

Além dos campos: as prospecções tecnológicas sustentáveis da EMBRAPA para o agronegócio brasileiro

Beyond the fields: EMBRAPA'S sustainable technological prospects for Brazilian agribusiness

Vivian Cristina Ribeiro Barbosa¹ , Marlon Vinícius Brisola¹ 

¹ Universidade de Brasília (UNB), Brasília (DF), Brasil. E-mails: vivianribeiroconsultoria@gmail.com, mvbrisola@unb.br, mvbrisola@gmail.com

Como citar: Barbosa, V. C. R. & Brisola, M.V. (2024). Além dos campos: as prospecções tecnológicas sustentáveis da EMBRAPA para o agronegócio brasileiro. Revista de Economia e Sociologia Rural, 62(3), e270441. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.270441pt>

Resumo: O objetivo deste estudo consistiu em compreender o futuro das inovações agropecuárias sustentáveis, analisando as tecnologias desenvolvidas pela EMBRAPA, à luz conceitual da inovação, do desenvolvimento econômico sustentável e do Estado empreendedor. Utilizou-se uma metodologia exploratória e qualitativa para organizar cronologicamente 1188 soluções tecnológicas, 363 patentes e 2043 cultivares. O método guiou a aplicação de questionário prospectivo de cenários adaptado à Escala SERVQUAL do tipo Likert. A partir dos resultados obtidos observou-se uma tendência de investimentos em sistemas aprimorados de captação de água, irrigação inteligente, variedades tolerantes ao calor e seca, tecnologias de manejo de solo, controle biológico de pragas, uso de matérias-primas renováveis e melhoramento genético. Por fim, priorizaram-se também investimentos em metodologias, processos e ampliação de serviços da EMBRAPA, bem como a celebração de parcerias com grupos agropecuários, empresas e institutos. Com base em todas as informações apresentadas neste trabalho, é evidente que a EMBRAPA já possui tecnologias estabelecidas. Contudo, é mais urgente e imperativo do que nunca investir e impulsionar a inovação sustentável, tornando-a acessível a todos os produtores brasileiros, garantindo um futuro próspero de produção e conservação do setor.

Palavras-chave: desenvolvimento econômico, inovação, tecnologias sustentáveis, agronegócio, prospecção de cenários, mudança tecnológica.

Abstract: The objective of this study was to understand the future of sustainable agricultural innovations, analyzing the technologies developed by EMBRAPA, in the conceptual light of innovation, sustainable economic development and the entrepreneurial state. An exploratory and qualitative methodology was used to chronologically organize 1188 technological solutions, 363 patents and 2043 cultivars. The method guided the application of a prospective scenario questionnaire adapted to the Likert-type SERVQUAL Scale. Based on the results obtained, a tendency to invest in improved water catchment systems, intelligent irrigation, heat and drought tolerant varieties, soil management technologies, biological pest control, use of renewable raw materials and genetic improvement was observed. Finally, investments in methodologies, processes and expansion of EMBRAPA services were also prioritized, as well as the celebration of partnerships with agricultural groups, companies and institutes. Based on all the information presented in this work, it is evident that EMBRAPA already has established technologies. However, it is more urgent and imperative than ever to invest and drive sustainable innovation, making it accessible to all Brazilian producers, ensuring a prosperous future for production and conservation in the sector.

Keywords: economic development, innovation, sustainable technologies, agribusiness, scenario prospecting, technological change.

INTRODUÇÃO

O setor agropecuário brasileiro investiu em pesquisas de ecossistemas tropicais, pautadas na tecnologia e conhecimento, assim como aplicou estratégias tecnológicas de sistemas de



produção e de energia renovável, que o tornaram referência internacional na produção e exportação de gêneros alimentícios (Silva et al., 2020).

Apesar do setor ocupar uma área de destaque na economia, em virtude do aumento da produtividade já ter sido alcançado, o Brasil enfrenta enorme desafio no campo inovativo face o risco da dependência da importação de insumos e tecnologias empregados na produção de *commodities* agrícolas, além dos desafios, em escala mundial, que ultrapassam questões relacionadas à fome, ao meio ambiente, à demanda crescente por alimentos e energia (Buainain et al., 2015).

Esse contexto reforça a importância da tecnologia, conhecimento e inovação como fatores distintivos entre países desenvolvidos e atrasados. No entanto, é preciso reconhecer que o fomento à inovação na economia não é uma tarefa fácil, pois está intrinsecamente ligado ao dinamismo do crescimento, conforme evidenciado por teorias tradicionais, como o modelo neoclássico de crescimento de Solow (1956), a visão cíclica de destruição criativa de Schumpeter (1988) e as ideias evolucionistas neo-schumpeterianas.

Neste contexto, torna-se importante conhecer os conceitos de inovação sob a perspectiva do desenvolvimento econômico, que foram capazes de colaborar para criação de um sistema de inovação no país, o qual resultou na constituição do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), coordenado pela EMBRAPA, que tem a nobre missão de desenvolver a pesquisa, tecnologia e inovação do setor.

Ademais, há que se conhecer os campos tecnológicos desenvolvidos por esses componentes, especificamente pela EMBRAPA em virtude de esta ser a principal empresa pública depositante de patentes, de registro de cultivares e de pesquisa do setor agropecuário no Brasil.

Desta forma, a importância deste estudo reside na constatação de que o Estado brasileiro desempenha um papel empreendedor, atuando como agente inovador ao investir em ciência, tecnologia e inovação, evidenciado pelo mapeamento cronológico das 1188 soluções tecnológicas, 2043 cultivares e 363 patentes desenvolvidas pela EMBRAPA (Mazzucato, 2014). Essas conquistas forneceram uma base sólida para a realização de um questionário prospectivo com especialistas, a fim de identificar as tendências tecnológicas futuras para o desenvolvimento agropecuário sustentável no Brasil.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desafios do setor agropecuário brasileiro

Nos tempos atuais, em plena era da economia e da sociedade do conhecimento, caracterizada por um ambiente altamente competitivo em virtude das céleres mudanças tecnológicas, mercadológicas e institucionais, forçam o setor agropecuário brasileiro a ter a posse de conhecimentos aliados à habilidade de torná-los aptos a apreender e transformá-los em fatores de competitividade por parte de indivíduos, empresas e instituições (Lemos, 1999).

As inovações tecnológicas agropecuárias se tornam especialmente críticas neste contexto, especialmente quando vinculadas à sustentabilidade, considerando desafios globais como a fome, a governança, o meio ambiente e a crescente demanda energética (Crestana & Mori apud Buainain et al., 2015).

Buainain et al. (2015), ainda, destacam que a crescente demanda por alimentos lança desafios não só à produção e disponibilidade, mas também ao acesso em quantidade e qualidade adequadas, via um sistema logístico eficiente de preços e políticas sociais, exercendo

a governança papel primordial ao construir, reformar e reconstruir organizações e instituições, de maneira que consigam operar soluções práticas e eficientes.

Torna-se imprescindível, portanto, aprimorar o conceito de desenvolvimento sustentável, difundido na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o Rio-92. Esta revisão deve impulsionar a formulação e implementação de políticas de desenvolvimento sustentável inovadoras, repensando a relação entre humanos e meio ambiente (Silva et al., 2021).

