



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agricultura Digital  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **DOCUMENTOS 182**

# Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa: Atuação, Oportunidades e Desafios para Inovação

*Giampaolo Queiroz Pellegrino  
Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura  
Alexandre Ferreira do Nascimento  
Bruno José Rodrigues Alves  
Carlos Eduardo Pacheco Lima  
Anderson Santi  
Josileia Acordi Zanatta  
Beata Eموke Madari  
Tiago Rolim Marques  
Francislene Angelotti  
Aline Oliveira Zacharias  
Vitor Del Alamo Guarda*

**Embrapa Agricultura Digital**  
Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária  
Campinas, SP, Brasil  
CEP. 13083-886  
Fone: (19) 3211-5700  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
Presidente  
*Stanley Robson de Medeiros Oliveira*

Secretária-Executiva  
*Maria Fernanda Moura*

Membros  
*Adriana Farah Gonzalez, membro nato, Alexandre de Castro, membro indicado, Carla Cristiane Osawa, membro nato, Debora Pignatari Drucker, membro eleito, Ivan Mazoni, membro eleito, João Camargo Neto, membro indicado, Joao Francisco Goncalves Antunes, membro eleito, Magda Cruciol, membro nato.*

Supervisão editorial  
*Stanley Robson de Medeiros Oliveira*

Revisão de texto  
*Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica  
*Carla Cristiane Osawa*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Magda Cruciol*

Imagem da capa  
*www.wordclouds.com*

**1ª edição**  
Publicação digital - PDF (2022)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Nome da unidade catalogadora

---

Portfólio de mudanças climáticas da Embrapa: atuação, oportunidades e desafios para inovação / Giampaolo Queiroz Pellegrino ... [et al.]. – Campinas : Embrapa Agricultura Digital, 2022.

PDF (40 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Agricultura Digital, ISSN 2764-2488 ; 182).

1. Mudanças climáticas. 2. Agricultura brasileira. 3. Pesquisa e desenvolvimento. 4. Inovação. I. Pellegrino, Giampaolo Queiroz. II. Embrapa Agricultura Digital. III. Série.

---

CDD (21. ed.) 630.72

Carla Cristiane Osawa (CRB-8/10421)

© Embrapa, 2022

## Autores

### **Giampaolo Queiroz Pellegrino**

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

### **Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura**

Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

### **Alexandre Ferreira do Nascimento**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

### **Bruno José Rodrigues Alves**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

### **Carlos Eduardo Pacheco Lima**

Engenheiro ambiental, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

### **Anderson Santi**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Josileia Acordi Zanatta**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

### **Beata Eموke Madari**

Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

### **Tiago Rolim Marques**

Administrador, mestre em Administração e Negócios, analista da Secretaria de Inovação e Negócios, Bagé, RS

### **Francislene Angelotti**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

### **Aline Oliveira Zacharias**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, analista da Secretaria de Inovação e Negócios da Embrapa, Uberlândia, MG

### **Vitor Del Alamo Guarda**

Biólogo, doutor em Ciência Animal e Pastagens, Pesquisador da Secretaria de Inovação e Negócios, Campinas, SP

## Apresentação

Este documento tem a intenção de apresentar ao público geral, interno e externo à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), as principais diretrizes de seu Portfólio de Mudanças Climáticas, bem como suas oportunidades e desafios de inovação e uma análise dos resultados e ativos já obtidos e previstos nos projetos em execução. Nesse sentido, procura revisar e complementar o “Relatório institucional produzido pelo Grupo de Trabalho para a reestruturação do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa”, gerado no contexto de atuação do “Grupo de Trabalho para a Reestruturação do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa” e enviado à Secretaria de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa, em 21/12/2018. Incorpora, portanto, parte daquele texto e inclui novos argumentos e atualizações.

Este documento possui um Sumário Executivo que se refere a seu conteúdo principal e tem o intuito de servir de consulta rápida a gestores e tomadores de decisão, como seu público-alvo principal. Procura sintetizar, portanto, os principais argumentos, informações, destaques e conclusões, que são apresentados com mais detalhes nos itens seguintes.

