuará a se beneficiar de um suprimento abundante de recursos naturais, ração para animais, disponibilidade de pastagens, ganhos de produtividade e, em certa medida, a desvalorização do Real.

Fonte: OECD/FAO (2020) *benchmark database*.

concorrentes, lacunas e gargalos científicos e tecnológicos existentes no país.

Embora prever o ritmo de crescimento de uma indústria em estágio inicial, como a da carne cultivada, seja um desafio, diferentes projeções realizadas até o momento indicam cenários extremamente

<sup>1</sup> Winston Leonard Spencer Churchill (1874-1965)

promissores para o futuro. No relatório da McKinsey, por exemplo, estima-se que em 2030, a carne cultivada poderá responder por até 2,1 milhões de toneladas métricas de produção anual de carne e se tornará uma indústria de 25 bilhões de dólares. Já as estimativas do relatório da A.T. Kearney para 2040, indicam que a carne cultivada deverá ocupar por volta de 35% do mercado global de carnes e valerá cerca de 630 bilhões de dólares.

O crescimento deste mercado não se baseia apenas no aumento da demanda devido ao crescimento da população, mas também devido à percepção geral e à preocupação de que algo deve ser feito com urgência em relação aos direitos dos animais, consumos de energia e água, recursos terrestres agrícolas e impactos ambientais associados a fontes convencionais de proteína animal.

## Produção de soja

A região da América Latina e Caribe continuará sendo a maior produtora de soja, com sua participação na produção global aumentando para mais de 54% até 2029.

Fonte: OECD/FAO (2020)

## Potencial de Exportação

Abundante em terra e água, América Latina e Caribe respondem, juntos, por 13% da produção global de commodities agrícolas e pesqueiras e 25% das exportações desses produtos, ressaltando a importância para a região da abertura comercial em nível global. A demanda de exportação será, portanto, a fonte crítica de crescimento para o setor no médio prazo.

Fonte: OECD/FAO (2020)

O senso de oportunidade já está em vigor quando vemos que empresas como a Cargill e Mitsubishi já estão investindo em *startups* promissoras e agindo para fazer parte deste enorme mercado.

Já é consenso que proteínas alternativas, inclusive carnes cultivadas, são partes importantes da solução para a cadeia de abastecimento. Esse segmento promove outras formas de alimentos derivados de proteínas com maior sustentabilidade, capazes de alimentar uma população cada vez mais alerta, e que exige uma produção de carne segura, nutritiva e saborosa.

O Brasil deve continuar mantendo sua posição de destaque no mercado global de proteína animal, e não há razão para que não seja também um líder na nova economia proteica. Entretanto, devido ao avanço da tecnologia de carne cultivada ao redor do mundo e o pouco destaque que esta área tem recebido até o momento no país, podemos estar perdendo oportunidades importantes neste mercado. Até o momento, os principais participantes do setor não tem se posicionado com proeminência, o que inclui, os pesquisadores acadêmicos e da indústria, grandes produtores / exportadores de alimentos / produtores de carnes / proteínas, empreendedores e investidores de capital de risco, agroindústrias locais, agências governamentais e formuladores de políticas públicas.

## Produção agrícola e de peixes

A produção agrícola e de peixes na região da América Latina e do Caribe deve crescer 14% nos próximos dez anos. Quase dois terços deste crescimento (65%) podem ser atribuídos ao crescimento da produção agrícola, cerca de 28% deve-se à pecuária e os restantes 7% têm origem na expansão da produção piscícola.

Fonte: OECD/FAO (2020)

## A produção de carne do Brasil no cenário mundial.

Brasil, China, União Europeia e Estados Unidos devem produzir quase 60% da produção global de carne até 2029. O crescimento da produção no Brasil continuará a se beneficiar de um suprimento abundante de recursos naturais, ração para animais, disponibilidade de pastagens, ganhos de produtividade e, em certa medida, a desvalorização do Real.

Fonte: OECD/FAO (2020) *benchmark database.*

Os agentes reguladores nos Poderes Executivo e Legislativo podem ser facilitadores desse processo de integração entre os diversos atores. As consequências de entrar tarde demais no setor de carne cultivada podem resultar em prejuízos econômicos e sociais que vão além das margens de lucro e perdas de participação de mercado; podem também afetar metas gerais relacionadas à agenda de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e criar dependências relacionadas ao desenvolvimento dessa tecnologia emergente.

# Panorama Geral

O primeiro hambúrguer de carne cultivada foi produzido a partir de células bovinas cultivadas em laboratório em 2013 pela equipe do professor Mark Post na Universidade de Maastricht, na Holanda. Como resultado do processo tecnológico desenvolvido, o [hambúrguer de tecido muscular bovino de Post](#) custou 200 mil euros naquela época. Em 2019, o mesmo hambúrguer já custava cerca de nove euros. Apesar de representar uma redução significativa no preço, a tecnologia de produção dos hambúrgueres de carne cultivada segue sendo otimizada com a intenção de chegar no mercado a um valor acessível a todos. Atualmente a *startup* holandesa Mosa Meats trabalha na fase de automação e ampliação de sua escala produtiva a fim de [alcançar a escala comercial de produção de carne bovina cultivada](#).



A Mosa Meats é uma das inúmeras *startups* de carne cultivada que tem surgido no mundo nestes últimos anos. A produção de carne cultivada em escala industrial continua sendo um desafio comum a todas as *startups* atuantes no desenvolvimento de uma tecnologia proprietária para produção da carne cultivada.

Essas novas tecnologias exigem um amplo conhecimento e integração de técnicas avançadas de cultivo celular, biologia molecular, engenharias (tecidual, química, de alimentos, mecânica, de materiais, de controle e automação), bioquímica, bioinformática, ciência e tecnologia de biomateriais. A complexidade técnica está presente na produção de todas as carnes cultivadas a partir do cultivo celular, seja para obtenção de carne cultivada de origem bovina, seja de aves, de peixes ou até mesmo de outros animais exóticos e não convencionais.



*Hambúrguer bovino cultivado da Mosa Meat.*

Para superar os desafios correntes, cientistas, empreendedores e investidores criam novas empresas (*startups*) com foco no desenvolvimento de novas tecnologias proprietárias e escaláveis que objetivam a produção de carne cultivada em escala comercial e/ou algum de seus ingredientes e componentes. As empresas [Mosa Meat](#), [UPSIDE Foods](#) (antiga Memphis Meats), [GOOD Meat](#) (Just Foods) e [Aleph Farms](#) são exemplos de *startups* que receberam aportes significativos e crescentes ao longo do tempo para desenvolvimento de tecnologias próprias. Essas novas tecnologias têm o potencial de causar grande impacto na cadeia de suprimentos e serviços essenciais em diversos setores, os quais devem estar preparados para sustentar as novas indústrias de bio-manufatura, como é o caso da carne cultivada.

A fim de suprir a emergente demanda do setor, surgem os fornecedores de novas formulações de **meios de cultura celular**, novos *designs* de **biorreatores**, novos biomateriais para produção de **suportes (*scaffolds*)**, novas moléculas que agregam sabor, odor e textura, e assim surgem novas empresas focadas na cadeia produtiva, incluindo o desenvolvimento de novos ingredientes, suprimentos e equipamentos. As *startups* [Matrix Meats](#) e [Geltor](#), por exemplo, focam no desenvolvimento de tecnologia para a fabricação de *scaffolds* à base de nanofibras e de colágeno, atuando como fornecedores destes insumos para indústrias de carne cultivada.

#### Meios de cultura celular

Uma mistura nutritiva, geralmente líquida, na qual as células animais são cultivadas.

#### Biorreatores

Sistema desenvolvido para realizar um bioprocesso e que apresenta um ambiente propício ao crescimento celular.

#### Suportes (*scaffolds*)

Uma estrutura na qual as células animais são cultivadas para fazê-las formar um tecido muscular que se assemelha a cortes estruturados de carne.

A empresa indiana [Laurus Bio](#) (antiga Richcore Lifesciences) e o [Merck Innovation Center](#) atuam no desenvolvimento de novas **proteínas recombinantes** de origem não animal e outros componentes do meio de cultivo, reagentes e novos bioprodutos para a manutenção de culturas de **células-tronco**. A empresa [OSPIN Modular Bioprocessing](#) é outro exemplo de atuação neste setor, com foco na automação de bioprocessos escalonáveis e design de biorreatores teciduais, e dá suporte a [aspectos importantes do processo de produção da carne cultivada](#).

### Proteínas recombinantes

Proteínas feitas a partir de processos biotecnológicos

### Células-tronco

Células com capacidade de se autorrenovar (gerar mais células-tronco) e de se diferenciar em células mais maduras ou especializadas.

## Grande mercado, porém grandes investimentos

Muito precisa acontecer para que a carne cultivada se torne uma grande indústria - pelo menos dezenas de bilhões de dólares precisam ser gastos para escalá-la até mesmo 1% do mercado global de proteínas.

Fonte: Brennan et al., 2021.

No Brasil as ações seguem ainda em ritmo lento. Em 2021, uma nova *startup*, [Ambi Real Food](#), recebeu financiamento através da aprovação de projeto de P&D junto à FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) [num montante de R\\$ 200 mil](#), um valor tímido para os padrões de investimento necessários. Outro importante agente no desenvolvimento de novas tecnologias para carne cultivada é o [Banco de Células do Rio de Janeiro \(BCRJ\)](#).

O BCRJ oferece seus serviços de assessoria e consultoria para o estabelecimento de linhagens celulares e banco de células para empresas atuantes neste setor. Neste mesmo período, a [BRF](#), empresa multinacional brasileira do ramo alimentício, fruto da fusão entre Sadia e Perdigão, anunciou uma parceria com a *startup* israelense Aleph Farms para produzir e comercializar carne cultivada no Brasil em 2024. Ainda em 2021, a JBS, líder global em proteínas e maior empresa de alimentos do mundo, tornou-se a acionista majoritária da

BioTech Foods (desenvolvedora de carne cultivada), anunciou a construção do primeiro [centro de P&D](#) voltado para o estudo desta [proteína alternativa no país](#).

Mais recentemente, nas primeiras semanas de 2022, a primeira *startup* brasileira voltada ao desenvolvimento de carne cultivada de peixe, a [Sustineri piscis, foi apresentada](#). A carne cultivada está chegando no Brasil.



Todavia, as movimentações e os investimentos dedicados ao desenvolvimento de novas tecnologias baseadas na carne cultivada em outros países são expressivos e desproporcionais quando comparados ao Brasil. Em 2020, os Estados Unidos tornou-se um dos países a receber os maiores investimentos do setor, posição alcançada devido ao aporte de mais de US\$ 160 milhões na UPSIDE Foods (antiga Memphis Meat).

Outro país que se destaca neste cenário é Israel. Em 2020, o país havia garantido US\$ 37 milhões em investimentos, valor que se elevou significativamente em 2021 com a arrecadação de US\$ 105 milhões em uma rodada de financiamento Série B da Aleph Farms. A Europa também se destaca com [investimentos do Governo Espanhol na empresa BioTech Foods](#). O Brasil como um dos maiores exportadores de carne do mundo, conta com empresas de renome internacional, muito bem posicionadas quando se trata de carne convencional. A [JBS](#), por exemplo, está comprometida em ajudar a enfrentar o desafio global de alimentar uma população em crescimento de forma responsável.

Como parte de sua política interna, a [empresa pretende zerar o balanço de emissões de gases causadores do efeito estufa até 2040, além de outras ações de cunho ambiental, social e de governança](#).

**Perante o cenário de investimentos milionários em carne cultivada no mundo, fica a pergunta se o Brasil será capaz de garantir sua posição de destaque no setor de carne ao longo dos próximos anos.**

O nível de maturidade e a velocidade de desenvolvimento de novas tecnologias em carne cultivada nos países desenvolvidos chama a atenção. É visível que a integração da comunidade científica, empreendedores e fundos de investimento têm acelerado o processo de desenvolvimento destas novas tecnologias. A integração entre as políticas agrícola, industrial, econômica, científica e tecnológica, além de um marco regulatório pró-investimento e pró-inovação, são condições necessárias para estes novos produtos entrarem no mercado no menor tempo possível.

A consequência natural da sincronia entre os atores deste ecossistema global foi [o anúncio da comercialização do primeiro empanado de frango \(GOOD Meat™\) fabricado pela empresa Eat Just, apresentado inicialmente no restaurante 1880](#), em Singapura.

No Brasil, importantes movimentações do ecossistema têm sido promovidas. Recentemente, o Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento ([DIPOA/MAPA](#)) e a Gerência de Alimentos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária ([GGALI/ANVISA](#))

participaram do [primeiro workshop sobre carne cultivada promovido pelo GFI Brasil](#).

O evento teve o intuito de reunir e discutir com os agentes reguladores brasileiros aspectos técnicos e informações relevantes para definição de diretrizes sobre a implementação de ações voltadas ao desenvolvimento da carne cultivada no Brasil. A proatividade dos agentes reguladores é fundamental para incentivar e fortalecer o ecossistema de carne cultivada no Brasil e no mundo.



*Frango cultivado da Eat Just*

Como em todo o ecossistema, o papel dos centros de inovação, incubadoras e aceleradoras que atuam na área de biotecnologia e ciências da vida é extremamente relevante. Sabe-se que estes agentes de inovação são fundamentais para a transformação de ideias em produtos, para formação de cientistas-empREENhedores e promovem a conexão sinérgica entre os desenvolvedores de soluções tecnológicas e os investidores.