Sachs (2017) propõe uma estrutura robusta para o desenvolvimento sustentável, sustentada por quatro pilares fundamentais: a prosperidade econômica, a inclusão e coesão social, a sustentabilidade ambiental e a boa governança. Esta última exige a participação ativa e responsável de todos os atores sociais relevantes, incluindo tanto os governos quanto as empresas.

Bourgon (2011) enfatiza a visão social que um governo deve ter, quando descreve que a governança não deve se posicionar somente na dimensão vertical da autoridade, mas deve também abranger a dimensão horizontal do conhecimento e poder coletivos advindos da sociedade.

Ao analisar a esfera agrícola sob a lente da sustentabilidade, Frankelius et al. (2019) salientam a tarefa complexa dos cientistas em equilibrar a expansão da produção biológica com questões técnicas, econômicas e ambientais, demandando mudanças significativas no uso da terra e atenção aos pilares da sustentabilidade.

Desta forma, há um grande desafio no setor agropecuário, visto a tendência de escassez dos recursos naturais, tornando-os mais caros e escassos, tal qual a sustentabilidade de processos de produção, conservação e preservação ambiental nas atividades agrícolas de uso e ocupação do solo (Crestana & Mori apud Buainain et al., 2015).

Inovação agropecuária à luz do desenvolvimento econômico e Estado empreendedor

As inovações no setor agropecuário distinguem-se de outros setores, bem como seus ecossistemas. Elas operam sob constantes riscos ambientais, como estresses bióticos (como pragas e doenças) e abióticos (incluindo condições climáticas, características do solo e disponibilidade de água). Ademais, a localização da produção na agropecuária é muitas vezes determinada por tais fatores ambientais, ao invés de apenas considerações econômicas ou logísticas. (Triguero et al., 2013).

Dosi et al. (1990) caracterizam a inovação tecnológica como uma atividade complexa, inserida em um processo ou uma descoberta em desenvolvimento ou experimentação cujos resultados geram novos produtos e/ou processos produtivos. Sob este raciocínio neo-schumpeteriano, Reardon et al. (2019) argumentam que investigações focadas na inovação agropecuária têm o potencial de gerar conhecimentos e *insights* fundamentais que podem catalisar o desenvolvimento de cadeias de valor robustas e eficazes no setor.

Na atual economia global, a inovação tecnológica tem o poder de alterar profundamente o estado de equilíbrio do sistema econômico. Isso pode acontecer através da introdução de um novo produto, um novo método de produção, a abertura de um novo mercado, ou a conquista de uma nova organização (Schumpeter, 1988). Neste contexto dinâmico, o Estado desempenha um papel fundamental como empreendedor, não apenas facilitando, mas ativamente impulsionando a introdução de inovações (Mazzucato, 2014).

Neste panorama, a escolha pela EMBRAPA como objeto de estudo justifica-se por ser ela a principal referência em pesquisa agropecuária do Brasil, com um papel decisivo na incorporação e difusão de novas tecnologias em diversos segmentos da cadeia produtiva agropecuária (Swinnen & Kuijpers, 2019). Além disso, a EMBRAPA se destaca pela sua capacidade de fomentar a criação

e acesso a novos mercados, seja por meio de cadeias de valor locais ou globais, fortalecendo assim o dinamismo e a competitividade do agronegócio brasileiro (Feyaerts et al., 2020).

A EMBRAPA, através de seu comprometimento contínuo com a pesquisa e o desenvolvimento (P&D), materializa de maneira evidente o conceito de inovação proposto por Johannessen et al. (2001), introduzindo novos produtos, serviços, métodos de produção, bem como abrindo caminhos para novos mercados e organizando-se de formas inovadoras. Este cenário também se alinha com a definição de inovação proposta pela OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), que reconhece a inovação como a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, um novo método de marketing ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021; Organisation for Economic Co-operation and Development, 2018). Assim, a EMBRAPA se destaca como um exemplo concreto dessa conceituação, tendo sua atuação fortemente vinculada à inovação na esfera agropecuária.

Vale ressaltar, que a EMBRAPA não tem a atribuição de inserir seus ativos tecnológicos no ambiente produtivo e social de forma isolada, visto que sua competência institucional é promover, estimular, coordenar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, e transferir conhecimento e tecnologias, conforme artigo 4 de seu estatuto (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020b).

Por meio de um olhar micro, a instituição tem como pressuposto assistir científica e tecnologicamente produtores e empresas do setor agropecuário a luz da promoção do desenvolvimento econômico e social (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a), através de investimentos direcionados em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos/serviços de forma a manter a competitividade das empresas do setor ao atrair novos consumidores (Fagerberg et al., 2013). Esta estratégia, para Fossas-Olalla et al. (2015) faz com que organizações que almejam a manutenção da competitividade abram espaço para inovação.

Sob essa perspectiva a EMBRAPA promove, estimula, transfere suas tecnologias por meio de diferentes estratégias de negócios como a cooperação tecnológica, fornecimento de tecnologias, licenciamentos de direitos sobre patentes e cultivares, dentre outros (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a).

Ressalta-se que a partir da década de 90 a agricultura brasileira sofreu grande processo de inovação tecnológica, cujas modificações foram substanciais quanto as formas de produção e, principalmente, a adoção de novas técnicas, transformando o agronegócio brasileiro em um sistema produtivo altamente competitivo e eficiente, sendo refletido no valor do Produto Interno Bruto (PIB).

Neste aspecto, Wang & Chien (2007) enfatizam o relevante papel da tecnologia no crescimento econômico, quando afirmam que as empresas agroindustriais, frente aos desafios competitivos internacionais, necessitam de permanente progresso tecnológico para manutenção no mercado.

Diante destes desafios internacionais e a busca para um contínuo desenvolvimento tecnológico, a EMBRAPA realiza ciência aberta desde a sua criação, ao celebrar acordos de cooperação internacional com outros entes, baseados em um modelo de produção do conhecimento, denominado *open science*, caracterizado pela ampliação no nível de colaborações na resolução de problemas científicos, utilizando-se de fontes externas, de forma a majorar a competitividade na geração de novas tecnologias, assim como da comercialização de ideias que não se alinham ao modelo de negócio da organização (Tapscott & Williams, 2007).

Por conseguinte, o macroprocesso de inovação da EMBRAPA se estrutura no modelo de inovação aberta maduro focado na geração e oferta de conhecimento, informações e tecnologias para o setor produtivo em benefício da sustentabilidade da agricultura e segurança alimentar (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a).

A empresa detém o *know-how*, os ativos, as tecnologias que podem ser facilmente movidas na fronteira entre empresa e mercado, em ambas as direções. O caminho desse movimento é claramente representado por um funil apresentado na Figura 1, onde a entrada representa as várias proposições de ativos tecnológicos oriundos do processo de ideação, sendo a área externa de sua saída a representação dos ativos tecnológicos acabados que atingem o mercado (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a).

Verifica-se, na Figura 1, que as etapas de pesquisa, desenvolvimento e validação de ativos tecnológicos alcança vários níveis de maturidade ao longo desse percurso.