Estes itens estão estruturados de forma a dar uma sequência lógica, sendo que o primeiro deles procura detalhar a relação entre o tema da mudança do clima e a agricultura, incluindo qual é o estado da arte, o contexto de desenvolvimento tecnológico e inovação e uma análise sobre as demandas e oportunidades nesse contexto. Diante dessa análise, os três itens seguintes apresentam os objetivos geral e específicos do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa, bem como um breve histórico de sua evolução até o momento atual, desdobrando na definição dos desafios para inovação formalmente definidos dentro do Macroprocesso de Inovação da Embrapa. A esses desafios o texto também associa algum detalhamento do entendimento e do que se pretende ao priorizá-los, do problema que se pretende sanar, ou da oportunidade que se vislumbra em cada desafio.

Nesse contexto da priorização dos desafios para inovação, foi essencial ouvir os principais atores ou stakeholders no sentido de complementá-la e validá-la junto ao setor produtivo de forma a lançar editais de projetos que pudessem buscar alcançar esses desafios e, de fato, oferecer à sociedade as soluções para inovação demandadas.

Por fim, o último item procura explorar de forma integrada a evolução e o perfil das soluções para inovação que já viemos gerando ao longo do tempo e que estão registradas nos sistemas corporativos como ativos tecnológicos associados ao Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa. Nesse item, olha-se também para o que já se apresenta como resultados previstos constantes dos projetos já aprovados e ainda em execução.

Com este documento, espera-se, portanto, oferecer uma referência que sirva tanto como consulta rápida aos tomadores de decisão internos e externos à Embrapa, como um detalhamento de visões e desafios que possa subsidiar a elaboração de propostas de soluções para inovação pelas equipes de pesquisa da Embrapa e de outras instituições parceiras. Que sua leitura seja leve e agradável e que, sobretudo, possa colaborar para aprimorar as soluções ofertadas à sociedade e à agricultura brasileira.

*Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*  
*Chefe-geral*

## Sumário

Mudança do Clima e Agricultura .....	7
Estado da Arte .....	7
Contexto de desenvolvimento tecnológico e inovação .....	11
Demandas e oportunidades para inovação no âmbito Portfólio de Mudanças Climáticas .....	15
Objetivo Geral do Portfólio .....	16
Histórico de atuação do Portfólio e Desafios para Inovação .....	17
Priorização dos desafios de inovação por consulta a <i>stakeholders</i> .....	24
Integrando respostas do setor produtivo .....	24
Segregando por cada Característica Amostrada .....	27
Segregando por Temática: Adaptação, Mista e Mitigação .....	29
Considerações sobre a priorização resultante da consulta aos <i>stakeholders</i> .....	30
Ativos de Inovação do Portfólio Mudanças Climáticas: O que estamos produzindo? .....	32
Ativos qualificados e cadastrados no Gestec .....	32
Resultados Previstos no IDEARE .....	34
Referências .....	35

## Mudança do Clima e Agricultura

### Estado da Arte

Significativas perdas na biodiversidade nas regiões tropicais, além de redução da produtividade em culturas agrícolas e rebanhos, fazem parte dos cenários das mudanças climáticas. Segundo a FAO (2016), 75% dos alimentos do mundo são gerados a partir de apenas 12 plantas e 5 espécies animais, tornando o sistema alimentar global altamente vulnerável e demandando ações que aumentem a capacidade adaptativa dos sistemas agrícolas. O aquecimento global deve causar mudanças climáticas capazes de impactar negativamente e com grande intensidade os ambientes naturais e os sistemas agropecuários. Projeta-se aumento da temperatura média do ar, maior ocorrência de eventos extremos de chuva e seca, além das consequências desses fenômenos como o aumento de processos erosivos, ocasionando perda de solo e nutrientes, aumento de conflitos pelos múltiplos usos dos recursos hídricos, salinização de solos, entre outros (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, 2018, 2020). Os riscos às atividades agropecuárias, como a redução das reservas mundiais de fertilizantes e de petróleo, são ainda intensificados pelas mudanças ambientais em curso, levando-se a um cenário onde a adaptação dos sistemas de produção às novas condições se torna indispensável para manutenção dos ganhos monetários e da segurança alimentar.

Nesse contexto, ao analisar políticas globais, Fujimori et al. (2019) estimam que o planejamento equivocados pode acrescentar até 160 milhões de pessoas no mapa de risco de fome em 2050 e gerar um custo adicional de 0,18% do produto interno bruto mundial. Portanto, em se tratando de combater mudanças climáticas, as evidências científicas demonstram que o planejamento deve ser bem executado e pautado em ações de adaptação aos efeitos da mudança climática e ações de controle de emissões de GEE, ambas alicerçadas em pesquisas científicas capazes de orientar políticas públicas efetivas e seguras para o meio ambiente e para a sociedade.