No Brasil, temos alguns agentes de inovação já estabelecidos e que atuam na área de biotecnologia e ciências da vida. A citar, o [Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia \(CIETEC\)](#), o [parque de inovação SUPERA](#), o [Hub AgTech Garage](#), a [Lyfeli VC](#) e a [aceleradora State](#), no estado de São Paulo, e o [Hub de inovação BiotechTown](#), em Minas Gerais, são apenas alguns exemplos de importantes atores de inovação biotecnológica do ecossistema nacional.

## Uma pequena fatia no início

Em 2030, a carne cultivada poderia fornecer até 0,5% - milhões de toneladas - da oferta mundial de carne, com implicações para vários setores.

Fonte: Brennan et al., 2021.

Na esteira do capital de risco, a [Enfini Ventures](#) é um fundo de investimento atuante no setor de carne cultivada, e se posiciona com forte interesse nas *startups* de carne cultivada da América Latina, por exemplo.

O ecossistema de carne cultivada brasileiro está iniciando sua fase de estruturação, organização e integração e deve se posicionar como um importante *player* deste setor nestes próximos anos, dadas as condições existentes no país e o senso de oportunidade que o tema oferece.

# A Tecnologia da Carne Cultivada



Sala de cultivo da UPSIDE Foods

O desafio de produzir carne cultivada consiste na necessidade de replicar o ambiente de crescimento muscular fisiológico animal em condições controladas (em escala de bancada) ou em uma fábrica (em escala industrial). A engenharia do tecido muscular animal só é possível através de uma extensa compreensão biológica, química e física do desenvolvimento do tecido animal e de suas células.

Os princípios técnicos e econômicos devem ser bem estabelecidos ao longo do processo de evolução da nova tecnologia de produção da carne cultivada para que o produto final seja acessível e se torne uma commodity.

O processo de fabricação da carne cultivada vem sendo desenvolvido por uma série de empresas de inovação biotecnológica. Até 2020, haviam mais de 70 startups focadas no desenvolvimento de carne cultivada. O site [newprotein.org](http://newprotein.org) compila alguns mapas desse ecossistema (The Ket Maps), e dá uma ideia da variedade de empresas, grandes e pequenas, e suas áreas de atuação. A maior parte dessas empresas atuantes no desenvolvimento da tecnologia encontra-se em fase de P&D tanto em escala laboratorial quanto em escala piloto, objetivando a maturidade tecnológica do processo para alcançar a escala industrial a preços competitivos até 2030.

Estima-se que o custo de fabricação da carne cultivada hoje em dia seja de 100 a 10.000 vezes mais elevado do que a carne convencional.

Estes valores dependem principalmente, mas não unicamente, dos custos associados aos ingredientes utilizados nos meios de cultivo celular e seus preços em cada país (VERGEER et al., 2021). De fato, a redução do custo de produção dos meios de cultivo é crítica para que a carne cultivada possa ser comercializada a preços competitivos no futuro. A Mosa Meat, por exemplo, tem trabalhado para solucionar este problema e reportou recentemente dados animadores de redução de custos dos seus meios de cultivo<sup>2,3</sup>.

As metodologias adotadas em cada fase do processo de produção da carne cultivada dependem diretamente do tipo de carne que se pretende produzir, da rota de produção adotada em cada etapa

de fabricação (ex: fluxograma de processo), do uso de energias renováveis e da capacidade de adaptação do processo a novas tecnologias avançadas e disruptivas disponíveis ou que venham a ser desenvolvidas no futuro próximo.

Para que o processo de produção de carne cultivada possa ser visualizado de forma geral, apresentamos na **Figura 1**, de forma esquemática, um fluxograma conceitual das macro etapas que compõem o processo de produção da carne cultivada.

A etapa que envolve o que aqui denominamos “Na fazenda” corresponde à coleta de informações a respeito do animal, como por exemplo, sua genealogia, avaliações genômicas, dados sobre a raça, idade, dieta e ciclos de vacinação ou medicamentos de modo geral, e precede à etapa laboratorial industrial. A escolha do indivíduo doador das células deve ser criteriosa, de modo a atender às características da carne que se pretende produzir no final do processo.



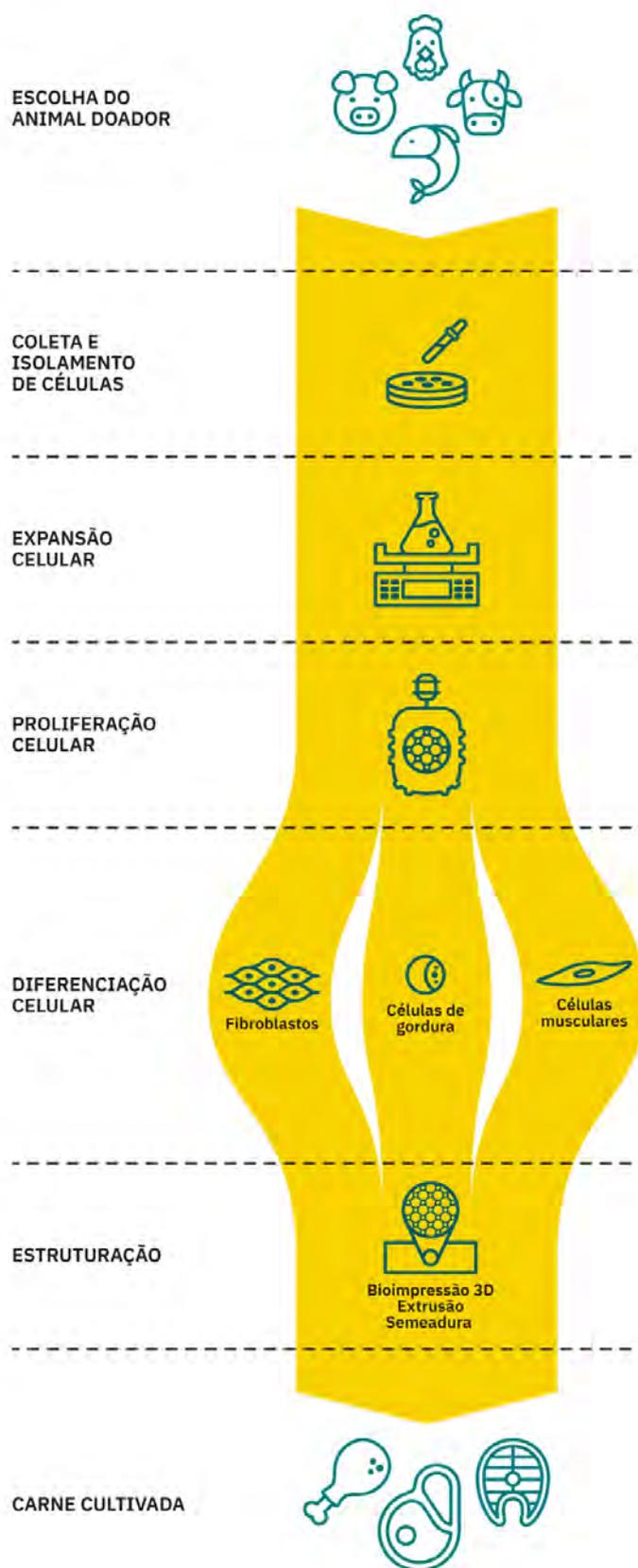
*Sala de cultivo da UPSIDE Foods*

<sup>2</sup> <https://mosameat.com/blog/milestone-over-80x-reduction-in-our-medium-cost>

<sup>3</sup> <https://mosameat.com/blog/milestone-fat-optimization>

Nesta etapa, é importante definir qual será a metodologia adotada para a obtenção do tecido e de qual parte do animal uma amostra será coletada sob condições assépticas, seguindo rigorosos controles de qualidade, manipulação e critérios fundamentais relacionados à saúde e ao bem-estar do animal doador. Normalmente, as metodologias utilizadas para a coleta de uma amostra tecidual são muito parecidas com as técnicas utilizadas em biópsias exploratórias.

O isolamento das células é feito através de técnicas de cultura de células animais em laboratório, onde o tecido obtido do animal é processado de modo a obter-se as células alvo para o início do processo de produção da carne cultivada (Ver Figura 1).



**Figura 1** – Fluxograma conceitual do processo de produção da carne cultivada.

As células-tronco normalmente são células alvo nesta fase de isolamento celular. Isso se deve à sua capacidade de autorrenovação, além de se diferenciarem em outros tipos celulares nas etapas subsequentes do processo. Uma caracterização rigorosa das células escolhidas para iniciar o processo, que inclua proveniência, autenticidade, viabilidade, funcionalidade e análises **fenotípicas e genotípicas**, é crucial para uma execução assertiva da primeira fase do processo. Uma identificação errada, incompleta ou mal feita nesta etapa poderá comprometer o futuro de sua comercialização.

### Fenotípicas e genotípicas

#### Fenótipo

Caráter observável em uma célula ou organismo (incluindo aparência física e comportamento).

#### Genótipo

Constituição genética de uma célula individual ou de um organismo.

### Densidade celular

Refere-se ao número de células em um volume específico.

A proliferação das células é essencial para que se alcance a máxima **densidade celular**, o que garante a progressão do processo para a etapa de **diferenciação** dessas células.

### Diferenciação

Processo pelo qual uma célula torna-se um tipo celular especializado.

O sucesso da etapa de proliferação celular é fundamental para o avanço na escalabilidade do processo. Nesta fase, normalmente, as células são cultivadas em biorreatores onde são utilizados meios de cultivo ricos em ingredientes necessários para a manutenção da viabilidade e proliferação celular.

Ao progredir para a fase de diferenciação celular, as células-tronco são cultivadas em meio de cultivo contendo ingredientes específicos capazes de estimular a diferenciação para cada tipo celular que se pretende obter. A carne convencional é um tecido multicelular, que engloba desde células de suporte, músculo-esqueléticas, vasculares e de gordura, por exemplo.

Na busca pela mimetização da carne convencional, a fase de diferenciação é importante para que seja definido quantos tipos celulares irão compor o produto final pretendido de carne cultivada.

Após a obtenção de diferentes tipos celulares, pode ser necessária uma etapa de estruturação do produto final, conhecida pelo seu termo em inglês, “*scaffolding*”. Nesta fase, as células são cultivadas, agrupadas ou semeadas sobre um suporte de biomaterial comestível, dependendo da estratégia tecnológica adotada. Existem diversas metodologias que podem ser utilizadas e desenvolvidas nesta fase, como por exemplo, a impressão 3D de biotintas (*bioink*) compostas de células e biomateriais, agregação de células e biomateriais, extrusão, entre outras.

### Produto cárneo

Produtos cárneos são, de preferência, obtidos a partir de carne que passa por um ou mais tipos de processo, entre eles, cozimento, salga, defumação ou mesmo somente a adição de condimentos e temperos.

A fase de finalização do produto cárneo

envolve a sua avaliação sensorial. Nesta etapa, pode ocorrer a adição de novos ingredientes que valorizem a percepção sensorial do consumidor ao produto e que ampliem ou até personalizem as características nutricionais da carne cultivada. A adição desses ingredientes deverá, assim como todas as outras etapas do processo produtivo, atender aos requisitos de segurança do alimento e da legislação pertinente. Etapas críticas, como embalagem, armazenamento e controle de qualidade do produto final, também são aspectos a serem considerados nesta fase.

Para maior compreensão, descrevemos, em maiores detalhes, alguns itens relevantes envolvidos no desenvolvimento de uma rota tecnológica para a produção de carne cultivada.

## O Desafio da produção em larga escala

Transformar a carne cultivada em uma indústria global de US\$ 25 bilhões até 2030 apresenta oportunidades dentro e além da indústria de alimentos de hoje, mas isso exigirá a produção anual de 1,5 milhão de toneladas de carne cultivada.

Fonte: Brennan et al., 2021.

# Fonte de células-tronco

O processo de fabricação da carne cultivada pode iniciar com um ou mais tipos celulares. O isolamento e a seleção destas células iniciais (*starting cells*) que serão utilizadas no começo do processo de produção da carne cultivada são, com certeza, uma das mais importantes etapas das primeiras fases do processo. Embora uma certa variabilidade de tipos celulares esteja presente na carne convencional, assume-se que as células músculo-esqueléticas e os adipócitos são os componentes mínimos para produção da carne cultivada (POST et al., 2020).

Do ponto de vista técnico, a seleção das células iniciais requer o atendimento de certos critérios de avaliação quanto à capacidade replicativa (autorrenovação).