Segundo o Manual sobre o Uso da Escala TRL/MRL da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2020a), o lado externo da “entrada” do funil da Figura 1 é categorizado como ativos pré-tecnológicos abrangendo produtos pré-tecnológicos, coleção biológica, metodologia técnico-científica, base de dados, informações e análises, os quais se encontram nos níveis TRL/MRL 1 e 2, que compreende as fases de descoberta do estado da arte, entendimento e conceito. Quando estes adentram no funil são embarcados como componentes de ativos tecnológicos, percorrendo os níveis TRL/MRL 3 a 5, que compreende a fase de adaptação e desenvolvimento, a exemplo de um gene (ativo pré-tecnológico) que embarca em uma cultivar (ativo tecnológico), ou uma base de dados (ativo pré-tecnológico) que adentra em um *software* (ativo tecnológico) (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a).

Os níveis TRL/MRL 7 e 8 são caracterizados pelas fases de validação e refinamento do ativo tecnológico em desenvolvimento, o qual pode ser considerado inaplicável ou pode ser identificado outros campos de aplicação para o ativo de inovação. No entanto, quando esse ativo é validado e refinado ele poderá ser transferido pela EMBRAPA por meio licenciamentos, cessão ou fornecimento de tecnologia como *spin-off* ao setor (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a).

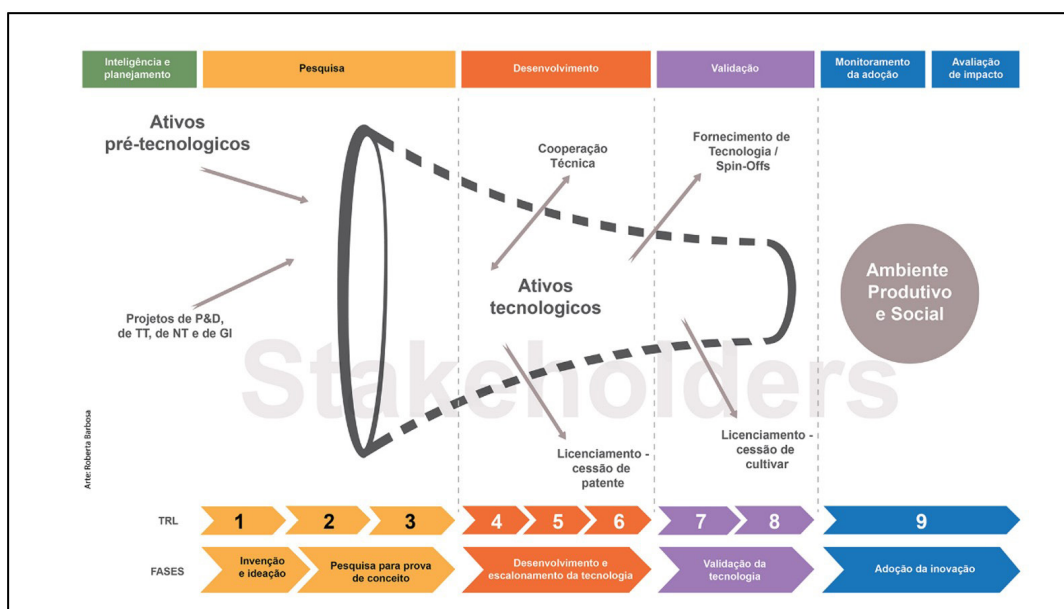


Figura 1. Macroprocesso inovativo da EMBRAPA.

Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2020a)

Segundo Mazzucato (2014), as atividades de PD&I são sempre acompanhadas de risco, e, no caso da EMBRAPA, muitos ativos podem ser descontinuados durante o percurso, visto que

nem todas as ideias e projetos resultam em novos produtos, processos ou serviços (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020a).

Ainda que o modelo inovativo seja contemporâneo, a EMBRAPA apresenta um histórico de desenvolvimento tecnológico que remonta a 1974, destacando-se como uma característica distintiva de um Estado Empreendedor, conforme exposto por Mazzucato (2014), em virtude da significativa investida brasileira em P&D agropecuário. Este comprometimento é evidenciado pela robusta equipe composta por 2.290 analistas, 2.123 assistentes, 1.293 técnicos e 2.196 pesquisadores que, até 2022, desenvolveram impressionantes 1.188 soluções tecnológicas, 363 patentes e 2.043 cultivares. Esses resultados, fruto de pesquisas tanto incrementais quanto radicais, emergem de um extenso processo de maturação e estão alinhados às demandas atuais e futuras da sociedade e do mercado. Adicionalmente, a EMBRAPA mantém-se em sintonia com os fatores globais que moldam a esfera agropecuária, abarcando tendências tecnológicas, reestruturação de mercado, transições competitivas e regulatórias, todos contribuindo para um cenário de incertezas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018). Esta descrição ilustra como a instituição e seus pesquisadores se percebem e a seu trabalho dentro de um contexto mais amplo, utilizando a terceira pessoa para contextualizar sua contribuição para o campo da inovação agropecuária.

METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos da pesquisa, foi adotada a triangulação metodológica em um único estudo de caso, utilizando-se métodos quantitativos e qualitativos. Dados primários de todas as inovações da empresa foram coletados através do *website* da EMBRAPA, MAPA e *Espacenet*, complementados com uma análise intensiva de informações secundárias de várias fontes. As expressões de busca foram definidas com base no nome do depositante EMBRAPA e suas variações, usando operadores booleanos nas plataformas *Espacenet* e *CultivarWeb*, respeitando as especificidades de cada uma.

No que se refere a exportação dos dados cumpre esclarecer que os formatos CSV (*Comma Separated Values*) é disponibilizado pelo *Espacenet*, e *Excel* pelo *CultivarWeb*. Estes dados foram organizados de forma cronológica em planilhas de *Excel*, para que fossem desenvolvidos relatórios dinâmicos com grupos de dados para a construção de painéis visuais.

Cumpre destacar que a disseminação das inovações da Embrapa é desafiada pela dificuldade de acesso, uma vez que a necessidade de reunir informações de múltiplas plataformas em uma planilha cronológica unificada, como demonstrado nesta pesquisa, destaca a fragmentação dos dados como uma barreira considerável para o acesso contínuo e eficaz às tecnologias desenvolvidas.

A partir da identificação das inovações desenvolvidas pela EMBRAPA, optou-se pela aplicação de questionário na prospecção de cenários, seguindo a orientação de Porter (1985) que propõe a construção de cenários alternativos para compreender e antecipar tendências emergentes.

Considerando que o progresso tecnológico é influenciado pela dinâmica do mercado, impactos ambientais, recursos financeiros e o ambiente político institucional, elaboramos um questionário estruturado em torno de três possíveis cenários - otimista, realista e pessimista. Esta ferramenta permitiu aos respondentes avaliar e selecionar, entre diversas opções, as áreas que deveriam ser priorizadas em termos de investimento para fomentar o desenvolvimento sustentável futuro do setor agropecuário brasileiro.

Cumpre ressaltar que as opções de tecnologias apresentadas aos respondentes foram restritas ao extenso portfólio tecnológico desenvolvido pela EMBRAPA até o ano de 2022. Tal escolha foi feita levando em consideração a ampla diversidade e quantidade de cultivares e patentes geradas pela empresa, visando equilibrar seus investimentos entre Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I).