Lastreado por esse alicerce científico, o desenvolvimento de variedades e raças adaptadas a esse novo cenário é uma alternativa eficiente que deverá desempenhar papel preponderante na adaptação às mudanças climáticas. Destaca-se a necessidade premente de desenvolvimento de variedades tolerantes ao calor e ao estresse hídrico. Também pode ser ressaltada a importância de busca por cultivares mais eficientes no uso de fertilizantes e resistentes ao ataque de pragas e doenças emergentes em cenários de mudanças climáticas. Para o alcance de tais resultados, o melhoramento genético convencional deverá ser combinado à seleção assistida por marcadores e a modificações genéticas para a obtenção de cultivares e organismos mais resilientes e resistentes aos estresses bióticos e abióticos projetados.

No âmbito da produção animal, que será impactada pela redução na qualidade e quantidade da forragem e na disponibilidade de água, provavelmente resultando em queda da produção de carne e leite, piores índices reprodutivos, estresse calórico (com redução da ingestão de alimento e piora na conversão alimentar) e aumento na incidência de doenças (Rojas-Downing et al., 2017), medidas de adaptação envolverão modificações nos sistemas de manejo, nutrição e estratégias de cruzamentos, demandando avanços tecnológicos para a tomada de decisão pelos produtores. Uma gradual redução da criação extensiva, por meio de uma intensificação sustentável dos sistemas de produção animal (Havlík et al., 2014) e acompanhada da utilização de sistemas agrossilvipastoris que sequestram carbono atmosférico e melhoram o microclima para os rebanhos, parece ser o futuro da pecuária com baixa emissão de carbono e, ao mesmo tempo, resiliente e sustentável.



As mudanças climáticas também podem alterar significativamente os ciclos biogeoquímicos por meio das florestas, que armazenam parte significativa do carbono terrestre (Le Quéré et al., 2018). Estudos realizados na floresta amazônica ao longo de três décadas mostraram que a região está perdendo sua capacidade de sequestrar CO<sub>2</sub> devido a uma taxa crescente de mortalidade da biomassa (Brienen et al., 2015). Seca e mortalidade de árvores induzidas pelo calor e baixa disponibilidade hídrica estão se acelerando em muitos biomas florestais como consequência do aquecimento, resultando em uma ameaça às florestas em várias regiões do globo. As árvores altas de florestas antigas estão em maior risco, devido à regulação estomática isohídrica, baixa condutância hidráulica e área foliar alta. O tempo de recorrência em que esses eventos estão ocorrendo é tão rápido que não permite que as espécies se adaptem, gerando morte de árvores e implicações negativas para o armazenamento de carbono terrestre (McDowell; Allen, 2015). Opções de adaptação convencionais para espécies arbóreas incluem a manutenção da diversidade genética e da conectividade do habitat da espécie e o gerenciamento de outros estressores. No entanto, devem ser consideradas opções, como a migração assistida, gestão de doenças e pragas e monitoramento e gestão dos principais polinizadores e dispersores de sementes também vulneráveis às alterações climáticas (Gill et al., 2013).

Ações de adaptação à mudança climática também requerem medidas como a formação de redes de observação envolvendo iniciativas coordenadas dos produtores, do governo, do setor privado, das instituições de ensino, bem como do terceiro setor, com a identificação das informações disponíveis sobre impactos, vulnerabilidade e estratégias. Devem ser consideradas as principais vulnerabilidades ao clima, opções viáveis de adaptação com boa relação custo-benefício para reduzir os impactos da mudança (Gerber et al., 2013; Lipper et al., 2014), com estratégias que transformem e redirecionem os sistemas agrícolas para garantia da segurança alimentar diante dos cenários futuros. Tais estratégias estão baseadas na disponibilização de diferentes tecnologias e práticas, de acordo com a região, na intensificação sustentável e na utilização de serviços ecossistêmicos para suportar a produtividade da agropecuária.