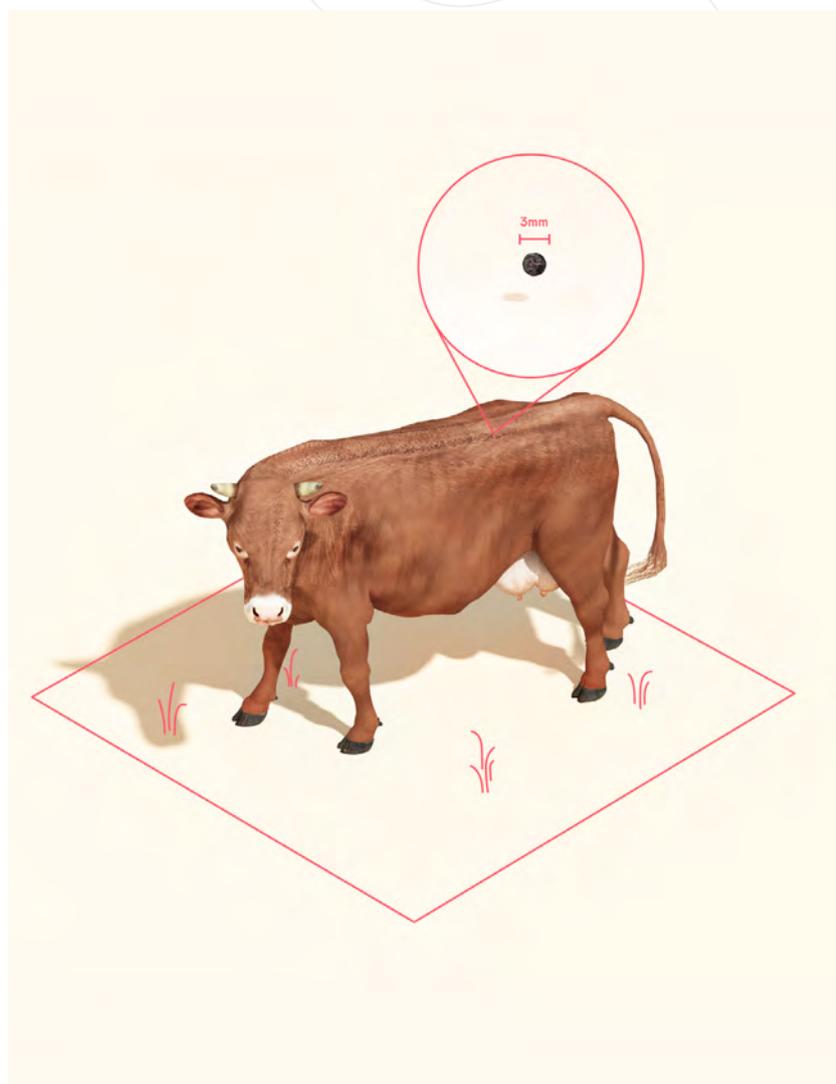


Ilustração de uma coleta de células bovinas (Mosa Meat)

Esse aspecto é importante para que se permita atingir um número de células suficiente para o sucesso do processo, garantir a vida útil do tipo celular<sup>4</sup> e a capacidade de diferenciação em outros tipos celulares em meio de cultivo onde os outros componentes animais são reduzidos ou eliminados – como é o caso do **soro fetal bovino** e a ausência de microrganismos contaminantes – por exemplo, **micoplasmas**, vírus, fungos e bactérias.

### Soro fetal bovino

Fração líquida remanescente após a coagulação do sangue retirado do feto bovino.

### Micoplasmas

Bactérias desprovidas de parede celular que podem contaminar culturas de células.

A população celular inicial pode ser homogênea ou heterogênea, mas a variabilidade entre as amostras tende a impactar o comportamento das células nas etapas subsequentes de produção da carne cultivada. A seleção das células depende diretamente da nova tecnologia a ser desenvolvida, da estratégia operacional e do tipo de carne a ser cultivada. Por isso, caracterizar adequadamente as células e dimensionar os estoques de células criopreservadas é fundamental na fase inicial do processo.

<sup>4</sup> Limite empírico de Hayflick: número de passagens celulares sem alterações significativas no comportamento celular.

Nesta fase inicial, as células selecionadas são cultivadas em sistemas de cultivo 2D, seguida de expansão volumétrica para posterior cultivo em biorreatores de diferentes escalas (POST et al., 2020; SPECHT et al., 2018; VAN DER WEELE; TRAMPER, 2014). Existem diversos tecidos animais de onde as células iniciais podem ser coletadas, mas ainda há muito debate sobre quais seriam os tipos celulares ideais para se usar na produção da carne cultivada em função da espécie animal, raça e tecido de origem.

Em virtude da capacidade das células-tronco de atenderem aos requisitos de proliferação e diferenciação, elas têm sido indicadas como principais candidatas a células iniciadoras do processo de produção da carne cultivada (POST, 2012; POST et al., 2020b; STEPHENS et al., 2018). Do ponto de vista biológico, as células-tronco podem ser obtidas por meio de diversos tecidos animais sejam eles embrionários ou adultos (PAVLOVIĆ & RADOTIĆ, 2017).

## Grandes investimentos são necessários

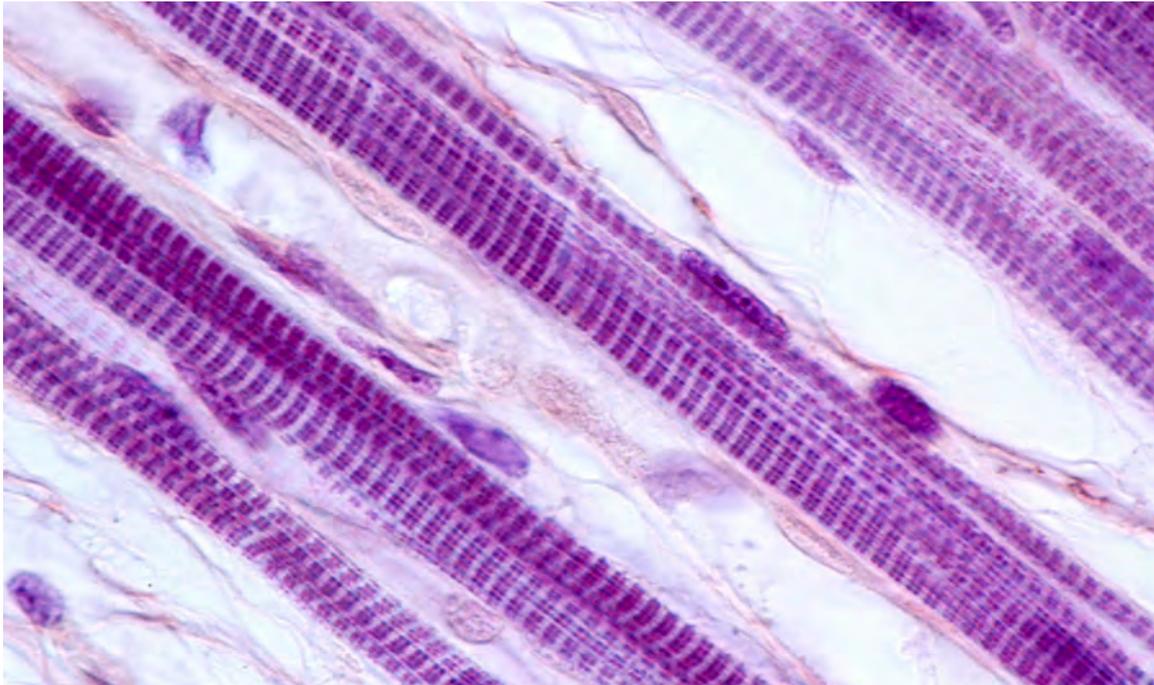
A capacidade atual de cultura de células da indústria farmacêutica é estimada entre 10 milhões e 20 milhões de litros (menos de 10 piscinas). Será necessário um grande aumento de capital apenas para atingir 1% do mercado de proteínas.

Fonte: McKinsey POBOS  
*Pharma manufacturing benchmark database.*

### Blastocisto

Nome dado a um dos estágios de desenvolvimento de um embrião.

As células-tronco embrionárias, obtidas a partir da massa interna do **blastocisto**, apresentam capacidade “ilimitada” de proliferação e um potencial de diferenciação pluripotente, ou seja, têm capacidade de originar todos os tipos celulares que compõem um organismo (POST et al., 2020b; WILLIAMS; DAVIS-DUSENBERY; EGGAN, 2012).



*Micrografia de tecido muscular*

As chamadas células-tronco mesenquimais têm capacidade de diferenciação limitada, mas ainda podem se diferenciar em células dos tecidos ósseo, cartilaginoso e adiposo.

As células-tronco adultas podem permanecer quiescentes nos tecidos, e podem vir a ser recrutadas durante o desenvolvimento tecidual, contribuindo para regeneração de partes do tecido (DÍAZ-FLORES et al., 2006). As células satélites, que são células-tronco adultas do músculo esquelético, podem reiniciar o ciclo celular para se proliferarem e se diferenciarem em mioblastos. Estes possuem número finito de duplicações, constituem o progenitor miogênico dos tecidos do músculo esquelético, e necessitam de pouca manipulação para dar origem a miotubos e miofibras.

As células músculo-esqueléticas são majoritárias na composição da carne convencional, sendo que as células satélites foram as escolhidas para a produção do primeiro protótipo de hambúrguer de carne cultivada (POST, 2014). Enquanto as células satélite têm sua capacidade de renovação limitada, as embrionárias e as células-tronco pluripotentes induzidas (iPSC) têm uma capacidade de renovação praticamente ilimitada (POST et al., 2020).

É válido destacar que os protocolos convencionais de cultura de células satélite e/ou outros tipos de células-tronco necessitam de otimização substancial para que seu uso seja viável na fabricação de carne cultivada em escala industrial (POST, 2014). A enorme demanda comercial do mercado de

proteína animal exige que a produção de carne cultivada atinja escala industrial, e o sucesso disso depende fortemente da adequada propagação de células, o que também promove em muito a importância da engenharia de biorreatores.

A **imortalização** funcional das células pode estender a capacidade replicativa das células favorecendo a sua expansão em escala industrial. No entanto, novas técnicas de imortalização precisam ser desenvolvidas e/ou as técnicas atuais precisam ser aperfeiçoadas, evitando-se a imortalização por

**transdução lentiviral.**

### Transdução lentiviral

Um método para entregar genes de interesse dentro de uma célula.

### Imortalização

Processo que permite que células possam se multiplicar por tempo indefinido em cultura.

O fato é que algumas abordagens genéticas desenvolvidas para a imortalização funcional de células do músculo esquelético humano (ZHU et al., 2007), adaptadas a células de espécies tradicionais de gado, podem fornecer uma fonte alternativa para a biofabricação industrial de carne cultivada (ROBERTS et al., 2015). Sabe-se que, manter as células-tronco em seu estágio indiferenciado é crítico, já que a célula responde rapidamente a estímulos físico-químicos quando em cultura (PAMIES, 2016). Entretanto, resultados recentes mostraram que as células-tronco embrionárias e iPSC provenientes de porcos e vacas foram derivadas e caracterizadas com sucesso (BOGLIOTTI et al., 2018; CHOI et al., 2019; EZASHI et al., 2009; GAO et al., 2019).



No entanto, a derivação de células-tronco embrionárias e iPSC de espécies aviárias, nomeadamente galinhas, resultou em linhagens celulares parcialmente reprogramadas (PAIN; KRESS; RIVALGERVIER, 2018).

De fato, a realização de modificações genéticas nas células utilizadas para a produção de carne cultivada deverá ser um dos assuntos endereçados pelas agências reguladoras, frente ao rápido avanço do desenvolvimento de novas tecnologias. Tais modificações têm grande potencial para melhorar características do produto final, mas

podem ser interpretadas de maneiras diferentes por agências reguladoras de regiões geográficas distintas do mundo, conforme seus marcos regulatórios vigentes. (HANLON & SEWALT, 2021).

Com as tecnologias de produção de carne cultivada em rápida evolução, é provável que múltiplos paradigmas conceituais a respeito das células-tronco encontrem aplicações na manufatura industrial com base nas vantagens inerentes à sua respectiva biologia. Neste contexto, a agropecuária brasileira se destaca pela genética acurada de gados, aves e suínos, principalmente.

# Bancos de células

As células animais mantidas continuamente em cultura, principalmente para a fabricação em escala de um produto ou subproduto, podem se tornar instáveis resultando em alterações de morfologia e função. Uma forma de evitar possíveis alterações na viabilidade ou em outras características das células animais é utilizar-se de adequadas técnicas de congelamento ou criopreservação, as quais permitem a preservação das células por períodos prolongados (MORAES; AUGUSTO; CASTILHO, 2007). Banco de células é o nome dado ao estoque de células criopreservadas em frascos especiais e congeladas a temperaturas negativas. No caso da produção da carne cultivada, o banco de células pode ser considerado o “tesouro” do desenvolvimento de uma nova tecnologia, seja para fins de pesquisa científica ou para fins comerciais. O banco de células mantém uma reserva consistente e reprodutível de células idênticas preparadas e criopreservadas a partir da mesma cultura originária das fases de isolamento e seleção (MORAES; AUGUSTO; CASTILHO, 2007).

Desta forma, o banco de células garante a existência de um suprimento adequado de células animais equivalentes e bem caracterizadas para produção da carne cultivada ao longo dos anos de produção do produto final. Além de fornecer um suprimento constante de material biológico inicial, o banco de células oferece a oportunidade de realizar uma caracterização abrangente das células animais, minimizando o risco de se perder a cultura das células por acidentes de manipulação, contaminações por agentes adventícios ou por falhas em equipamentos nas etapas subsequentes de produção.

O estabelecimento de um banco de células animais exige a adoção de algumas estratégias e métodos. Normalmente, o banco de células é estabelecido em duas fases onde, na primeira fase, se estabelece o Banco de Células Mestre (BCM ou MCB, na sigla em inglês); e, na segunda fase, o Banco de Células de Trabalho (BCT, ou WCB, na sigla em inglês).

O BCM representa uma coleção de células de composição uniforme derivada de uma única fonte de células animais preparada em condições de cultura definidas. O BCT é derivado de um ou mais frascos de células animais provenientes do BCM, que são expandidos por subcultura em série. As células agrupadas são armazenadas em frascos individuais e criopreservadas para constituir o BCT<sup>5</sup>.

Normalmente as células animais utilizadas no processo de produção da carne cultivada são inicialmente descongeladas a partir do BCT e propagadas em condições controladas para averiguar se as funções e características celulares foram mantidas após o período de congelamento.