Seguindo as diretrizes de Porter (1985) para a construção de cenários, levamos em conta fatores como meio ambiente, tendências tecnológicas, mudanças políticas, transformações sociais e instabilidade econômica. Além disso, avaliamos o cenário competitivo com base nas cinco forças de Porter: potenciais novos entrantes, ameaça de produtos substitutos, poder de negociação de compradores e fornecedores, e intensidade da rivalidade competitiva. Com base no questionário proposto para especialistas, destacamos três possíveis cenários para o futuro do agronegócio brasileiro:

- o cenário otimista, onde prevalece o fortalecimento econômico em países emergentes, impulsionado por investimentos públicos significativos em ciência e tecnologia, junto com a eficiente gestão de recursos e a transição para energias renováveis.
- o cenário realista, caracterizado pela instabilidade social e econômica global, menor poder de compra em sociedades emergentes, pressão ambiental nas produções e restrições orçamentárias afetando o avanço da ciência e tecnologia.
- o cenário pessimista, onde se desenha um recuo global, com redução do poder de compra, dependência de insumos externos, escassez de recursos vitais, surgimento de uma nova pandemia, longos períodos de conflitos e insuficiência de investimento público em ciência e tecnologia.

Diante destes cenários, foram elaboradas seis perguntas acerca das soluções tecnológicas, sob os principais aspectos de sustentabilidade, especialmente aqueles pertinentes ao abastecimento de água, a emissão de CO₂, a exportação de proteína animal, aos investimentos e parcerias externas à empresa, e as tecnologias da EMBRAPA.

As informações levantadas com especialistas e pesquisadores conexos a estas tecnologias, por meio da aplicação de questionários prospectivo, foram adaptadas à Escala SERVQUAL do tipo *Likert 5* pontos (Tabela 1).

Tabela 1 - Escala *Likert*

Grau de Prioridade	Significado
0	Nenhuma prioridade
1	Pouca prioridade
2	Baixa prioridade
3	Média prioridade
4	Alta prioridade
5	Altíssima prioridade

Fonte: Elaboração própria

A análise dos dados foi realizada através do *software RStudio*, permitindo a manipulação e análise das variáveis representativas das características dos respondentes. O programa também foi utilizado para a criação de gráficos e tabelas, facilitando a comparação e compreensão das variáveis de interesse. Adicionalmente, medidas estatísticas como média, moda, mediana e desvio padrão para cada tecnologia foram calculadas e adicionadas usando o sistema *Overleaf* por *LaTeX*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inovações desenvolvidas pela EMBRAPA de 1975 a 2022

A evolução do conhecimento inovativo do setor agropecuário brasileiro avança em um ritmo acelerado, tornando imprescindível a incorporação de tecnologias sustentáveis no processo

produtivo, bem como o exame de tendências tecnológicas que o setor apresenta atualmente e sob diferentes perspectivas.

Por meio de uma análise evolutiva conceitual acerca da inovação e seus reflexos, sob a perspectiva desenvolvimento econômico, foram mapeadas 1188 soluções tecnológicas, 363 patentes e 2043 cultivares desenvolvidas pela EMBRAPA, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Inovações desenvolvidas pela EMBRAPA entre 1975 a 2022

SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS		PATENTES		CULTIVARES	
1975 a 2022		1983 a 2021		1998 a 2022	
Metodologia	110	Eletricidade	3	Florestal	88
Prática	354	Engenharia	8	Forragem	79
Agropecuária					
Processo	64	Execução de operações; Transporte	23	Frutífera	401
Produto	582	Física	42	Grandes Culturas	1163
Serviço	14	Mensuração	1	Olerícolas	177
Sistema	64	Necessidades humanas	209	Ornamentais	8
Agropecuário					
		Química	75	Outros	127
		Têxtil	2		
TOTAL	1188		363		2043

Fonte: Elaboração própria, com base em Barbosa (2022)¹.

Segundo Nascimento & Castro (2020) no final dos anos 90 o Brasil já era reconhecido como líder internacional na agricultura tropical. Nesta época, a EMBRAPA foi influenciada pelo modelo de abordagem SIAC, o qual resultou no desenvolvimento, desde 1974 a 2000, 118 soluções tecnológicas, que predominavam práticas para manejo da adubação e fertilização do solo, conjugados com o desenvolvimento de cultivares convencionais e máquinas, implementos e equipamentos, assim como, a concessão de 70 patentes, classificadas predominantemente na classe de necessidades humanas, execução de operações e transporte, e física.

Cabe lembrar que, dez anos depois da influência de abordagem do SIAC, em 2002, a EMBRAPA sofre uma nova reestruturação do modelo institucional direcionada à terceira abordagem proposta pelo Banco Mundial, em 2006, o Sistema de Inovação Agrícola (SIA).

Fundamentada sobre as bases de abordagem do SIA, a EMBRAPA cria Sistema EMBRAPA de Gestão (SEG), o qual valoriza as capacidades e processos enfatizados pelo Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA) e pelo Sistema de Informação e Agricultura do Conhecimento (SIAC) mas, também, reconhece a importância dos atores envolvidos no processo inovativo, tais como o setor privado ao longo da cadeia produtiva, os processos de adaptação criativa e as políticas de financiamento da inovação (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2012). Essa nova reestruturação resultou em 271 patentes concedidas, as quais predominavam o desenvolvimento de áreas ligadas à física, necessidades humanas e química, assim como a entrega à sociedade de 1016 soluções tecnológicas ligadas às práticas de manejo, sistemas de produção, produtos de *software*, novas cultivares convencionais e transgênicas, dentre outras metodologias técnico – científicas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2012).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011) o SEG é o modelo que mais se alinha a abordagem de sistema de inovação (SI), cujo objetivo é planejar e coordenar

¹ Os dados apresentados na Tabela 2 foram extraídos dos Apêndices 1, 2 e 3 da Dissertação de Mestrado de BARBOSA, Vivian (2022).

as atividades de pesquisa e desenvolvimento, transferência de tecnologia, comunicação e desenvolvimento institucional da própria empresa e do SNPA como um todo.

De acordo com esse modelo interativo de inovação, o processo de P&D da EMBRAPA e do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA) inicia-se com a identificação da demanda, a qual gera conhecimentos e informações técnicas por meio do desenvolvimento e adaptação de tecnologias. Essas tecnologias resultam em protótipos a serem validados, os quais, por sua vez, darão origem a produtos e processos acabados. Uma vez originados novos produtos e processos inicia-se a segunda atividade básica da EMBRAPA, a transferência da tecnologia, de acordo com o seu estatuto (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999).

Diante dos dados apresentados na Figura 1 e na Tabela 2, juntamente com o histórico institucional, é notório o alto nível de maturidade que a EMBRAPA atingiu nos últimos anos. As 1188 soluções tecnológicas, 363 patentes e 2043 cultivares que desenvolveu são frutos de um extenso processo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), que tem sido consistentemente alinhado com as exigências do mercado e as considerações ambientais.

Questionário prospectivo de cenários

Após o levantamento tecnológico foi possível criar um esboço dos produtos e processos inovadores desenvolvidos pela empresa e, conseqüentemente, vislumbrar tendências tecnológicas sustentáveis que serão prioritárias de desenvolvimento e implementação em um futuro próximo, por meio da aplicação de um questionário prospectivo de cenários.