O uso racional de fertilizantes nitrogenados, para evitar a degradação do solo, a contaminação da água e a emissão de óxidos de nitrogênio, poderá ser grandemente facilitado pela agricultura de precisão, que identificará a melhor quantidade e o momento para a aplicação, reduzindo também o custo da adubação. Outra forma de redução da necessidade de adubação será o uso de inoculantes e insumos biológicos (Jat et al., 2016).

No entanto, o conjunto específico de tecnologias agrícolas que devem ser implementadas de fato permanece altamente incerto, conforme Rosegrant et al. (2014). Com base em revisões bibliográficas e consultas a cientistas e especialistas, estes autores selecionaram um conjunto de tecnologias, em diversos estágios de desenvolvimento e adoção, que podem ser as principais forças motrizes do desenvolvimento sustentável da agricultura. O conjunto de tecnologias identificadas por Rosegrant et al. (2014) incluem o sistema de plantio direto; manejo integrado da fertilidade de solos; captação de água nos sistemas agrícolas; irrigação inteligente; agricultura de precisão; variedades melhoradas; eficiência no uso de N; agricultura regenerativa (Schreefel et al., 2020); e, aprimoramento do manejo integrado na proteção de culturas contra doenças, pragas e plantas daninhas. Outras tecnologias também devem ser avaliadas como alternativas para adaptação dos sistemas de produção às mudanças climáticas, como aquelas que potencializem: o reaproveitamento de resíduos urbanos, agroindustriais e/ou industriais como fonte alternativa de nutrientes para as culturas; circularidade; integração da produção para aproveitar a sinergia entre sistemas de produção mais simples; a obtenção de fontes alternativas de água para irrigação, como, por exemplo, por meio do tratamento e reuso de efluentes; o uso de porta-enxertos visando à adaptação a condições de

estresse térmico, hídrico, salino e biológico; o uso de fontes renováveis de energia nas atividades agropecuárias; o uso de sistemas de produção em ambiente protegido, especialmente aqueles que permitam o controle das condições climáticas no interior do ambiente de produção; o aumento significativo da produtividade, como os sistemas verticais de produção, permitindo a disponibilização de maior quantidade de área para recuperação ambiental; e o uso de soluções IoT (*internet of things*) para o monitoramento e controle das variáveis interferentes na produção agrícola.

Avaliações quantitativas mostram que os impactos ambientais para atender à demanda futura de alimentos dependem da dinâmica de expansão da agricultura global (Tilman et al., 2011). Segundo os autores, se a demanda de alimentos em 2050 fosse satisfeita por uma intensificação moderada - focada em terras cultiváveis já existentes em regiões com baixa eficiência produtiva atual, promovendo adaptação, transferência de tecnologias de alto rendimento, - as projeções indicam a necessidade de incorporação global de 200 milhões de ha, com emissões de 1 Gt CO<sub>2</sub>eq/ano e uso global de N de 225 Mt/ano. No entanto, na ausência de mudanças tecnológicas e de medidas de mitigação, os efeitos ambientais deletérios advindos do sistema alimentar (associado a indicadores como uso da terra e água, emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados) podem aumentar 50-90% até 2050, colocando em risco a própria segurança alimentar humana (Springmann et al., 2018).

No processo de crescimento da agricultura brasileira, a intensificação sustentável tem sido o eixo orientador, independentemente do setor produtivo, filiação tecnológica, ou condição socioeconômica dos produtores. Para orientar esse processo, métodos para a avaliação de impactos ambientais têm sido propostos pela Embrapa, integrando indicadores de sustentabilidade para a adoção de inovações tecnológicas (Ambitec-Agro) e para a gestão ambiental de atividades rurais (APOIA-NovoRural). O método Ambitec-Agro apresenta estrutura multicritério, pela qual observações de campo são pontuadas em 27 critérios e 148 indicadores de desempenho socioambiental. O método APOIA-NovoRural consta de 62 indicadores organizados em abordagem multiatributo, agrupados em cinco dimensões de sustentabilidade: ecologia da paisagem, qualidade ambiental, valores econômicos, valores socioculturais e gestão e administração. Os indicadores são verificados com instrumental analítico e dados técnicos dos estabelecimentos rurais, para compor relatórios de gestão ambiental (Rodrigues et al., 2010; 2016). Ambas as abordagens metodológicas têm sido amplamente empregadas em contextos de intensificação agropecuária, com resultados que representam exemplos de práticas e formas de manejo dirigidas à gestão ambiental para a sustentabilidade.