Métodos para avaliar a integridade da membrana plasmática, atividade metabólica, bem como a proliferação e a capacidade das células de se diferenciarem em diferentes linhagens pós-descongelamento, são apenas alguns exemplos de inúmeros ensaios que podem ser realizados. Os testes de constatação da presença de agentes adventícios após a preparação do BCM e BCT devem ser rotineiros.



A Organização Mundial da Saúde (OMS, ou WHO, na sigla em inglês) e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, ou OECD, na sigla em inglês), disponibilizam uma série de informações pertinentes sobre a caracterização de bancos de células, e citam uma série de testes e análises para a verificação de agentes adventícios<sup>6 7</sup>.

<sup>5</sup> U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration (FDA) – Center for Biologics Evaluation and Research (2010). Guidance for Industry Characterization and Qualification of Cell Substrates and Other Biological Materials Used in the Production of Viral Vaccines for Infectious Disease Indications.

<sup>6</sup> World Health Organization (WHO, 2010). Recommendations for the evaluation of animal cell cultures as substrates for the manufacture of biological medicinal products and for characterization of cell banks.

<sup>7</sup> OECD (2018), Guidance Document on Good In Vitro Method Practices (GIVIMP), OECD Series on Testing and Assessment, No. 286, OECD Publishing, Paris.

A implementação de um sistema de qualidade relacionado ao processo organizacional e às condições sob as quais uma nova tecnologia de carne cultivada é desenvolvida em termos de segurança ambiental devem ser planejados, executados, monitorados, registrados, arquivados e relatados. Portanto, estar de acordo com as Boas Práticas de Laboratório (BPL ou GLP, na sigla em inglês) e, conseqüentemente, com as Boas Práticas de Fabricação (BPF ou GMP, na sigla em inglês) é fundamental para o desenvolvimento de qualquer nova tecnologia baseada em carne cultivada.

O banco de células pode ser desenvolvido in loco nos laboratórios de cultura celular de universidades ou empresas, mas as células utilizadas no processo podem ser adquiridas diretamente de banco de células já estabelecidos, como o [Banco de Células do Rio de Janeiro \(BCRJ\)](#) no Brasil, se planejadas para tal fim.

O BCRJ atua como um Centro de Recursos Biológicos (CRB) sendo um repositório de células humanas e animais; em sua coleção ele mantém células de diversas origens, desde humana até diversos tipos de animais como suínos, caprinos e bovinos, além de insetos, peixes, primatas, mustelídeos e aves. A utilização dessas células em uma futura aplicação comercial, no entanto, deve ser planejada com antecipação e seguir as recomendações dos agentes reguladores, desde o início do processo.

# Meios de cultivo

O desenvolvimento de novas formulações de meios de cultivo (ou meios de cultura) é outra importante demanda quando se trata do desenvolvimento de novas tecnologias para a carne cultivada. A redução do custo dos meios de cultivo utilizados ao longo do processo de produção da carne cultivada tem sido apontada como um dos pontos-chave para a redução significativa dos custos de qualquer rota de produção tecnológica de carne cultivada por meio de bioprocessos, em qualquer escala (VERGEER; SINKE; ODEGARD, 2021b). O fato é que, além de requererem condições de cultivo com parâmetros relacionados à temperatura, concentração de oxigênio e de dióxido de carbono, pH, osmolaridade, etc, as células animais necessitam de nutrientes específicos em concentrações adequadas para cada linhagem celular.

Um dos fatores mais importantes no processo de multiplicação de células animais é o meio de cultivo,

independentemente de sua aplicação. A função do meio de cultivo é proporcionar osmolaridade e pH apropriados para a sobrevivência e multiplicação da célula e fornecer à célula todos os componentes químicos requeridos por ela, os quais ela não é capaz de sintetizar (MORAES; AUGUSTO; CASTILHO, 2007).

Atualmente, para o cultivo de células animais em laboratório, utilizam-se os meios basais suplementados com aditivos complexos como o soro fetal bovino (SFB). As principais funções do soro são estimular o crescimento, a adesão e diversas vias do metabolismo celular por intermédio de hormônios e fatores de crescimento, fornecendo também proteínas para o transporte de hormônios, minerais e lipídeos (FRESHNEY, 2005; MORAES; AUGUSTO; CASTILHO, 2007).



Todavia, a utilização do soro fetal bovino (ou equino, etc) deve ser evitada. Existem limitações éticas pertinentes —além de limitações técnicas—, já que o soro é extraído do sangue de fetos bovinos e equinos por punção cardíaca.

Além disso, o soro apresenta uma grande variabilidade entre lotes e fornecedores, o que dificulta a padronização de meios de cultivo, não atendendo assim a necessidade de se controlar as concentrações de nutrientes do meio ao longo do processo de produção da carne cultivada. O soro também é considerado um componente de risco em potencial pois pode conter microrganismos contaminantes, como fungos, micoplasmas e vírus, além de proteínas como príons.

## Possíveis fontes de insumos para meios de cultivo

Espera-se que os rendimentos médios aumentem nos próximos 10 anos e sejam responsáveis pela maior parte do crescimento da produção de cereais, leguminosas, raízes e tubérculos e cana-de-açúcar. O aumento da produtividade será responsável por 75% do aumento na produção de milho e mais de 50% para a soja.

Fonte: OECD/FAO (2020)

Dadas as informações apresentadas antes, é importante ressaltar que o uso do soro fetal bovino ou equino ou qualquer soro proveniente de animais deve ser evitado no desenvolvimento de novas tecnologias como a da carne cultivada. Existe, portanto, a necessidade de desenvolvimento de novas composições químicas de meios de cultivo para células animais contendo concentrações definidas de cada ingrediente adicionado ao meio de cultivo (VAN DER VALK, 2017). A utilização de meios de cultivo quimicamente definidos apresenta uma série de vantagens em relação ao controle de processo e rastreabilidade, além, é claro, da busca pela redução significativa do custo da formulação. Algumas empresas apontam ter conseguido avançar rapidamente neste sentido.

Podemos citar, como exemplos, a empresa israelense [Aleph Farms, que não utiliza soro e antibióticos para cultivo das células bovinas](#) e a [Mosa Meat, empresa holandesa que afirma não utilizar nenhum ingrediente de origem animal no meio de diferenciação das células animais](#).

Além dessas empresas, pesquisadores ao redor do mundo também têm trabalhado para obter formulações de meios de cultivo livres desse e de outros componentes derivados de animais (DAS et al., 2009; CHAL et al., 2015).

De fato, os meios quimicamente definidos, sem a presença de componentes de origem animal, precisam ser desenvolvidos e sua composição está diretamente relacionada à linhagem de células utilizadas no processo, à etapa do processo (manutenção, proliferação, diferenciação, dentre outras), e às características do produto final.

Os principais componentes de qualquer meio de cultivo de células animais são a água, a fonte de carbono, os aminoácidos essenciais e não essenciais, as vitaminas, os sais e moléculas de alta complexidade que normalmente se encontram no soro, a saber, fatores de crescimento, hormônios, lipídios, entre outros componentes. Apesar dos avanços no desenvolvimento de novos meios de cultivo para células animais, não existe até o momento um meio de cultura universal que possa ser utilizado no cultivo de todas as células, pois cada linhagem celular apresenta um perfil metabólico particular e necessita de diferentes ingredientes para manutenção de suas funções e viabilidade.

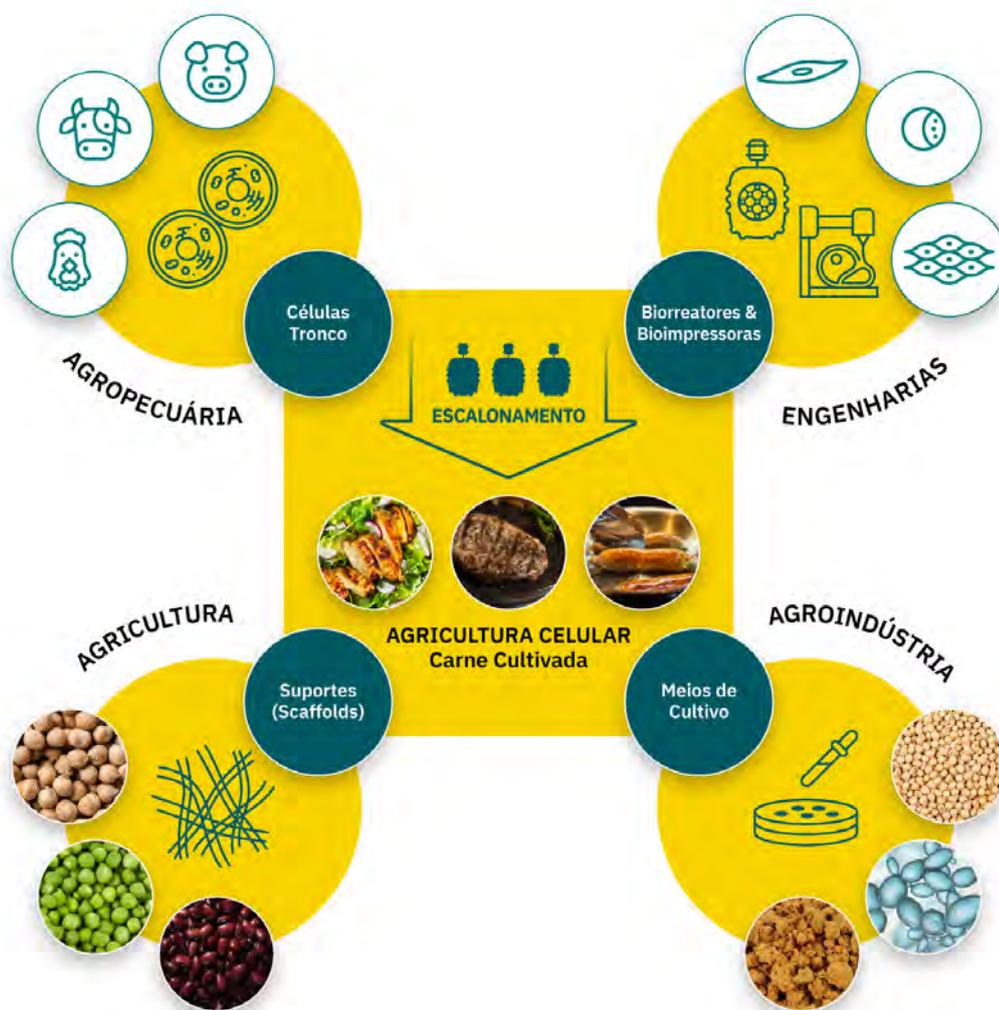
**Neste setor, o Brasil tem uma grande vantagem, o seu avançado setor do agronegócio. A riqueza da biodiversidade brasileira é um grande aliado para a formulação de meios de cultivo especialmente desenvolvidos para células animais nas mais diversas etapas de produção da carne cultivada. De plantas nativas podem ser prospectadas moléculas com aplicações diversas, tais como sinalizadores celulares, aromas, cores e sabores.**

A importância da agricultura, do agronegócio e da agroindústria no desenvolvimento da **agricultura celular**, com foco na carne cultivada, é representada na

**Figura 2.**

### Agricultura Celular

(do inglês *Cellular Agriculture*) refere-se a uma área emergente na qual produtos agropecuários - como carne, leite, ovos, madeira, café, entre outros - são produzidos utilizando o cultivo celular como tecnologia fundamental. A Agricultura Celular usa uma combinação de biotecnologia, engenharia de tecidos, biologia molecular, biologia sintética, biomateriais, engenharia de bioprocessos e biorreatores para criar e projetar estes novos produtos. Como a palavra “Agricultura”, resultado da tradução livre de “Agriculture” em inglês, designa apenas o cultivo de produtos vegetais, alguns pesquisadores desta nova área preferem a utilização do termo “Zootecnia celular”.



**Figura 2** – Os elementos da cadeia de carne cultivada e suas interações. Observe os processos de engenharia tecidual e de bioprocessos necessários para o desenvolvimento do produto comercial em larga escala e a interação entre importantes atores do setor.

# Suportes teciduals

Células animais estão, via de regra, associadas em tecidos, cuja matriz extracelular (MEC) contribui para a sua estruturação, comunicação intercelular e desenvolvimento de suas funções. O microambiente celular é, pois, determinante, dele advindo a sinalização necessária para a diferenciação, maturação e função celular e tecidual.

Em um nível um pouco mais alto, órgãos combinam diferentes tecidos para o estabelecimento de sistemas complexos que dão sustentação aos organismos multicelulares. Embora os animais tenham células que exercem suas funções suspensas em fluidos como, por exemplo, as células da corrente sanguínea, a grande maioria delas depende de interações tridimensionais complexas, ancoradas em matriz extracelular e/ou em contato direto com outras células.

No caso da construção de tecidos por técnicas de engenharia tecidual, um elemento importante é o biomaterial utilizado como suporte (*scaffold*), que dá suporte à adesão, ancoragem e substrato onde a célula se mantém, prolifera ou adapta seu metabolismo. A função do suporte é, em consequência, estendida para atender a integração celular, determinar sua fisiologia, e estruturar o material em nível macroscópico.



Na busca do suporte ideal, bons candidatos são aqueles ricos em fibras comestíveis, de alto conteúdo proteico, ou mesmo de gordura. **É importante que esses componentes, suportes (*scaffolds*) ou aditivos alimentares, sejam “geralmente reconhecidos como seguros” (ou GRAS, na sigla em inglês).** Proteína texturizada de soja, de ervilha e/ou outros componentes de origem vegetal podem bem servir a esse propósito. No caso de biomimetização óssea, biomateriais não comestíveis que mantenham o compromisso de segurança do alimento e satisfaçam requisitos sensoriais podem ser testados como alternativa estrutural e funcional.