Diante das tecnologias propostas no questionário, os respondentes priorizaram investimentos futuros, para cada problema apresentado.

O questionário abordou o problema hídrico baseado em estudos de Hernandez & Szigethy (2019), que identificam que usos industriais, agropecuários excessivos, crescimento populacional e má gestão hídrica causam escassez de água afetando mais de 40% da população global. O objetivo era avaliar a prioridade de investimento em tecnologias sustentáveis da EMBRAPA para mitigar essa crise, considerando cenários otimista, realista e pessimista.

Verifica-se, na Tabela 3, que os respondentes priorizaram o investimento em sistemas aprimorados de captação de água, irrigação inteligente e práticas locais (Opção 1), além do desenvolvimento de variedades tolerantes a estresses abióticos para sanar áreas de estresse hídrico severo (Opção 6), alinhando-se às tendências identificadas por Crestana & Mori (apud Buainain et al., 2015). Isso sugere que tecnologias chave para problemas hídricos podem incluir alternativas que garantem a produção estável, como cultivares resistentes, bioinsumos, plantio direto, Integração Lavoura-Pecuária e irrigação sub-ótima.

Tabela 3 - Prioridade de investimento para saneamento hídrico da produção, sob a perspectiva de três cenários, segundo respondentes.

Questão 2		Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista	
Opções Tecnológicas					
Opção 1	Aperfeiçoamento dos sistemas	Média	4.19	3.73	3.18
	captação de água, irrigação	Desvio	1.09	1.14	1.62
	inteligente e práticas adaptadas	Mediana	5	4	3
	às condições locais.	Moda	5	4	5
Opção 2	Desenvolvimento de funções e	Média	3.39	2.94	2.55
	serviços ecossistêmicos do solo	Desvio	1.34	1.22	1.50
	e da água no meio rural.	Mediana	4	3	2
		Moda	4	3	2

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Tabela 3 - Continuação...

Questão 2			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 3	Sistemas agroflorestais que incorporam a diversidade vegetal com espécies agrícolas, frutíferas e florestais.	Média	3.68	3.23	2.60
		Desvio	1.31	1.27	1.49
		Mediana	4	3	3
		Moda	4	3	3
Opção 4	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) que favorece a recuperação de pastagens degradadas, a intensificação e a diversificação da produção.	Média	3.94	3.64	3.00
		Desvio	1.15	1.07	1.50
		Mediana	4	4	3
Opção 5	Sistema conservacionista de plantio direto que proporciona o acúmulo de carbono no solo, promovendo melhorias biológicas no solo e diminuindo o processo de erosão e assoreamento dos recursos hídricos.	Média	3.87	3.61	2.98
		Desvio	1.18	1.22	1.48
		Mediana	4	4	3
		Moda	5	3	2
Opção 6	Desenvolvimento de variedades melhoradas com tolerância ao calor, à seca e outros estresses abióticos.	Média	4.10	3.63	3.22
		Desvio	1.17	1.16	1.47
		Mediana	5	4	3
		Moda	5	4	5

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Dada a preocupação com a dependência do Brasil em fertilizantes estrangeiros, impactada por eventos externos como pandemias e guerras que afetam a oferta mundial, rupturas de cadeia de suprimentos e elevação dos custos e preços dos alimentos, questionou-se o nível de prioridade para investir em tecnologias sustentáveis da EMBRAPA que poderiam reduzir a dependência externa de insumos, considerando três cenários.

Dentre as opções tecnológicas apresentadas os respondentes priorizaram investimentos no desenvolvimento de insumos para o controle biológico de pragas e doenças, por meio de fontes de matéria prima renováveis (Opção 4), e viabilização de métodos para fixação biológica de nitrogênio em maior número de espécies (Opção 6), conforme dados da Tabela 4.

Este resultado revela que a tendência de utilização de tecnologias no futuro permeiam o mapeamento das reais necessidades dos solos agricultáveis no país por meio do uso da tecnologia de precisão; desenvolvimento de máquinas, equipamentos e processos de automação para empreendimentos de pequena e média escala, com especial ênfase em aumento de eficiência na utilização de fertilizantes (Buainain et al., 2015); uso de tecnologias para nutrição de plantas como o uso de microrganismos; manejo integrado e controle biológico de pragas e doenças (Bettiol & Campanhola, 2003).

Tabela 4 - Prioridade de investimento para mitigação do uso de fertilizantes, sob a perspectiva de três cenários, segundo respondentes.

Questão 3			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 1	Desenvolvimento de sistemas de produção nacional de fertilizantes fosfatados.	Média	4.12	3.64	3.00
		Desvio	1.08	10.77	1.55
		Mediana	4	4	3
		Moda	5	4	2

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Tabela 4 - Continuação...

Questão 3			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 2	Desenvolvimento de novas plantas produtoras de fertilizantes nitrogenados e expansão das áreas que fazem uso da fixação biológica de nitrogênio de forma a recuperar áreas degradadas, reduzir a emissão de GEE, e diminuir os riscos de contaminação.	Média	3.52	3.14	2.48
		Desvio	1.30	11.02	1.38
		Mediana	4	3	2
		Moda	5	3	3
Opção 3	Expansão do plantio direto que possibilita maior eficiência nas operações mecanizadas, permitindo economia de combustível e consequente redução das emissões de CO ₂ .	Média	2.85	2.33	2.01
		Desvio	1.36	12.28	1.36
		Mediana	3	2	2
		Moda	3	2	2
Opção 4	Aprimoramento do manejo integrado na proteção de culturas contra doenças, insetos e ervas daninhas.	Média	4.17	3.60	3.07
		Desvio	1.20	12.31	1.60
		Mediana	5	4	3
		Moda	5	4	5
Opção 5	Aperfeiçoamento nos sistemas de produção agroecológicos e orgânicos visto a não utilização de agrotóxicos, adubos químicos, antibióticos ou transgênicos.	Média	3.48	3.09	2.47
		Desvio	1.62	13.23	1.50
		Mediana	4	3	3
		Moda	5	3	3
Opção 6	Viabilização de métodos para fixação biológica de nitrogênio em maior número de espécies.	Média	3.94	3.61	3.11
		Desvio	1.23	9.59	1.32
		Mediana	4	4	3
		Moda	5	4	3

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Em referência a mitigação da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), o Brasil, desde 2009, instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, criando o Plano ABC, atualmente denominado “Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária” (Plano ABC+). Neste contexto, foi questionado o grau de prioridade de investimento, em tecnologias sustentáveis da EMBRAPA, que pudesse mitigar ou reduzir as emissões destes gases, sob a perspectiva de três cenários.

Conforme dados constantes na Tabela 5, foi priorizado, pelos respondentes, investimentos no aprimoramento do manejo integrado na proteção de culturas contra doenças, insetos e ervas daninhas (Opção 4), sendo refletido uma forte tendência de utilização de tecnologias na recuperação de pastagens degradadas, Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), sistemas agroflorestais (SAF’s), sistema de plantio direto (SPD), fixação biológica de nitrogênio (FBN), amplamente difundido pela EMBRAPA, bem como a implementação de florestas plantadas, tratamento de dejetos animais, e aumento da capacidade adaptativa e resiliência dos sistemas de produção às mudanças climáticas (Silva et al., 2021).