Outra ferramenta para a avaliação de impactos ambientais é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), definida como a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (Why..., 2002, tradução nossa). Tem forte base científica, é reconhecida internacionalmente (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014) e tem sido também muito demandada atualmente pelo setor produtivo, sendo várias as suas aplicações: na formulação de políticas públicas; na definição de critérios para rotulagem ambiental; no desenvolvimento de produtos e processos; no desenvolvimento de estratégias de negócios; no desenvolvimento de políticas de produtos; no acesso a mercados baseados na bioeconomia; na comunicação sobre aspectos ambientais de produtos; na tomada de decisão para compras; e no desenvolvimento de estilos de vida. A ACV baseia-se na contabilidade de massa e energia (inventário) de todos os processos componentes do ciclo de vida de um produto, desde a extração de recursos naturais até sua disposição final. A conversão dos dados de inventário em impactos ambientais, nas diferentes categorias abrangidas pela ACV, também se baseia em modelos que traduzem os processos ambientais. Tanto os modelos para estimação de emissões, quanto os mecanismos ambientais, hoje disponíveis, foram propostos para países de clima temperado, portanto existe uma enorme demanda pelo desenvol-

vimento ou adaptação de modelos de ACV para a agricultura tropical e, particularmente, para a agricultura brasileira.

Ao analisar as atuais fontes emissoras de gases de efeito estufa (GEE), globalmente observa-se que a agricultura e a mudança do uso da terra contribuem com cerca de 25% das emissões de GEE (Hong et al., 2021) e a produção animal, com 14,5% (Gerber et al., 2013). Portanto, além das estratégias de adaptação destacadas anteriormente, há necessidade de se promoverem ações de mitigação no âmbito da crescente demanda agropecuária, e preferencialmente de maneira integrada.

A ONU (United Nations, 2017) estimou que em 2050 a população mundial será de aproximadamente 9,8 bilhões de habitantes. A demanda de alimentos obrigará a ampliação dos níveis de produção em 70%, podendo aumentar as emissões de GEE devido à pressão para a conversão de áreas nativas (Lambin; Meyfroidt, 2011), obrigando a intensificação da produção, configurando ameaças para o futuro do clima.

No Brasil, tradicionalmente, compromissos foram adotados em acordos internacionais focando a mitigação de GEE oriundos da agricultura e redução do desmatamento, a partir dos compromissos voluntários na COP 15 e na COP 21. A recuperação de pastagens degradadas e a expansão dos sistemas de (ILPF) representam as principais metas de mitigação, dado que a pecuária alcança quase 60 % do total de emissões do setor (Quarta..., 2021). Juntas, as estratégias propostas devem implicar em uma intensificação de produção de carne, leite, grãos e fibras em quase 40 milhões de hectares, contribuindo para o compromisso total nacional voluntário de mitigar entre 30 e 40% das emissões esperadas para 2020 (Brasil, 2012; Adoption..., 2015) e das contribuições nacionalmente determinadas (do inglês, NDC) propostas na COP 21 e ratificadas no Acordo de Paris (Brasil, 2015). Segundo as metas, a perspectiva de mitigar emissões recai principalmente no sequestro de C no solo que, segundo Alexander et al. (2015), seria a real possibilidade de usar a agricultura para mitigar suas próprias emissões. Nesse sentido, o monitoramento in situ dos estoques de carbono no solo de sistemas agropecuários é uma operação de interesse estratégico a ser desenvolvida. Modernizar, baratear e ter acompanhamento em tempo real desses estoques, passa pela qualificação dos sistemas de medição e a criação de uma rede de avaliação, a ser organizada pelas instituições de pesquisa espalhadas no País. Tal ação é fundamental para alicerçar a entrada do País no mercado de créditos de carbono, bem como ter a informação da capacidade de sequestro de carbono dos sistemas agropecuários brasileiros.

As oportunidades, as limitações e os desafios para a implementação do sequestro de carbono orgânico no solo como estratégia de desenvolvimento sustentável foram analisados e descritos por Rumpel et al. (2020).