O estágio e/ou o momento em que se combinam suporte e células é um dos pontos diferenciais em que tecnologias alternativas podem competir favoravelmente, umas em relação às outras, a depender das características finais do produto desejado. **Há aqui uma janela de oportunidades para a inovação e para o desenvolvimento de novas tecnologias de bioprocessos para obtenção de novos suportes teciduais, e a agricultura nacional, tanto a industrial quanto a familiar, pode ser uma forte aliada.**

# Biorreatores

**Na produção de carne cultivada, uma das tecnologias que mais necessitam de atenção e desenvolvimento é a engenharia de biorreatores.**

Biorreatores são dispositivos ou equipamentos onde reações bioquímicas e transformações biológicas são conduzidas de forma a se obter um ou mais produtos de natureza biológica. Normalmente, essas (bio)reações são promovidas por enzimas (genuínos catalisadores bioquímicos), microrganismos ou células, em recipientes ou vasos onde os meios de cultura, temperatura, pH e outras variáveis de processo podem ser devidamente monitoradas e controladas.

No caso da agricultura celular, mais propriamente na produção de carne cultivada, os biorreatores são os equipamentos encarregados de transformar uma célula-tronco inicial em produtos que contêm células diferenciadas e maduras de diversos tipos.



*Biorreatores da UPSIDE Foods*

Depois de testados em escala de bancada e escala piloto, os biorreatores devem ser projetados para a escala comercial, onde normalmente volumes muito maiores devem ser manipulados (milhares de litros). Para esta etapa é fundamental que se conheça as cinéticas envolvidas, os mecanismos e coeficientes de transferência de massa pertinentes, e as limitações termodinâmicas impostas ao bioprocessamento.

É importante observar que deverão ser disponibilizados biorreatores para o processo de expansão de células-tronco. Nesses equipamentos, almeja-se a contínua proliferação de células progenitoras, de forma a se obter populações adequadas para os bancos de células que formarão a base para a expansão celular necessária para a partida de reatores de maior escala (escalas piloto e comercial), os inóculos, dos quais se poderá realizar maior expansão e que, posteriormente, alimentarão os biorreatores onde haverá diferenciação celular. Cada linhagem específica (ou tipo celular) deve ter seu meio de cultivo e condições de processo adequados para que, a partir da célula-tronco originária (pluripotente ou adulta), seu destino final seja a célula madura escolhida para compor o tecido final, ou seja, o produto cárneo de interesse. Os biorreatores podem operar de forma descontínua (em bateladas), semi-contínua (batelada alimentada) ou contínua. Preferencialmente, na produção em larga escala, o processo deve ser contínuo, embora na escala de bancada os experimentos conduzidos em pequenos biorreatores sejam, em geral, conduzidos em bateladas (em vasos de uns poucos litros). Uma exceção, são os experimentos que exigem operação em regime estacionário, para o que se utiliza o conceito de quimiostato, um biorreator onde as condições de operação não variam durante o período de estudo.



*Biorreator da UPSIDE Foods*

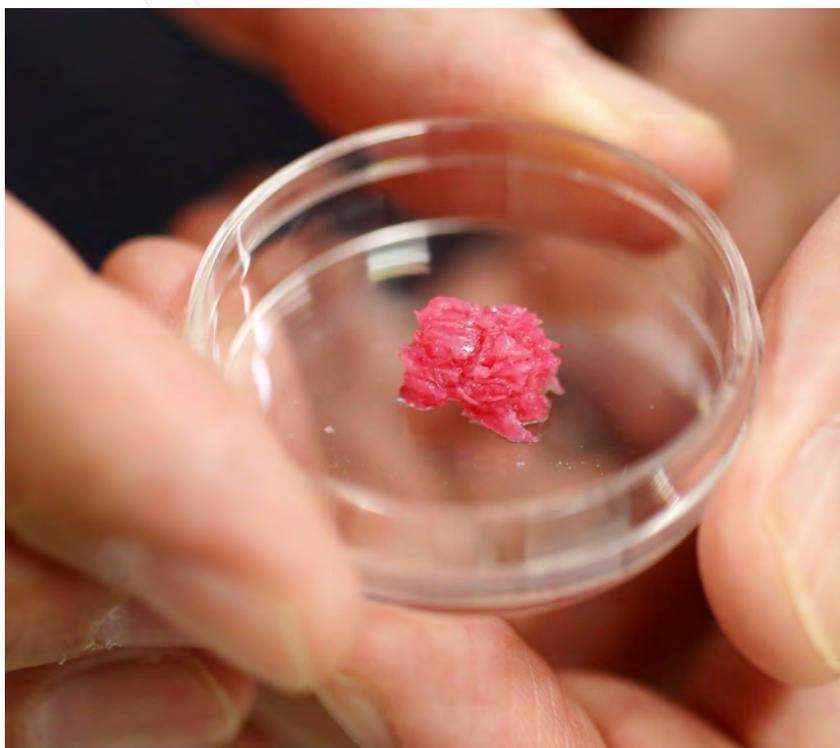
# Biorreatores tecidualais

Embora biorreatores do tipo contínuo de tanque agitado mecanicamente (em inglês, *stirred tank reactor*, STR) sejam utilizados para o cultivo de células animais, um caso particular e que merece especial atenção são os biorreatores tecidualais. Nesse caso, há o interesse em se aumentar a densidade celular ao seu ponto máximo, sem, contudo, perder as propriedades das células e permitindo a elas a formação de tecidos. Esses tecidos podem ser obtidos pela combinação de mais de um tipo celular, acoplados a suportes comestíveis, no caso de tecidos moles, ou não, para o caso de mimetização de carne com osso.

Exemplos desses biorreatores são os de movimento ondulatório (*wave bioreactors*, em inglês), onde o meio de cultivo e as células são agitados de forma delicada, promovendo a troca de gases e nutrientes sem que se submeta as mesmas a estresses mecânicos que poderiam afetar seu desejado fenótipo; um outro caso é do biorreatores de parede rotativa, cujo objetivo é o de simular forças gravitacionais através do movimento do sistema de cultura celular. São também de particular interesse os biorreatores de perfusão, que também podem operar de forma contínua.



Nesse caso — mas ao contrário dos quimiostatos —, as células são retidas no biorreator ou alimentadas de volta para ele. O meio que transpassa o biorreator, portanto, não contém células, resultando em maiores concentrações de células e rendimentos de produto no biorreator. Para se evitar os estresses produzidos por agitação mecânica, outros sistemas de fluxo (por exemplo, biorreatores do tipo *air lift*) podem ser utilizados e/ou desenvolvidos.



*Wagyu cultivado por cientistas da Universidade de Ozaka, Japão. Imagem da [Reuters](#).*

Em quaisquer dos casos, é importante observar que esses são tipos de biorreatores que não foram desenvolvidos com o propósito de se produzir alimento e sim para encontrar condições ideais de manutenção de certas propriedades celulares. **Há, portanto, oportunidades para inovação e desenvolvimento de novos conceitos e tipos de biorreatores para os propósitos de carne cultivada.** A engenharia de biorreatores é uma área onde o desenvolvimento tecnológico poderá auxiliar na obtenção de produtos avançados de carne cultivada.

# Bioimpressão

Numa outra linha, há inúmeras oportunidades para a composição de tecidos a partir da bioimpressão de células e outros componentes comestíveis, a partir de biotintas apropriadas para a impressão 3D (manufatura aditiva, *layer-by-layer*, em inglês).

Naturalmente que a bioimpressão em escala comercial de produtos cárneos exigirá grande desenvolvimento e soluções inovadoras, mas essa é uma tecnologia que pode promover a obtenção de biomiméticos ou análogos de cortes tradicionais com maior facilidade do que tecnologias convencionais de biorreatores.



*Filé de costela cultivado produzido por bioimpressão da Aleph Farms*

# Otimizações Celulares



A comercialização da carne cultivada a preços acessíveis dependerá de diversos fatores, alguns deles relacionados à eficiência do processo, o que inclui a otimização do uso de meios de cultivo e outros insumos, dos custos operacionais e dos investimentos em equipamentos e infraestrutura. Do ponto de vista da engenharia de biorreatores, esses equipamentos tornam-se mais compactos e, portanto, mais baratos, quando as cinéticas são favorecidas. No caso da cinética de crescimento celular (i.e., multiplicação de células), intervenções no genótipo podem permitir velocidades mais altas de replicação, e aumentar o número de passagens antes de se atingir limites críticos de senescência.

Isso pode ser conseguido por técnicas de engenharia evolutiva ou por modificações genômicas projetadas para tal fim (engenharia genômica). Prolongamento de telômeros, por exemplo (por ação de telomerasas mais eficientes) e outras técnicas de imortalização celular poderiam resultar em células otimizadas para a produção de carne cultivada. A engenharia genômica compreende um grande arsenal de ferramentas de aperfeiçoamento genômico, incluindo métodos e técnicas de bioinformática, engenharia metabólica, biologia sistêmica e biologia sintética. Fazer uso dessas ferramentas poderia contribuir para a competitividade dos bioprocessos de carne cultivada, embora a percepção tanto do público quanto de agentes reguladores pareça ser inicialmente desfavorável.

Técnicas inovadoras como a do sistema **CRISPR/Cas9** e outros sistemas mais recentes permitem a realização da edição do genoma das células iniciais com grande precisão; o controle da expressão gênica por ativação ou inativação de genes também pode ser estudado e monitorado por análise e controle de fluxos metabólicos; por outro lado, a regulação epigenética da expressão de genes por influência do meio de cultivo, por exemplo, pode ser feita sem haver modificação genética da célula.

## Redução drástica de custos

Desde o desenvolvimento dos primeiros protótipos, as empresas conseguiram reduzir os custos de produção em 99%.

Fonte: Brennan et al., 2021.

### CRISPR/Cas9

Um método de edição genômica que deu início a uma nova revolução na biologia sintética.

Cabe ressaltar que as edições genéticas realizadas nas células pós-biópsia afetarão apenas a linhagem celular derivada após a modificação, não sendo esperada, portanto, a transmissão destas modificações para outros organismos vivos ou disseminação destas células no meio ambiente. Nesse sentido, as células otimizadas para a produção de carne cultivada não necessariamente serão tratadas como OGM (organismos geneticamente modificados), tal como estabelecido pela Lei de Biossegurança do Brasil.

Obviamente que, essas e outras modificações precisam ser estudadas quanto a seus efeitos, tanto na segurança quanto nas características do produto final, e devidamente regulamentadas pelas agências pertinentes.

# O Papel da Academia



A produção de carne cultivada em escala comercial é um empreendimento multidisciplinar, que exige a atenção de profissionais de diversas áreas técnicas, e de compreensão de um mercado complexo e que será cada vez mais dinâmico. O mercado de proteínas alternativas se beneficiará de uma grande competição entre tecnologias concorrentes, algumas ainda a serem descobertas, e produtos que atraiam a atenção e preferência dos consumidores finais, trazendo demandas contínuas sobre todo o ecossistema em questão.

**O desenvolvimento da agricultura celular no Brasil, em particular da carne cultivada, abre inúmeras oportunidades acadêmicas tanto para quem venha a oferecer vagas para os profissionais que atenderão o setor, quanto para jovens talentosos que vêm procurando oportunidades para suas futuras carreiras.**

A exemplo do que ocorreu com outras áreas multidisciplinares, como a nanotecnologia e a bioinformática, a agricultura celular se beneficiará da introdução de novas disciplinas em cursos tradicionais, mas também da criação de novos cursos de graduação, novas especializações e linhas de pesquisa de mestrado e doutorado, em diversos programas de formação de recursos humanos.

Ao contrário, no entanto, de formações que exploram técnicas e metodologias direcionadas a temas específicos, a agricultura celular não é uma área temática, e sim a conjunção de diversos campos de aplicação, com vistas à obtenção de toneladas de um produto industrial complexo.

No caso da carne cultivada, o desafio se dá a partir de uma única célula inicial, obtida de forma seletiva de um animal de interesse. Este pode ser um animal já domesticado (boi, porco, frango, peixe, camarão, etc), ou até um animal selvagem ou mesmo exótico, do ponto de vista nutricional ou comercial.



O que precisa ser domesticado, neste caso, é a célula inicial, que necessita de um ambiente adequado para crescer e se reproduzir, em velocidade e quantidade compatíveis com a demanda a ela imposta. A propósito, ferramentas de bioinformática e nanotecnologias podem ser apenas duas dentre várias facetas da tecnologia de construção de produtos de carne cultivada. Caracterização de perfis genéticos podem ser importantes para se

garantir a desejada estabilidade celular, do ponto de vista genômico, assim como nanofibras e outros biomateriais nanoestruturados podem ser parte de formulações comerciais. Em outras palavras, a formação do profissional qualificado para trabalhar com carne cultivada deverá ter preocupações com matérias tão diversas quanto biologia molecular e biomateriais.