Tabela 5 - Prioridade de investimento para mitigação de emissão de GEE, sob a perspectiva de três cenários, segundo respondentes.

Questão 4			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 1	Desenvolvimento de sistemas de produção nacional de fertilizantes fosfatados.	Média	2.85	3.03	3.39
		Desvio	1.63	1.32	1.40
		Mediana	3	3	4
		Moda	5	4	5

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Tabela 5 - Continuação...

Questão 4			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 2	Desenvolvimento de novas plantas produtoras de fertilizantes nitrogenados e expansão das áreas que fazem uso da fixação biológica de nitrogênio de forma a recuperar áreas degradadas, reduzir a emissão de GEE, e diminuir os riscos de contaminação.	Média	3.03	3.27	3.41
		Desvio	1.58	1.22	1.49
		Mediana	3	3	4
		Moda	5	3	5
Opção 3	Expansão do plantio direto que possibilita maior eficiência nas operações mecanizadas, permitindo economia de combustível e consequente redução das emissões de CO ₂ .	Média	3.12	3.39	3.46
		Desvio	1.27	1.05	1.33
		Mediana	3	3	4
		Moda	2	4	4
Opção 4	Aprimoramento do manejo integrado na proteção de culturas contra doenças, insetos e ervas daninhas.	Média	3.28	3.56	3.67
		Desvio	1.48	1.06	1.32
		Mediana	4	4	4
		Moda	5	4	5

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Quanto a possibilidade de embargos comerciais à carne brasileira face a discussão sobre a crescente demanda populacional, consumidores mais conscientes quanto a qualidade e processos de produção, aumentos do efeito estufa e alterações climáticas, fora questionado o grau de prioridade de investimento, em tecnologias sustentáveis da EMBRAPA, capazes de diminuir os impactos ambientais e mercadológicos na produção de proteína animal, sob a perspectiva de um cenário otimista, realista e pessimista.

Conforme dados constantes na Tabela 6, as tecnologias sustentáveis prioritárias para a produção de proteína animal de maior qualidade e sustentabilidade, segundo os respondentes, seriam o investimento no melhoramento genético por meio de produtos reprodutores, matriz ou linhagem (Opção 1) e na viabilização da fixação biológica de nitrogênio em maior número de espécies, principalmente de gramíneas (Opção 2).

Percebe-se que estes resultados refletem uma tendência de utilização de tecnologias de plantio direto, fixação biológica do nitrogênio na produção de grãos para a ração fornecida aos animais, além do tratamento de dejetos de animais (TDA); intensificação dos sistemas integrados (ILPF e ILP) conforme descreve Balbino et al. (2012), monitoramento remoto contínuo e não invasivo de animais por meio da visão computacional e da bioacústica¹³, desenvolvimento genômico que auxilie no aumento da população animal com uma melhor qualidade nutricional; melhorias em técnicas de manejo para conservação do solo, da água e do bem estar animal; incremento da suplementação alimentar (Medeiros et al., 2013).

Tabela 6 - Prioridade de investimento para produção sustentável de proteína animal, sob a perspectiva de três cenários, segundo respondentes.

Questão 5			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 1	Melhoramento genético por meio de produtos reprodutores, matriz ou linhagem.	Média	3.67	3.43	3.03
		Desvio	1.18	1.08	1.39
		Mediana	4	3	3
		Moda	4	3	3

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Tabela 6 - Continuação...

Questão 5			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 2	Viabilização da fixação biológica de nitrogênio em maior número de espécies, principalmente de gramíneas.	Média	3.76	3.41	2.98
		Desvio	1.19	1.03	1.36
		Mediana	4	3	3
		Moda	5	4	4
Opção 3	Desenvolvimento dispositivos para identificação e monitoramento do trânsito de animais.	Média	3.00	2.60	2.23
		Desvio	1.39	1.28	1.27
		Mediana	3	3	2
		Moda	3	3	3
Opção 4	Aprimoramento no controle de plantas tóxicas em pastagens.	Média	2.61	2.32	1.88
		Desvio	1.38	1.24	1.26
		Mediana	3	2	2
		Moda	3	2	2
Opção 5	Desenvolvimento de cultivares para o sistema ILP	Média	3.41	3.16	2.74
		Desvio	1.25	1.15	1.39
		Mediana	4	3	3
		Moda	4	3	2
Opção 6	Aperfeiçoamento do manejo de pastejo sob lotação rotacionada.	Média	3.58	3.27	2.84
		Desvio	1.14	1.07	1.30
		Mediana	4	3	3
		Moda	4	3	3

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Quanto ao fato da EMBRAPA ser adepta à inovação aberta, longo período de pesquisa e desenvolvimento que uma inovação requer, além da possibilidade de interrupções durante esse percurso em virtude de instabilidade econômica, financeira e/ou orçamentaria do país, fora proposto uma avaliação acerca das melhores oportunidades de parceria com outras instituições que empresa pudessem desenvolver novas inovações sustentáveis sob a perspectiva de um cenário otimista, realista e pessimista.

Observa-se, na Tabela 7, que os respondentes consideram vantajosas a celebração de parcerias para o desenvolvimento de pesquisa e tecnologias por meio do modelo de inovação aberta, com grupos agropecuários, empresas do agronegócio (Opção 5) e institutos de ciência e tecnologia (Opção 8).

Percebe-se que o exercício prospectivo levou a priorização da PD&I por meio do compartilhamento do conhecimento em aglomerações produtivas tais como rede de produtores que possuem relacionamento entre si, participação de instituições de fomento que incentivem e viabilizem o desenvolvimento dessas redes de conhecimento, cujos resultados, possibilitam tanto o desenvolvimento tecnológico e econômico, quanto o social (Cardoso et al., 2015).

Tabela 7- Prioridade de celebração de novas parcerias com a EMBRAPA, sob a perspectiva de três cenários, segundo respondentes.

Questão 6			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 1	Fundo de investimentos.	Média	3.16	2.61	2.24
		Desvio	1.38	1.19	1.42
		Mediana	3	3	2.0
		Moda	4	3	2

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Tabela 7- Continuação...

Questão 6			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 2	Empresas de tecnologia de comunicação e informática.	Média	3.16	2.81	2.39
		Desvio	1.20	1.14	1.37
		Mediana	3	3	2.0
		Moda	3	3	1
Opção 3	Indústria de alimentos e gastronomia.	Média	3.41	3.01	2.46
		Desvio	1.04	1.16	1.46
		Mediana	3	3	2.5
		Moda	4	3	3
Opção 4	Ecossistema de inovação.	Média	3.70	3.31	2.76
		Desvio	1.22	1.07	1.39
		Mediana	4	3	3.0
		Moda	4	3	3
Opção 5	Grupos agropecuários e empresas do agronegócio	Média	3.83	3.43	2.86
		Desvio	1.13	1.21	1.58
		Mediana	4	3	3.0
		Moda	4	3	5
Opção 6	Organizações estaduais de pesquisa (OEPAS).	Média	3.07	2.74	2.34
		Desvio	1.25	1.29	1.44
		Mediana	3	3	2.0
		Moda	3	3	3
Opção 7	Entidades representantes de classes de produtores.	Média	3.32	2.98	2.44
		Desvio	1.20	1.15	1.34
		Mediana	3	3	2.0
		Moda	4	3	3
Opção 8	Institutos de ciência e tecnologia.	Média	3.69	3.21	2.90
		Desvio	1.37	1.17	1.45
		Mediana	4	3	3.0
		Moda	5	3	3

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Encerrando a análise, o extenso portfólio de soluções tecnológicas da EMBRAPA - que engloba produtos, metodologias, práticas agropecuárias, processos, sistemas e serviços - possibilitou a compreensão dos respondentes sobre quais categorias de tecnologias da EMBRAPA deveriam receber prioridade de investimento em cenários otimista, realista e pessimista. Ao avaliar o portfólio, os respondentes demonstraram preferência por investimentos futuros em metodologias (Opção 2), aprimoramento de processos (Opção 4) e expansão de serviços (Opção 6), conforme indicado na Tabela 8.