Dentro desse contexto, o cenário das negociações internacionais no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (em sua sigla em inglês, UNFCCC) tem forte interação com o cenário nacional, e com a atuação da Embrapa na interface entre agricultura e mudanças climáticas (Adoption...2015). Muito se avançou nas negociações no setor agrícola, desde o início das discussões mais específicas sobre a agricultura na COP15, dentro do que se intitulava “abordagem setorial”, na qual se tratavam vários setores em conjunto e que foi o embrião para o Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC). Atualmente, após o Acordo de Paris, a agricultura é um tema discutido como estratégico, tanto para países desenvolvidos, como para aqueles em desenvolvimento.

Na última COP do Chile (COP 25, realizada em Madri em 2019), o Brasil apresentou, em várias oportunidades, dados bastante expressivos do quanto já se avançou com a ampliação das boas

práticas propostas no plano ABC, com altos índices de cumprimento e suplantação de suas metas. Segundo dados da Plataforma ABC (Manzatto et al., 2020), responsável pelo monitoramento das metas do Plano ABC, quando se considera tanto os projetos financiados diretamente pelo Programa ABC quanto os estimulados indiretamente pela quebra de barreiras que ele ajudou a promover, cumpriu-se 13% a 62% para recuperação de pastagens degradadas, 111% a 182% para ILPF, 129% para plantio direto, 180% a 197% para Fixação Biológica de Nitrogênio e 39% a 103% para o Tratamento de Resíduos Animais. Não há estimativa de percentagem da meta para Plantio de florestas baseada em reduções de emissões, porém, comparando-se pela relação entre a área estimada e a compromissada, a variação seria de 21% a 261%. Essa variação identificada nas estimativas para as diversas tecnologias ABC é função da variação entre as fontes de dados, detalhadas pelos autores. De qualquer forma, é inegável a ocorrência de avanços significativos e a superação da meta global.

Ressalta-se a importância do aumento de ambição no controle de emissões de GEE e o sexto relatório de avaliação (AR6, na sigla em inglês) do grupo de trabalho sobre bases físicas do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021) enfatiza a necessidade de um esforço muito maior do que o constante das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, em sua sigla em inglês). Por outro lado, ao longo desse avanço, e em especial na agricultura, um dos setores mais impactados pela mudança do clima, demanda-se cada vez mais atenção para a vertente da adaptação a ponto de, no embate atual entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, estes últimos defenderem a linguagem de se implantar “ações de adaptação com cobenefícios de mitigação” (Lal, 2019), dado que tão ou mais importante que a redução das emissões é a garantia da sustentabilidade do setor para promover a segurança alimentar, um dos pilares da UNFCCC e no âmbito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Essa mudança também se reflete na pesquisa desenvolvida pela Embrapa e apresenta a ela desafios e demandas para nova abordagem.

## **Contexto de desenvolvimento tecnológico e inovação**

A garantia da sustentabilidade do setor agrícola brasileiro - considerada principalmente nas vertentes econômica, social e ambiental, e essencial para a promoção da segurança alimentar global - exige que se invista de forma planejada e antecipada em soluções de mitigação dos impactos e de adaptação dos sistemas produtivos frente aos desafios das mudanças climáticas. Tais soluções voltadas aos sistemas produtivos, tanto dizem respeito à redução de sua vulnerabilidade e aumento de sua capacidade adaptativa aos impactos da mudança do clima, quanto ao balanço de carbono desses sistemas e à mitigação de emissões. Além disso, ao incorporar tendências e resultados das negociações internacionais no setor agrícola – que derivam das suas necessidades e retroalimentam o cenário nacional –, denota-se que são ações que promovem a adaptação ao mesmo tempo em que oferecem cobenefícios de mitigação ou redução das emissões de GEE. Portanto, mais que desafios, são oportunidades para as cadeias produtivas envolvidas no setor, integral ou parcialmente. Desdobram-se, também, em oportunidades para o desenvolvimento científico e tecnológico que ofereça soluções para esses desafios.