# Como formar profissionais para atuarem em carne cultivada?

A tecnologia da carne cultivada exige profissionais gabaritados em diversas áreas, e seria adequada uma formação vertical que cobrisse todas as áreas de interesse. Todavia, o tempo de formação e os esforços necessários para a devida capacitação demandam o aprofundamento em tantos conceitos, técnicas e ferramentas que, no momento, o mais razoável é o trabalho em equipe, com o aproveitamento de profissionais das áreas pertinentes. As atividades de produção de carne cultivada precisam ser naturalmente divididas entre colaboradores que tenham formação em biologia molecular, biologia celular, bioquímica, bioprocessos, biomateriais, engenharia de alimentos, engenharia química, engenharia tecidual, entre tantas outras. Quando essa nova indústria alcançar níveis de maturidade elevada, cursos de especialização ou mesmo cursos de graduação com vocação

para a agricultura celular poderão ser necessários para atender demandas do mercado de trabalho. Antecipando essa futura lacuna e certos de que o debate sobre a criação de cursos de graduação focados na área da carne cultivada precisa começar, o GFI elaborou uma proposta de projeto pedagógico para uma graduação focada em carne cultivada. A proposta estará disponível em breve e foi concebida considerando toda a multidisciplinaridade necessária para uma formação deste tipo. É importante salientar que formações em nível de pós-graduação com foco em carne cultivada, já são realidade no Brasil desde 2020 em virtude da [iniciativa e pioneirismo da Universidade Federal do Paraná \(UFPR\)](#).

# Oportunidade para jovens pesquisadores

A tecnologia de carne cultivada é também um movimento na direção de tecnologias sustentáveis, de valorização do bem estar animal, da preocupação com o meio ambiente, e da segurança alimentar. Como tal, oferece um cenário motivador para jovens que querem fazer parte da história de seu tempo, que buscam contribuir para os grandes desafios da humanidade e da sustentabilidade do planeta.

A formação deste novo profissional, assim como a formação de qualquer uma das chamadas “profissões do futuro”, envolve um caminho interdisciplinar, longo e complexo, mas com grandes possibilidades de retorno pessoal e profissional.



Ela exige conhecimentos que vão da biologia básica à engenharia avançada de biorreatores, engenharia genômica, engenharia biológica, engenharia tecidual (ou de tecidos), a depender do nível de especialização requerido; oferece, portanto, uma excelente oportunidade para jovens profissionais se inserirem num mercado que promete alta empregabilidade, além de um papel social e ambiental altamente relevantes.

# Novas tecnologias



Sabe-se que há grande intimidade entre tecnologias médicas e as que são ou serão utilizadas para o desenvolvimento e produção de carne cultivada, em particular àquelas relacionadas às técnicas de engenharia tecidual e de medicina regenerativa. O que pode não ser tão óbvio é a possível sinergia de desenvolvimento para ambos os setores: o que se descobre em um setor pode ser muito bem transferido para o outro. **É preciso ficar atento a novos métodos e técnicas em áreas tão distintas quanto a impressão de órgãos, a biofotônica e a nanotecnologia.** Para aplicações focadas na produção de carnes, marmoreio de gorduras pode ser adicionado por técnicas avançadas de bioimpressão, por exemplo, promovendo estrutura e sabor (LANZA et al., 2020).

*[Aleph Zero](#), programa para criar carne cultivada no espaço da Aleph Farms*

O uso de laser para o deslocamento de partículas de matéria para formação de estruturas organizadas não é só do interesse da medicina, por exemplo para separação de células, ou entrega de fármacos ou substâncias microencapsuladas para o interior de células; pode também ser do interesse na produção de tecidos, incluindo produtos cárneos. Entre possibilidades adicionais, por outro lado, o uso de nanotecnologias e nanomateriais pode ser de grande valia na produção de suportes e estruturação de biomateriais para a composição de notáveis novos bioprodutos.

# Oportunidades de pesquisa

As oportunidades de pesquisas científicas englobam projetos que investigam desde o estabelecimento de linhagens celulares, com forte viés para o uso de células-tronco, que suportam seu uso em grandes escalas industriais, a formulação de meios de cultivo específicos para cada etapa do processo de destino celular, o mapeamento de moléculas biologicamente ativas derivada da biodiversidade ou das próprias células, que podem ser ingredientes indispensáveis nos meios de cultivo ou como moléculas agregadoras de sabor e odor, subprodutos ou produtos da agricultura que podem ser transformados em substratos fibrosos, saborosos e ricos em nutrientes que favorecem a estruturação (*scaffolds*) dos produtos, design de biorreatores teciduais, bioimpressoras eficientes para impressão 3D, dentre outras oportunidades desta nova indústria de bio-manufatura.

Sabe-se que o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), assim como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Agência Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) são fundamentais para ao estímulo ao desenvolvimento tecnológico do Brasil. A ação do Estado empreendedor (MAZZUCATO, 2011) é fundamental na alavancagem de setores disruptivos de alta tecnologia. No caso do setor de carne cultivada, ações estatais como as verificadas em Israel e Singapura, por exemplo, corroboram esta afirmação. **No Brasil, uma integração sinérgica entre as políticas agrícola, econômica, industrial e de ciência e tecnologia pode garantir que o Brasil seja protagonista no cenário global de carne cultivada.**



Mecanismos simples e ágeis que estimulem a parceria público-privada podem ajudar em muito para que a relação entre pesquisadores, indústria e investidores seja efetiva e suporte os projetos em seus diferentes graus de incerteza e risco. Nesse cenário, as universidades e institutos de pesquisa devem ser a força motriz da inovação e suas estruturas internas de propriedade intelectual e transferência de tecnologia devem estar em linha com as demandas e desafios do setor de carnes cultivadas.

Por outro lado, os habitats de inovação como as incubadoras, aceleradoras e os centros públicos e privados de inovação são também importantes atores, por serem

o *locus* onde as iniciativas empreendedoras das *startups* focadas no setor de carne cultivada recebem o suporte necessário para construção e validação de suas propostas de valor, qualificando seu acesso ao mercado de investimento em capital empreendedor.

A transformação de um cientista em um empreendedor e a transformação de ideias inovadoras em soluções tecnológicas dependem da atuação sinérgica de todos estes agentes do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro. Como observado em outros países, como Holanda, Israel e Estados Unidos, as universidades têm um papel extremamente relevante quanto ao apoio às *startups* de base biotecnológica e de ciências da vida.

# O Desafio da Indústria e as Oportunidades de Investimento

A indústria de proteína animal brasileira é uma das mais importantes do mundo. A JBS e a BRF são grandes produtoras de proteína animal e duas gigantes do setor, o que não impede que empresas pequenas convivam absolutamente bem com as grandes, segundo a [Associação Brasileira de Proteína Animal \(ABPA\)](#). O Brasil chegou a essa posição por diversos fatores, mas é inegável a vocação do país para a produção de proteína animal.

Contribuem para isso o gosto do brasileiro pelo consumo de carne, sobretudo bovina, a exemplo também de nossos vizinhos argentinos, as extensões de terras agricultáveis, os avanços tecnológicos da agroindústria, a formação de recursos humanos para o setor, e o incentivo à



*Espetinho produzido pela UPSIDE Foods*

pesquisa pelos órgãos de fomento e governamentais.

A indústria de alimentos do país tem demonstrado grande flexibilidade e poder de adaptação.

O varejo enche as prateleiras dos supermercados com produtos criativos e de qualidade cada vez maior. A indústria de carnes se adaptou às demandas externas, exportando produtos que atendem não apenas à legislação brasileira mas também aderem aos protocolos de outros países, culturas e práticas religiosas.

Do campo ao porto, nossos produtos são exportados para todo o mundo, com cadeia de frio, distribuição e logística bem estabelecidas. Todo esse potencial deve motivar o setor produtivo a aderir aos novos cenários e desafios colocados pela nova indústria da carne cultivada. Há inúmeras oportunidades de investimento, tanto para os atuais atores do mercado, quanto para investidores de todos os níveis.

O desafio da indústria nacional é manter a sua competitividade, em nível global, e adaptar-se rapidamente às novas tecnologias e aos novos mercados. O empresariado brasileiro do setor é audacioso e já provou sua competência na produção de proteína de origem animal.

## **Startups e investimento no setor**

A indústria, que atualmente compreende menos de 100 *startups*, atraiu cerca de US\$ 350 milhões em investimentos em 2020 e cerca de US \$ 250 milhões até Junho/2021 de alguns dos maiores players de proteína animal, incluindo Tyson e Nutreco, e investidores conhecidos, incluindo Temasek e SoftBank.

Fonte: Brennan et al., 2021.

Agora é a hora de utilizar o conhecimento acumulado e expandi-lo para garantir protagonismo no cenário mundial também no campo das proteínas alternativas.

**O país está partindo um pouco atrasado, mas temos força para recuperar e ultrapassar os concorrentes. Para isso é fundamental o investimento em desenvolvimento de tecnologia própria, e não apenas na absorção de tecnologia externa. Se o país quiser ser também um líder no setor de carne cultivada, deve apostar suas fichas no novo mercado, assim como fez no passado recente em setores que agora são considerados tradicionais e consolidados.**

# As projeções de mercado

A iniciativa [FAIRR](#), uma rede colaborativa estabelecida pela Fundação Jeremy Collier, é uma rede colaborativa de investidores que almeja aumentar a conscientização sobre os riscos e oportunidades ambientais, sociais e de governança (ASG ou ESG, na sigla em inglês) trazidos principalmente pela produção intensiva de gado. A FAIRR, em parceria com investidores e importantes *players* do mercado de proteínas animais, oferece ferramentas de análise de mercado a fim de auxiliar investidores e a indústria no seu posicionamento e na redução dos riscos de investimentos frente às tendências ambientais, sociais e regulatórias de longo prazo. A capacidade das empresas de antecipar e navegar com sucesso por essas mudanças é extremamente relevante para garantir seu posicionamento no mercado mundial.

Em maio de 2021, a projeção da FAIRR estimou que a indústria da carne cultivada movimentará cerca de US\$ 572 milhões em 2027, representando uma taxa composta de crescimento anual de 15%. Considerando que o ano de [2020 encerrou com cerca de US\\$ 360 milhões investidos](#), os fluxos de capital para a indústria de carne cultivada

atingiram, até Setembro de 2021, mais de US\$ 1 bilhão.

Com certeza, a diversificação do portfólio de proteínas apresenta uma oportunidade para a indústria compensar os riscos não financeiros associados à dependência excessiva de proteínas de origem animal. O aumento da produção de proteína de origem animal para consumo humano através da intensificação da atividade pecuária tradicional traz em si desafios significativos no que toca à sustentabilidade e uso de recursos naturais finitos. **Por isso, a diversificação de proteínas é crucial para a mitigação de riscos e a carne cultivada apresenta-se como uma solução potencial para várias questões ambientais.**

## Aumento da produção mundial de carne

Países em desenvolvimento devem responder por 81% da carne bovina adicional produzida no período 2021-2029. A maior parte dessa expansão deve ocorrer na Argentina, Brasil, China, Paquistão, África Subsaariana e Turquia.

# O Apoio à Pesquisa e Extensão Rural

A pesquisa agropecuária no país possui uma tradição de apoio estatal de grande importância para o setor, trabalhando em conjunto com o setor produtivo, e promovendo a inovação. No plano nacional, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, empresa pública de pesquisa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA), fundada em 1972 e com cerca de 10 mil funcionários, tem prestado serviços de altíssima relevância, e impulsiona o setor de formas diversas, seja como geradora e transferidora de tecnologias, seja no apoio à grande indústria e ao pequeno produtor rural. Agências estaduais também têm o seu lugar e relevância. No Estado de Santa Catarina, por exemplo, um papel semelhante é desenvolvido pela EPAGRI, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural, fundada em 1991, e que conta com mais de 2 mil funcionários.

É importante que esse apoio governamental seja dado também à indústria de carne cultivada, com a integração dos sistemas de produção, o apoio ao pequeno, ao médio e ao grande produtor, à indústria de insumos e de equipamentos, assim como à assistência técnica e à formação de pesquisadores.

No GFI, nosso compromisso em acelerar o desenvolvimento da indústria da carne cultivada inclui a realização de programas de financiamento à pesquisa científica. Em especial, buscamos alocar recursos em pesquisas de acesso aberto de alto impacto capazes de solucionar desafios técnicos e superar lacunas de conhecimento. [Entre 2019 e 2021, nosso programa de incentivo à pesquisa \(GFI's Research Grant Program\)](#) concedeu mais de 13 milhões de dólares para 82 projetos de 17 países diferentes.

Deste total, 43 projetos estão focados em carne cultivada, sendo que alguns deles estão sendo conduzidos por cientistas brasileiros.

A adesão dos grandes produtores à nova indústria deve promover um alinhamento natural no setor, sobretudo com a maturação das tecnologias disruptivas em andamento, unindo produtores de matérias-primas, fornecedores em geral e distribuidores.



## **Demandas na América Latina e Caribe**

A região da América Latina e Caribe compreende cerca de 8,5% da população global e adicionará outros 60 milhões de pessoas até 2029. Sua população urbana aumentará em 66 milhões de pessoas, elevando a taxa de urbanização para 83%, a mais alta entre as regiões em desenvolvimento

Fonte: OECD/FAO (2020)

Para o caso de grandes empresas, o modelo verticalizado pode dar lugar a parcerias estratégicas com pequenos produtores de insumos ricos em micronutrientes, advindos de atividades já existentes e/ou a serem desenvolvidas.

Novos programas para incentivo a pequenos produtores podem motivar a inovação no campo e na cidade, com novos ingredientes a serem utilizados como matéria prima e/ou na formulação de novos produtos, que utilizam a carne cultivada como base para novos alimentos proteicos.