Estes resultados refletem a tendência da instituição em priorizar o incremento de métodos de análise, procedimentos de laboratórios, formas de diagnósticos e métodos de pesquisas, além do desenvolvimento de novos processos para criação de novos produtos alimentícios, químico, biológicos, industriais, visto a maturidade da empresa e demandas atuais do setor.

Tabela 8 - Prioridade de investimento acerca do portfólio tecnológico da EMBRAPA, sob a perspectiva de três cenários, segundo respondentes.

Questão 7			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 1	Desenvolvimento de PRODUTOS de natureza física e digital, como softwares, aplicativos, cultivares (sementes e mudas), animais, máquinas, equipamentos, bebidas, fertilizantes e vacinas.	Média	4.18	3.70	3.25
		Desvio	1.07	1.09	1.49
		Mediana	5	4	3.5
		Moda	5	4	5

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Tabela 8- Continuação...

Questão 7			Cenário Otimista	Cenário Realista	Cenário Pessimista
Opções Tecnológicas					
Opção 2	Incremento em METODOLOGIAS com o objetivo de atingir conhecimentos ou resultados, por meio de métodos de análise, procedimentos de laboratório, verificação e monitoramento de perfil socioambiental, mapeamento digital de solos, formas de diagnóstico e métodos de pesquisa.	Média	3.48	3.10	2.62
		Desvio	1.34	1.20	1.45
		Mediana	4	3	3.0
		Moda	4	4	3
Opção 3	Aperfeiçoamento de PRÁTICAS AGROPECUÁRIAS as quais abrangem técnicas de produção, manejo de recursos naturais, adubação, plantio, controle de doenças e pragas, recuperação, conservação e renovação do solo.	Média	4.11	3.77	3.14
		Desvio	1.04	0.95	1.43
		Mediana	4	4	3.0
		Moda	5	4	3
Opção 4	Desenvolvimento de PROCESSOS para geração de produtos, tais como processos para obtenção de embalagens, produção de agrotóxicos e afins químicos e biológicos, fertilizantes, alimentos, bebidas, rações, produtos industriais, máquinas e implementos.	Média	3.69	3.31	2.78
		Desvio	1.11	1.22	1.51
		Mediana	4	3	3.0
		Moda	4	3	3
Opção 5	Aprimoramento de SISTEMAS de manejo de produção animal e vegetal, os quais inclui sistemas de criação, cultivo, produção em consorciação de culturas ou policultivos, em monocultura, em sucessão de culturas e de produção integrada.	Média	4.07	3.59	3.11
		Desvio	0.98	1.03	1.36
		Mediana	4	4	3.0
		Moda	5	4	3
Opção 6	Ampliação dos SERVIÇOS de natureza de pesquisa e de transferência de tecnologia, os quais inclui o desenvolvimento de análise, consultoria, monitoramento e serviços de web.	Média	3.55	3.26	2.75
		Desvio	1.20	1.12	1.49
		Mediana	4	3	3.0
		Moda	4	3	2

Fonte: elaboração própria de acordo com os dados dos respondentes.

Por fim, destaca-se que as médias da Tabela 8 revelam um otimismo no cenário mais favorável para as opções tecnológicas avaliadas, sugerindo um potencial significativo em condições ideais. Conforme se transita para cenários realista e pessimista, as médias diminuem, indicando expectativas mais reservadas. O desvio padrão aponta para uma variabilidade nas percepções dos respondentes, possivelmente devido às incertezas ou interpretações diversas sobre o futuro. Mediana e moda complementam a análise, evidenciando uma tendência geral positiva, mas com cautela notável em cenários adversos. Esta avaliação estatística serve como um indicador chave para o planejamento e decisão estratégica no setor tecnológico.

CONCLUSÕES

Observa-se que a EMBRAPA desempenha um papel central no sistema de inovação do Brasil, particularmente no setor agropecuário, atuando como um catalisador de inovação ao desenvolver novas tecnologias, práticas, processos e variedades de culturas que fortalecem a agropecuária brasileira.

Considerando o aporte teórico trazido por Mazzucato (2014), pode-se afirmar que o Estado brasileiro, por meio da EMBRAPA, age ativamente para direcionar e estimular a inovação. Isto significa que a instituição, por meio de suas soluções tecnológicas, vai além de seu papel tradicional como reguladora ou mediadora de falhas de mercado. A empresa pública assume uma postura de investidora de risco, comprometendo-se com pesquisas e desenvolvimentos inovadores e incertos, onde o setor privado pode ser hesitante.

Estes investimentos em PD&I, resultaram, até o ano de 2022, em 1188 soluções tecnológicas, 363 patentes e 2043 cultivares desenvolvidas, as quais exercem um impacto direto e significativo no desenvolvimento de inovações que moldam tanto a agricultura brasileira quanto a global. Evidências disto incluem a criação de variedades de culturas adaptadas às peculiaridades do Brasil, como a soja tropical, bem como o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, como controle biológico de pragas, fixação biológica de nitrogênio e produção de insumos agrícolas renováveis.

Essas inovações sustentáveis da EMBRAPA não só aumentam a produtividade e a competitividade do setor, mas têm potencial, segundo a teoria de Schumpeter (1988), para remodelar a estrutura do sistema econômico, particularmente no contexto do agronegócio brasileiro, uma vez que grande parte do sistema agropecuário ainda se baseia em fontes não renováveis e tecnologias insustentáveis.

Entretanto, as inovações sustentáveis lideradas pela EMBRAPA possuem um potencial disruptivo para transformar este cenário, principalmente na agricultura brasileira. Previsões apontam que, em um futuro próximo, o mercado demandará melhorias nestes processos e produtos, o que coloca as inovações sustentáveis em um lugar de destaque.

Portanto, a ênfase nas inovações sustentáveis pela EMBRAPA, conforme identificado pelos respondentes, reflete uma tendência no setor para aprimorar análises, desenvolvimento de novos produtos e processos, a implementação de práticas sustentáveis e adaptações face às mudanças climáticas. Essas inovações apresentam um potencial transformador, com a capacidade de redefinir o atual cenário econômico.

Desta feita, este artigo propõe-se ao avanço do conhecimento científico em sua área, por meio de reflexões e soluções para o aprimoramento das políticas públicas e do desempenho organizacional em qualquer instituição. As descobertas e análises contidas nesta pesquisa não apenas fornecem orientações para a tomada de decisões informadas, mas também delineiam um roteiro estratégico organizacional claro, capaz de fomentar a inovação e aumentar a eficiência em qualquer contexto. Considera-se que isso impacte positivamente tanto no cenário acadêmico quanto nas esferas governamentais e corporativas, reforçando a importância de instituições de PD&I, assim como a EMBRAPA, na condução de pesquisa e desenvolvimento. Tais esforços não apenas impulsionam a agricultura brasileira, mas também moldam o futuro sustentável do setor em escala global.