Com a expansão da população mundial e o aumento do poder aquisitivo de países emergentes, estima-se aumento da demanda por alimentos no mundo da ordem de 50% até 2030 (OECD-FAO..., 2013) alcançando, com base nos níveis atuais, até 70% em 2050 (Hunter et al., 2017). Porém, o modelo que sustentou o crescimento da produção até aqui, com intenso uso de recursos naturais e outros insumos (*inputs*), tem demonstrado esgotamento. As últimas décadas foram marcadas pelo

agravo das questões ambientais. Impõe-se, assim, o desafio de viabilizar tecnologias inovadoras que garantam a produção de alimentos em um cenário global de mudanças climáticas, forte pressão sobre o recurso água e exigências crescentes por segurança do alimento e redução de impactos ambientais e sociais do processo produtivo (World Economic Forum, 2015). Para tal, a ciência terá a missão de produzir soluções que permitam ampliar a competitividade e o dinamismo do setor com foco nas múltiplas dimensões da sustentabilidade (técnico-econômica, social e ambiental). O zoneamento ecológico, não só baseado no clima atual, mas nas projeções do clima futuro, é exemplo de informações estratégicas para a expansão de culturas agrícolas e de plantações florestais e para programas de conservação, tanto *in situ*, como *ex situ*. Os limites climáticos da distribuição natural também sofrerão alterações nas áreas recomendadas para plantio de uma determinada espécie, impactando o mercado.

Nesse contexto, o aumento da demanda mundial de alimentos representa enormes desafios para a sustentabilidade tanto da produção agropecuária, como dos ecossistemas terrestres e aquáticos e dos serviços que prestam à sociedade, conforme reforçam Tilman et al. (2002). Segundo esses autores, os agricultores são os principais gestores de terras utilizáveis no mundo e moldarão, talvez irreversivelmente, a superfície da Terra nas próximas décadas. Novos incentivos e políticas para garantir a sustentabilidade da agricultura e a manutenção dos serviços ecossistêmicos serão cruciais para atender às demandas de melhores rendimentos sem comprometer a integridade ambiental ou a saúde pública. Nesse sentido, a política e a pesquisa devem se articular para atender à demanda de alimentos, sem descuidar do funcionamento dos ecossistemas, por meio de estratégias associadas a metas atualizadas de produção contextualizadas em metas ambientais quantitativas (Hunter et al., 2017). Além disso, espera-se que combinar avanços tecnológicos com mudanças socioculturais e políticas possa transformar os sistemas agroalimentares no âmbito do enfrentamento de prementes desafios climáticos, econômicos, ambientais, de saúde e sociais (Barrett et al., 2020).

Assim, a introdução de novos padrões tecnológicos na agricultura deverá se nortear pela consolidação de sistemas de produção limpos, com baixas emissões, neutros ou mesmo com balanços positivos de carbono, que integrem as cadeias e promovam a inclusão produtiva (Embrapa, 2014).

Investimentos acelerados em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) na agricultura serão cruciais para apoiar o crescimento da produção de alimentos. As tecnologias selecionadas por Rosegrant et al. (2014), que vão desde práticas tradicionais de manejo até modernas aplicações agrícolas e novas variedades de cultivos, entre outras já destacadas aqui, apresentam-se como oportunidades de investimento e inovação. A efetiva ampliação do uso do conjunto de tecnologias terá impactos importantes na produção agrícola, consumo e segurança do alimento, segurança alimentar, comércio e qualidade ambiental.

Entretanto, é improvável que essas sejam as únicas tecnologias que serão importantes nos próximos 40 anos (Rosegrant et al., 2014). Mas essa vasta gama de tecnologias ilustra as principais vertentes de inovação em face da crescente escassez de recursos naturais, dos cenários mudanças climáticas e do aumento da demanda por alimentos. Além disso, métricas adequadas de avaliação da sustentabilidade dessas práticas devem ser desenvolvidas e aprimoradas, para auxiliar na própria construção dessas tecnologias.

Focando em alguns exemplos específicos que surgem como oportunidade de inovação e sua relação com as mudanças climáticas, pode-se destacar o mercado de insumos de menor impacto na produção de GEE quando utilizados nos sistemas intensificados, tal como fertilizantes nitrogenados modificados, tanto para uso na agricultura, especialmente na cana-de-açúcar (Soares et al., 2015) e no milho, como em pastagens, reduzindo as emissões de óxido nitroso. Os esforços