# As Demandas Regulatórias

Os agentes reguladores exercerão um papel fundamental na consolidação do setor de carnes cultivadas no Brasil. Cabe a eles a responsabilidade de conduzir o [processo de Análise de Impacto Regulatório e definir os moldes de operação do setor](#). A construção de um marco regulatório favorável à inovação e ao investimento, alinhado com as experiências regulatórias desenvolvidas em outros países, é fator determinante para a velocidade com que o mercado brasileiro irá se desenvolver. Merece destaque nesse cenário o papel da Gerência-Geral de Alimentos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (GGALI/ANVISA) e do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura (DIPOA/MAPA).

O estudo regulatório contratado pelo GFI junto ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) que será publicado em breve, mostra que os países da União Europeia, Canadá, Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Singapura iniciaram o processo de regulamentação dos novos alimentos produzidos a partir de cultura celular. As agências reguladoras de cada país determinam as diretrizes pertinentes aos controles sanitários relacionados ao processo de produção, assim como as liberações para instalação de unidades fabris a fim de garantir segurança deste novo alimento.

Na Austrália e na Nova Zelândia, a regulamentação dos novos alimentos é responsabilidade da Food Standards Australia New Zealand (FSANZ), autoridade de padrões de alimentos da Austrália e Nova Zelândia.

A FSANZ afirma que seu sistema atual de regulação de alimentos é suficiente para avaliar novos tipos de alimentos, incluindo alimentos produzidos por novas tecnologias. Até o momento nenhuma proteína obtida por cultura celular foi aprovada nesses países.

No Canadá a responsabilidade por regulamentar os alimentos é compartilhada pela Health Canada, uma instituição federal do Ministério da Saúde, e pela Canadian Food Inspection Agency (CFIA), uma agência dos Ministérios da Agricultura, da Saúde e da Ciência e Tecnologia do Canadá. O CFIA define novos alimentos (*novel foods*) como:

(a) uma substância, incluindo um microrganismo, que não tem histórico de utilização segura como alimento; (b) um alimento que foi produzido, preparado, preservado ou embalado por um processo (i) que não tenha sido aplicado anteriormente a este alimento, e (ii) que provoca alteração significativa nas características do alimento; (c) um alimento derivado de organismos (plantas, animais ou microrganismos) geneticamente modificados de modo que: (i) o organismo passou a exibir características nunca antes observadas,

(ii) o organismo deixou de exibir características anteriormente presentes, ou (iii) uma ou mais características do organismo já não se encontram dentro da faixa esperada (*novel food*).

Singapura, o primeiro país a aprovar a comercialização de carne cultivada no mundo, possui a Singapore Food Agency (SFA) como agência responsável por supervisionar a segurança alimentar e a segurança de alimentos desde o campo até a mesa. [Em 1 de dezembro de 2020, a SFA aprovou a venda de carne cultivada de frango da empresa Eat Just Inc., com a marca GOOD Meat™](#), um marco histórico para a nova geração de alimentos. A SFA define novos alimentos como alimentos ou ingredientes alimentares que não têm um histórico de uso seguro.

A definição de novos alimentos também pode incluir compostos quimicamente idênticos às substâncias que ocorrem naturalmente nos alimentos, mas produzidos por meio de avanços tecnológicos. Com uma política de evitar atrasos processuais, as empresas são incentivadas a consultar a SFA no início do

processo, para entender as informações que deverão ser providenciadas na comprovação da segurança de seus novos produtos. A SFA estima um prazo de três a seis meses para concluir cada solicitação de avaliação de novos alimentos.

Para avaliação de segurança da carne cultivada, a SFA atualmente solicita as empresas as seguintes informações: uma descrição de todo o processo de fabricação, caracterização da carne cultivada, incluindo composição nutricional e comparação das taxas residuais de aminoácidos em relação a dados de literatura, informações relacionadas às linhagens celulares utilizadas, informações relacionadas aos meios de cultura, informações relacionadas aos materiais para estruturação (*scaffolding*), informações sobre como a pureza e a estabilidade genética da cultura de células são garantidas durante o processo de fabricação, avaliação de segurança cobrindo possíveis perigos decorrentes da fabricação da carne cultivada e outros estudos relevantes para apoiar a segurança, como ensaios de digestibilidade, perfis de alérgenos, sequenciamento genético, etc.



*Frango cultivado da [GOOD Meat](#) servido no restaurante Madame Fan, em Singapura. Créditos: Eat Just*

Na União Europeia, alimentos obtidos de culturas de células são contemplados na definição de Novos Alimentos do Regulamento (EU nº 2.283, de 25 de novembro de 2015). Em 2020, na 108ª Reunião Plenária do Painel da NDA (Nutrition, Novel Foods and Food Allergens), a Autoridade Europeia para Segurança dos Alimentos (EFSA) contemplou o tema Carne Cultivada na apresentação “*Insights on novel foods risk assessment*” e apresentou os seguintes pontos a serem considerados na avaliação de segurança: identidade, que engloba informações sobre a fonte biológica; caracterização de subprodutos ou resíduos e perigos biológicos; processo de produção; informação nutricional e alergenicidade.

Os principais critérios de avaliação de segurança de novos alimentos da EFSA, são descritos em “Guidance on the preparation and submission of an application for authorisation of a novel food in the context of Regulation” (EU 2015/22831, Revision 1 – 26/03/2021).

Nos Estados Unidos, o United States Department of Agriculture (USDA) e a Food and Drug Administration (FDA) estabeleceram um acordo formal para realizar, de forma conjunta, a regulamentação de carnes cultivadas. Os produtos alimentícios produzidos a partir de células de espécies regulamentadas pelo USDA, Federal Meat Inspection Act (FMIA) ou pelo Poultry Products Inspection Act (PPIA), serão regulamentados pela FDA durante a coleta, seleção e cultivo de células e pelo USDA/FSIS durante o processamento e rotulagem subsequentes.

Neste contexto, as agências reguladoras do Brasil devem trabalhar em estreita colaboração com seus pares no Exterior, ao mesmo tempo em que avançam com proposições inovadoras e que coloquem o país em destaque.

O pioneirismo de Singapura deve servir de inspiração. Precisamos aproveitar nossa posição de grande produtor de proteínas, tanto de origem animal quanto vegetal, para sermos protagonistas também em carnes cultivadas. A carne cultivada deve ser vista como um novo alimento (*novel food*) e, como tal, seguir os caminhos já existentes e previstos em legislação própria. Em paralelo, o trabalho junto ao setor produtivo pode ser feito no sentido de orientar e de mitigar riscos, ao mesmo tempo em que a tecnologia for amadurecendo. Um protocolo para petição de registro de produtos e instalações fabris pode e deve ser construído dentro deste espírito de colaboração, ouvidos todos os atores envolvidos.

# Percepção do Público e Aceitação do Consumidor



Diversos estudos realizados na última década têm tentado capturar a percepção do público e aceitação do consumidor em relação à carne cultivada (SIEGRIST; HARTMANN, 2020), analisando questões como consumo de hambúrguer feito de carne cultivada versus carne convencional (SLADE, 2018), influência dos impactos ambientais e bem-estar animal da carne cultivada (BRYANT; BARNETT, 2018), sustentabilidade do processo (BEKKER et al., 2017), e outros pontos que chamam a atenção do público em geral. Nos últimos três a quatro anos as limitações de natureza técnica têm dado lugar também ao crescente interesse do público no assunto, já que algumas empresas começam a revelar seus planos de curto prazo para a entrada no mercado.

A percepção do público está, em geral, muito associada à forma como se apresenta o assunto em pesquisas de

opinião e em publicações populares, revistas e jornais. Em particular, termos como carne de laboratório ou carne sintética carregam em sua própria menção algo de negativo, artificial. Mesmo estudos recentes fazem menção à carne cultivada como tal, ou seja, referindo-se à carne cultivada como carne artificial (CHRIKI et al., 2020). Termos como carne “in vitro” ou carne cultivada em laboratório podem ser depreciativos e não contribuem para uma percepção favorável (BRYANT; BARNETT, 2019) do público. Em 2019, o GFI conduziu um estudo de nomenclatura para verificar quais termos, dentre os pré-selecionados (carne cultivada, carne de base celular, carne limpa e carne sem abate) levariam a maior aceitação pelo consumidor.



*Imagem cedida por Mosa Meat*

Os resultados mostraram que o nome “carne cultivada” figurou entre os mais aceitos e aproxima a tradução do termo em inglês “cultivated meat”. É importante mencionar que a percepção do consumidor muda quando os pontos positivos da carne cultivada são apresentados com clareza e sem preconceitos. Neste sentido, a comunicação tem uma grande responsabilidade em informar a população sobre a tecnologia, suas inovações, avanços e benefícios. Jornalistas, influenciadores digitais, assessores de imprensa, publicitários, relações públicas e profissionais de marketing devem atuar para democratizar o conhecimento de forma ética e responsável.

A ciência da carne cultivada pode aumentar a aceitabilidade, na medida em que introduz formas de melhorar o sabor e a textura; a ciência comportamental pode aumentar a aceitabilidade, identificando percepções modificáveis; da mesma forma, os acadêmicos devem comunicar, de forma transparente, a ciência e a tecnologia da carne cultivada ao público (TOMIYAM et al., 2020) tanto em publicações especializadas quanto na mídia popular e redes sociais, fazendo seu papel de divulgador científico, seja em entrevistas, em reportagens para revistas e em sites especializados.

# Os Desafios Climáticos e a Carne Cultivada

O último relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) sobre mudança climática, publicado em 08 de agosto de 2021<sup>8</sup>, reforça a importância do combate ao desmatamento, da promoção da recuperação florestal e da necessidade de mudanças nas práticas agrícolas. Essas medidas visam mitigar os impactos ambientais promovidos pela ação do homem.

O Brasil, hospedeiro da maior biodiversidade do planeta, tem papel fundamental na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, através da redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes das atividades agrícolas e da pecuária.

[O Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono – Plano ABC](#), patrocinado pelo Governo Federal através do Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento (MAPA), em sua primeira fase (2011–2020), foi composto de 7 programas:

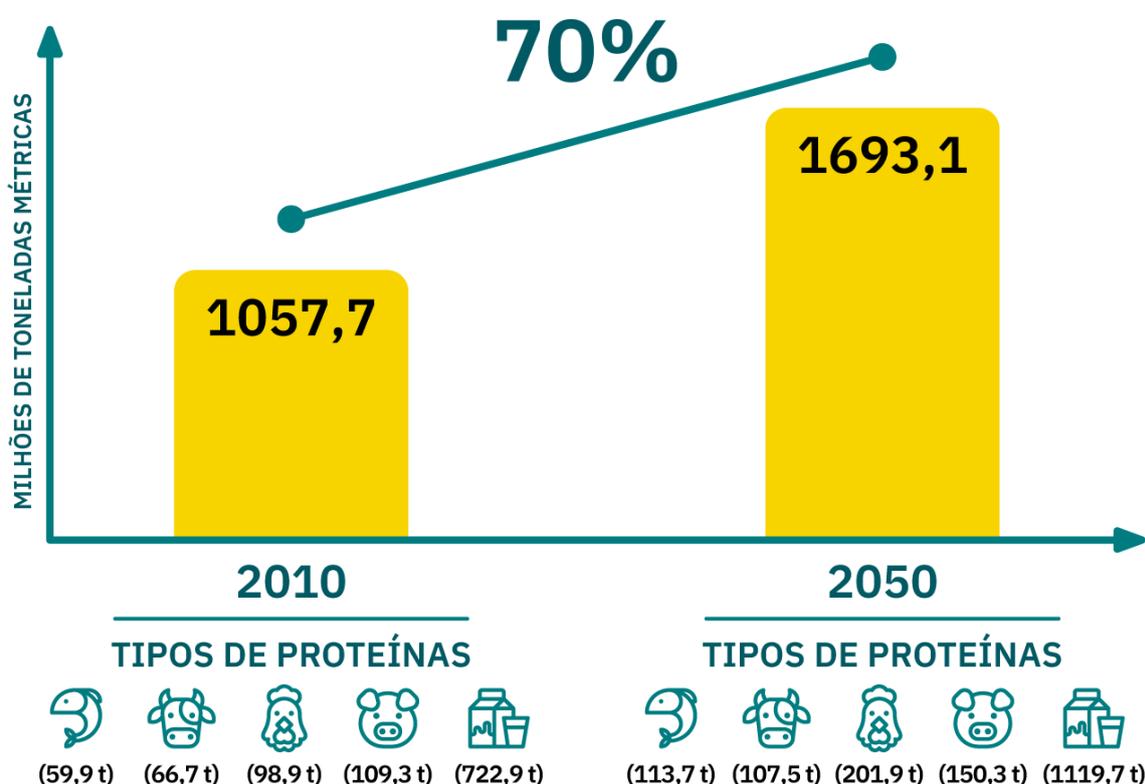
- Recuperação de Pastagens Degradadas;
- Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs);
- Sistema Plantio Direto (SPD);
- Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN);
- Florestas Plantadas;
- Tratamento de Dejetos Animais;
- Adaptação às Mudanças Climáticas.

Os principais resultados foram a adoção de tecnologias preconizadas pelo plano em quase 50 milhões de hectares, com a integração lavoura-pecuária-floresta, plantio direto e fixação biológica de nitrogênio e, de acordo com dados do MAPA, mais de 26,8 milhões de hectares de pastagens degradadas foram recuperadas nos 10 anos iniciais do programa.