REFERÊNCIAS

- Balbino, L. C., Cordeiro, L. A. M., Oliveira, P. D., Kluthcouski, J., Galerani, P. R., & Vilela, L. (2012). Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). *Embrapa Cerrados*, (138), 1-18.
- Barbosa, V. (2022). *Prospecções de tecnologias sustentáveis da EMBRAPA para o Agronegócio brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília.
- Bettiol, W. & Campanhola, C. (2003). *Métodos alternativos de controle fitossanitário*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente.

- Bourgon, J. (2011). *A new synthesis of public administration: serving in the 21st century* (Vol. 81). Montreal: McGill-Queen's Press-MQUP.
- Buainain, A. M., Bonacelli, M. B. M., & Mendes, C. I. C. (2015). *Propriedade intelectual e inovações na agricultura*. Rio de Janeiro: INCT.
- Cardoso, J. F., Miguel, P. A. C., & Casarotto Filho, N. (2015). Inovação na agricultura brasileira: uma análise da literatura. *Revista GEINTEC: Gestão, Inovação e Tecnologias*, 5, 2495-2510.
- Dosi, G., Pavitt, K., & Soete, L. (1990). *The economics of technical change and international trade* (LEM Book Series). Pisa: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (1999). *Política de P&D*. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia. Recuperado em 27 de agosto de 2021, de http://bbeletronica.sede.EMBRAPA.br/bibweb/bbeletronica/1999/inst/inst_07.pdf
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2011). *Pronapa 2010: Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Agropecuária* (438 p.). Brasília: EMBRAPA.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2012). *Relatório 2011: ano EMBRAPA de sustentabilidade e responsabilidade social* (53 p.). Brasília: EMBRAPA.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2018). *Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira*. Brasília: EMBRAPA. Recuperado em 29 de maio de 2020, de <https://www.EMBRAPA.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2020a). *VII Plano Diretor da EMBRAPA 2020-2030*. Brasília: EMBRAPA. Recuperado em 28 de outubro de 2022, de <https://www.EMBRAPA.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126091/vii-plano-diretor-da-EMBRAPA-2020-2030>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2020b). *Estatuto Social da Embrapa* (ed. 244, seção 1, p. 5). Brasília: EMBRAPA. Recuperado em 28 de outubro de 2022, de <https://www.embrapa.br/documents/10180/1600893/Estatuto+Social+da+Embrapa++2020/b06d524e-1215-2273-d34f-5eeef0ff8b72>.
- Fagerberg, J., Martin, B. R., & Andersen, E. S. (Eds.). (2013). *Innovation studies: evolution and future challenges*. Oxford: OUP Oxford.
- Feyaerts, H., Van den Broeck, G., & Maertens, M. (2020). Global and local food value chains in Africa. *Agricultural Economics*, 51(1), 143-157.
- Fossas-Olalla, M., Minguela-Rata, B., López-Sánchez, J. I., & Fernández-Menéndez, J. (2015). Product innovation: when should suppliers begin to collaborate? *Journal of Business Research*, 68(7), 1404-1406.
- Frankelius, P., Norrman, C., & Johansen, K. (2019). Agricultural innovation and the role of institutions: lessons from the game of drones. *Journal of Agricultural & Environmental Ethics*, 32(5-6), 681-707.
- Hernandez, C., & Szigethy, L. (2019). *Crises Hídricas: tecnologia e inovação no combate à insuficiência de água*. IPEA. Recuperado em 20 de setembro de 2021, de <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/96-crisis-hidricas-tecnologia-e-inovacao-no-combate-a-insuficiencia-de-agua>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). *Pesquisa de inovação semestral, 2021. indicadores básicos*. Rio de Janeiro: Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas, IBGE.

- Johannessen, J., Olsen, B., Lumpkin, & G. T. (2001). Innovation as newness: what is new, how new, and new to whom?. *European Journal of innovation management*, 4(1), 20-31.
- Lemos, C. (1999). Inovação na era do conhecimento. In H. M. M. Lastres & S. Albagli (Eds.), *Informação e globalização na era do conhecimento* (pp. 122-144). Rio de Janeiro: Campus.
- Mazzucato, M. (2014). *O estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. Portfolio-Penguin.
- Medeiros, S. R., Gomes, R. D. C., Nascimento, M. L., Albertini, T. Z., Souza, A. R. D. L., Reis, S. F., Paulino, P. V. R. P., & Lanna, D. P. (2013). *Eficiência nutricional: chave para a produção sustentável de carne bovina*. Brasília: Embrapa.
- Nascimento, P. P., & Castro, A. C. (2020). Embrapa e a cooperação científica internacional: do emparelhamento (catching-up) com a revolução verde à liderança tecnológica na agricultura tropical. *Embrapa Solos*, 8(2), 85-107.
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD. (2018). *Oslo manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation: the measurement of scientific, technological and innovation activities* (4th ed., 256 p.). Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.
- Porter, M. E. (1985). Advantage, competitive: creating and sustaining superior performance. *Competitive Advantage*, 167, 167-206.
- Reardon, T., Echeverria, R., Berdegué, J., Minten, B., Liverpool-tasie, S., Tschirley, D., & Zilberman, D. (2019). Rapid transformation of food systems in developing regions: highlighting the role of agricultural research & innovations. *Agricultural Systems*, 172, 47-59.
- Sachs, J. D. (2017). *A era do desenvolvimento sustentável*. Coimbra: Actual.
- Schumpeter, J. A. (1988). *A teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Nova Cultural.
- Silva, G., Gomes, E. G., Andrade Alves, E. R., & Gasques, J. G. (2020). Technological progress in the Brazilian agriculture. *Socio-Economic Planning Sciences*, 72, 100879.
- Silva, L. F., Maltez, M. A. P. F., Oliveira, C. E. A., Gusmão, Y. J. P., Souza, M. A., Nascimento, J. A. C., Oliveira, C. P., & Bueno, O. C. (2021). Sustentabilidade, agricultura familiar e políticas públicas no Brasil: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, 10(4), e42310414220.
- Solow, R. M. (1956). The contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Swinnen, J., & Kuijpers, R. (2019). Value chain innovations for technology transfer in developing and emerging economies: conceptual issues, typology, and policy implications. *Food Policy*, 83, 298-309.
- Tapscott, D., & Williams, A. (2007). *Wikinomics: como a colaboração em massa pode mudar o seu negócio*. São Paulo: Nova Fronteira.
- Triguero, Á., Córcoles, D., & Cuerva, M. C. (2013). Differences in innovation between food and manufacturing firms: an analysis of persistence. *Agribusiness*, 29(3), 273-292.
- Wang, T. Y., & Chien, S. C. (2007). The influences of technology development on economic performance: the example of ASEAN countries. *Technovation*, 27(8), 471-488.

Recebido: Dezembro 15, 2022;

Aceito: Fevereiro 24, 2024

Classificação JEL: O38