<sup>8</sup> IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Ainda nesta primeira fase, o [Plano ABC desenvolveu as certificações Carne Carbono Neutro e Carne Baixo Carbono](#), que garante que os produtos certificados são oriundos de gado criado com manejo adequado das pastagens, além de conferir maior bem-estar animal. Em janeiro de 2021, o Governo Federal publicou o Decreto 10.606, que institui o Sistema Integrado de Informações do Plano Setorial para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (SIN-ABC) e também o Comitê Técnico de Acompanhamento do Plano Setorial para consolidação de

uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (CTAB), instituído para monitorar essas ações (Novo Plano ABC 2021–2030). Essas são iniciativas importantes, mas, no longo prazo, podem não ser suficientes diante das projeções de crescimento da demanda de proteína de origem animal para consumo humano. [Estimativa da FAO aponta para um aumento na demanda global por alimentos de 70% até 2050](#). O infográfico da **Figura 3** mostra como esta crescente demanda impactará a produção de proteína animal, por espécie.



**Figura 3** – O aumento da demanda global na produção de alimentos prevista para 2050 e o impacto na cadeia de produção de proteína animal, por espécie.

Estima-se que a introdução de carne cultivada, como uma opção alternativa ao consumo de proteína animal convencional, contribua substancialmente para a otimização do uso de recursos naturais finitos, como água e terra, e seus efeitos ambientais associados. É tido como certo que as extensões de terra devem ser reduzidas quando se compara a produção de 1 kg de carne pela via cultivada em oposição à criação de gado para o abate.

O metano emitido pelo gado (flatulência e arrotos) é uma consequência de seu trato digestivo complexo, utilizado para transformar o material celulósico da pastagem em carne animal. Esse é um processo naturalmente pouco eficiente. Cerca de apenas 3% da energia/material consumido é convertido em carne.

## Mais sustentável, menor impacto ambiental

Uma recente avaliação do ciclo de vida realizada pela CE Delft descobriu que a carne cultivada é significativamente (mais de 75%) mais sustentável em relação à produção de CO<sub>2</sub> e uso da terra e da água do que a carne bovina e tem um perfil de sustentabilidade semelhante ao de aves e suínos.

Fonte: Odegard et.al, 202.

Também é fato que a redução da produção de metano cai a zero no processo industrial de carne cultivada. É sempre bom lembrar que o metano (CH<sub>4</sub>) é cerca de 20 a 30 vezes mais nocivo como gás de efeito estufa do que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Portanto, a transição gradual da produção de carne convencional por carne cultivada contribuirá para a redução da produção de metano associada ao consumo de proteína animal, no longo prazo.

Outros tópicos e impactos relevantes são geralmente manifestados em estudos e publicações de organismos internacionais e grupos de estudos.



# Conclusões, Reflexões e Recomendações

[Em seu ensaio escrito em dezembro de 1931 com reflexões e previsões para os próximos cinquenta anos, originalmente publicado na Strand Magazine](#), Sir Winston Churchill não só previa que peito e asas de frango seriam produzidos a partir de cultura de células em meios de cultivo adequados, como também que telefones e televisores sem fio uniriam pessoas em lugares distantes como se estivessem falando de suas janelas. As apostas de Churchill eram baseadas no poder da ciência e no ritmo em que ela se desenvolvia nas primeiras décadas do século 20. O ex-primeiro ministro britânico pode ter se enganado por algumas décadas quando se fala de carne cultivada, mas é inegável que sua visão o qualifica como um profeta de nossos tempos. Ainda de suas palavras, em tradução livre, são também dignos de destaque que:

“

*É claro que alimentos sintéticos também serão usados no futuro. Nem precisam os prazeres da mesa serem banidos [...]. Os novos alimentos serão, desde o início, praticamente indistinguíveis dos produtos naturais, e quaisquer mudanças serão tão graduais a ponto de escapar à observação.*

Suas observações sobre as possibilidades de desenvolvimento científico a partir de novas formas de energia, abundante e eficiente, sobretudo de origem molecular (nuclear), também preconizavam revoluções tecnológicas. Em sua época, o carvão era a principal fonte de energia:

“

*Mas o alimento é atualmente obtido quase inteiramente da energia da luz solar [...] Muitas pessoas, é claro, preferem comida no que os vegetarianos chamam de ‘forma de segunda mão’, isto é, depois de digerida e convertida em carne para nós por animais domésticos mantidos para esse propósito. Em todos esses processos, entretanto, noventa e nove partes da energia solar são desperdiçadas para cada parte usada.*

É uma pena que o famoso estadista inglês não tenha tido o privilégio de viver também no início do século 21 para testemunhar o que o progresso tecnológico foi capaz de fazer em 90 anos, e as transformações que sofreram nossos meios de comunicação, de geração de energia e de produção de alimentos. Embora os inegáveis avanços na forma como produzimos proteína animal para consumo humano tenham contribuído em muito para o aumento da eficiência do processo, fundamentalmente estamos “atrasados” em relação às possibilidades churchillianas.

Substituímos a tração animal por modernos e eficientes motores a gasolina, diesel e energia elétrica, mesmo que sua potência ainda seja reportada em cavalos-força; mas não substituímos ainda os animais vivos criados para abate como nossa principal fonte de alimentação proteica.

A produção de carne cultivada em escala industrial a partir de células-tronco de frango, de boi, de ovinos, de camarão, de peixe e/ou de qualquer animal cujas células possam ser “domesticadas”, é sem dúvida um grande desafio de nossa geração. Os passos iniciais mais importantes já foram dados, com inúmeros casos bem sucedidos em escala de laboratório. A produção em escala piloto e em escala industrial ainda oferece desafios importantes, sobretudo quanto à redução de custos dos insumos, incluindo as matérias primas para a produção de meios de cultivo livres de componentes de origem animal, e dos biorreatores teciduais.

No final das contas, os ingredientes virão da conversão de energia do sol em material orgânico, como inevitável, passando pela biossíntese de produtos primários como açúcares, ácidos graxos, aminoácidos e micronutrientes. Todavia, ao contrário do método tradicional onde precisamos passar pela conversão de pasto/ração em proteína comestível, utilizando o animal vivo como biofábrica e guardadas todas as ineficiências inerentes ao processo, o método de indústria de carne cultivada utiliza apenas a informação escrita no DNA de uma célula animal para a produção de novos alimentos proteicos, no que podemos reduzir a *célula->carne*. Estaremos, finalmente, utilizando os mais avançados conhecimentos científicos e nossa plena capacidade tecnológica para transformar informação em alimento, de forma inteligente, sustentável, segura e nutritiva. Novas formas, novos produtos, novas formulações e novos nutrientes surgirão como consequência das necessidades e da criatividade humana. E, como dizia Winston Churchill, as *“mudanças serão tão graduais a ponto de escapar à nossa observação”*.

Visto do cenário mundial, o Brasil parece estar partindo atrasado. Mas essa não é uma corrida de sprint ou de 100 metros rasos; antes, é uma corrida de fundo, uma maratona científica e tecnológica onde os vencedores são os que detêm a melhor resistência, o maior fôlego, a estratégia correta para a condições da pista, o planejamento, a antecipação dos acontecimentos. A participação dos agentes públicos, com incentivos e fomentos adequados, e a união de esforços da iniciativa privada com os agentes governamentais, sobretudo com as instituições de ciência e tecnologia (ICTs) e agências reguladoras, devem motivar o fluxo de capital e estimular o desenvolvimento de pesquisadores e profissionais dedicados em área tão estratégica para o país.

O estabelecimento de um programa nacional de carne cultivada não é apenas de interesse empresarial, mas também uma oportunidade de promoção e qualificação de recursos humanos. Ele pode vir da colaboração dos diversos agentes, interessados na transformação do modo como produzimos, comercializamos e consumimos produtos cárneos, de forma eficiente e sustentável, com o conteúdo científico e tecnológico que nossos tempos agora permitem.

# Referências

---

**BEKKER, G.A.; TOBI, H.; FISCHER, A.R.H.** Meet meat: an explorative study on meat and cultured meat as seen by Chinese, Ethiopians and Dutch. **Appetite**, v. 114, 82–92, 2017.

**BOGLIOTTI, Y. S. et al.** Efficient derivation of stable primed pluripotent embryonic stem cells from bovine blastocysts. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 9, 27 fev. 2018.

**BRENNAN, T. et al.** Cultivated meat: Out of the lab, into the frying pain. McKinsey & Company. 16 jun., 2021.

**BRYANT, C.J.; BARNETT, J.C.** Consumer acceptance of cultured meat: a systematic review. **Meat Science**, v. 143, 8–17, 2018.

**BRYANT, C.J.; BARNETT, J.C.** What's in a name? Consumer perceptions of in vitro meat under different names. **Appetite**, v. 137, 104–113, 2019.

**CHAL, J, et al.** Differentiation of pluripotent stem cells to muscle fiber to model Duchenne muscular dystrophy. **Nat Biotechnol**, v. 33, 2015.

**CHOI, K.-H. et al.** Chemically Defined Media Can Maintain Pig Pluripotency Network In Vitro. **Stem Cell Reports**, v. 13, n. 1, jul. 2019.

**CHRIKI, S, et al.** Analysis of Scientific and Press Articles Related to Cultured Meat for a Better Understanding of Its Perception. **Front. Psychol.** v. 11, 1845., 2020.

**DAS, M, et al.** Developing a novel serum-free cell culture model of skeletal muscle differentiation by systematically studying the role of different growth factors in myotube formation. **In Vitro Cell. Dev. Biol. Anim.** v. 45, 2009.

**DÍAZ-FLORES, L. JR. et al.** Adult stem and transit-amplifying cell location. **Histol Histopathol**, v. 21, n. 9, 995–1027, 2006.

**EZASHI, T. et al.** Derivation of induced pluripotent stem cells from pig somatic cells. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 27, 7 jul. 2009.

**FRESHNEY, I. R.** **Culture of Animal Cells: A Manual of Basic Technique.** 7. ed. Glasgow: Wiley, 2015.

**GAO, X. et al.** Establishment of porcine and human expanded potential stem cells. **Nature Cell Biology**, v. 21, n. 6, 3 jun. 2019.

**HANLON, P & SEWALT, V.** GEMs: genetically engineered microorganisms and the regulatory oversight of their uses in modern food production. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 61, n. 6, abr. 2021.

**LANZA, R.; LANGER, R.; VACANTI, J. P.; ATALA, A. (Editors).** **Principles of Tissue Engineering**, 5. ed., London: Academic Press, 2020.

**MORAES, Â. M.; AUGUSTO, E. F. P.; CASTILHO, L. R.** **Tecnologia do Cultivo de Células Animais de Biofármacos a Terapia Gênica**. 1. ed. São Paulo: Editora Roca Ltda, 2007.

**MAZZUCATO, M.** **The entrepreneurial state.** *Soundings*, v.49, 131-142, 2011.

**OECD-FAO** Agricultural Outlook 2020-2029, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/11112c23b-en>. 2020.

**PAIN, B.; KRESS, C.; RIVAL-GERVIER, S.** Pluripotency in avian species. **The International Journal of Developmental Biology**, v. 62, 245-255, 2018.

**PAMIES, D.** Good Cell Culture Practice for stem cells and stem-cell-derived models. **ALTEX**, 2016.

**PAVLOVIĆ, M.; RADOTIĆ, K.** Stem Cell Sources and Types of **Animal Stem Cells**. In: *Animal and Plant Stem Cells*. Cham: Springer International Publishing, 2017.

**POST, M. J.** Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. **Meat Science**, v. 92, n. 3, nov. 2012.

**POST, M. J.** Cultured beef: medical technology to produce food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 6, abr. 2014.

**POST, M. J.** et al. Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. **Nature Food**, v. 1, n. 7, 16 jul. 2020.

**ROBERTS, R. et al.** Livestock models for exploiting the promise of pluripotent stem cells. **ILAR journal**, v. 56 1, 74–82, 2015.

**SPECHT, E. A. et al.** Opportunities for applying biomedical production and manufacturing methods to the development of the clean meat industry. **Biochemical Engineering Journal**, v. 132, 161–168, 15 abr. 2018.

**ODEGARD, I. et al.** LCA of cultivated meat: Future projections for different scenarios, **CE Delft**, fev. 2021, cedelft.eu.

**SIEGRIST, M.; HARTMANN, C.** Consumer acceptance of novel food technologies. **Nature Food**, v.1, 343–350, 2020.

**SLADE, P.** If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based, and cultured meat burgers. **Appetite**, v. 125, 428–484, 2018

**STEPHENS, N. et al.** **Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture** **Trends in Food Science and Technology**. Elsevier, 1 ago. 2018.

**TOMIYAMA, A.J. et al.** Bridging the gap between the science of cultured meat and public perceptions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 104, 144–152, 2020.

**VAN DER VALK, J.** Serum-free media and serum alternatives. **Toxicology Letters**, v. 280, out. 2017.

**VAN DER WEELE, C.; TRAMPER, J.** Cultured meat: every village its own factory? **Trends in Biotechnology**, v. 32, n. 6, jun. 2014.

**VERGEER, R.; SINKE, P.; ODEGARD, I.** **TEA of cultivated meat: Future projections of different scenarios**. Delft, fev. 2021.

**WILLIAMS, L. A.; DAVIS-DUSENBERY, B. N.; EGGAN, K. C.** SnapShot: Directed Differentiation of Pluripotent Stem Cells. **Cell**, v. 149, n. 5, maio 2012.

**ZHU, C.-H. et al.** Cellular senescence in human myoblasts is overcome by human telomerase reverse transcriptase and cyclin-dependent kinase 4: consequences in aging muscle and therapeutic strategies for muscular dystrophies. **Aging Cell**, v. 6, n. 4, ago. 2007.

The background is a solid teal color with several thin, white, wavy lines that flow across the page, creating a sense of movement and organic form.

**gfi** / **Brasil**<sup>SM</sup>