relacionados ao incremento da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em cana-de-açúcar e milho, também devem ser intensificados, dada a área plantada com essas culturas e o potencial redutor de emissões (Rouws et al., 2015). Ainda na pecuária, a emissão de metano entérico é um processo importante que pode ser minimizado pelo manejo da nutrição e dos processos ruminais (Berndt; Tomkins, 2013). A efetiva adaptação dos sistemas produtivos com cobenefícios de mitigação para a agricultura e, principalmente, para a pecuária, pode se desdobrar ao se considerar o excedente de área gerado com o aumento da produtividade nas áreas intensificadas, o qual pode ser usado para ampliar a produção de alimentos, recompor a vegetação nativa e sequestrar carbono na biomassa, ou mesmo para produzir biomassa para fins energéticos, em substituição às fontes fósseis (Lambin; Meyfroidt, 2011). Embora ainda existam lacunas acerca dos impactos na produtividade dos componentes do sistema e efetividade na mitigação, os sistemas integrados com o componente arbóreo têm se difundido no País pois, mesmo exigindo um grau maior de tecnificação do produtor, representam alternativas de negócio que trazem o benefício da diversificação da produção, ao mesmo tempo em que podem alcançar resultados significativos pelo sequestro de carbono na biomassa (Almeida et al., 2011). Esses sistemas apresentam potencial de inserção em programas de certificação em termos de mitigação da emissão de GEE, a exemplo do selo Carne Carbono-Neutro, focado na redução ou compensação da emissão do metano entérico bovino produzido no sistema integração lavoura pecuária e pecuária-floresta (Alves et al., 2017).

O sequestro de C no solo é uma das vias mais eficientes de mitigação da mudança do clima, entretanto o potencial de algumas tecnologias (por exemplo plantio direto, agricultura conservacionista, irrigação, entradas de C subsuperficiais, fertilizantes orgânicos e nitrogenados) para estocar C e os processos envolvidos devem ser novamente estimados e quantificados (Chenu et al., 2019), estabelecendo guias de uso ou aplicação para potencializar seu impacto.

Em face à presença aumentada de extremos hidrometeorológicos preditos na ocorrência da mudança climática, a inovação requer alternativas que deem suporte ao governo e seguradoras no âmbito da redução de seus custos frente ao agravamento do risco climático provocado pelas mudanças futuras, o que implicaria em menores prêmios de seguros ao setor agropecuário. Compreender a dinâmica evolutiva do sistema de seguros diante desses eventos e como se readapta, com inovação, também deve ser considerado e foi tema de estudo recente de Cremades et al. (2018). No contexto da resiliência social, os autores aplicaram o conceito de ciclo adaptativo ao setor financeiro de seguros e inferiram, entre outras vantagens, que manter a inovação continuamente pode reduzir os custos de seguro atuais e futuros, bem como contribuir para manter a segurabilidade futura. Investidores começam a buscar diferentes formas para reduzir a exposição a riscos climáticos de suas carteiras de investimento, o que inclui privilegiar agricultores, empreendimentos rurais e empresas cujos produtos e estratégias estão mais alinhados a uma economia de baixo carbono e resilientes às mudanças climáticas (Gestão..., 2017).

Independentemente da estratégia adotada, será necessário mensurar, reportar e verificar o benefício econômico da mitigação de GEE conseguida, o que por si só já é oportunidade para o desenvolvimento tecnológico e inovação. O inventário nacional é o documento oficial pelo qual as emissões nacionais são reportadas para as Nações Unidas, e o atual nível de detalhamento metodológico não permite visualizar os avanços com a adoção das práticas de mitigação propostas pelo Brasil. Além disso, a utilização desses índices e fatores de emissão globais é a realidade na construção do inventário, aumentando as incertezas das estimativas e potenciais de mitigação existentes. Uma dificuldade adicional no tocante ao registro das emissões são as informações de atividade, que não têm o nível o detalhamento necessário, e advém de diversas bases de dados públicas e privadas.

Apesar disso, o último inventário nacional já elaborado e publicado em janeiro de 2021 (Quarta..., 2021), já utiliza a guia metodológica de 2006, o que permite integrar às estimativas de emissões de GEE da agricultura, as emissões pela mudança de uso do solo, tornando visível o impacto das pastagens e lavouras nos estoques de carbono do solo. Esses avanços nas estimativas frente às metas de redução de emissão dos países, mais ambiciosas a partir do Acordo de Paris, podem voltar a aquecer o mercado de carbono e retroalimentar inovações técnico-científicas num modelo de parceria público-privada.

Numa outra vertente que tem ganhado força, mais recentemente, está a proposição de sistemas com alta tecnologia acoplada, visando o cultivo em ambiente protegido com rígido controle climático e sistemas inovadores de produção, que levam a um aumento considerável dos índices de produtividade, aptos ao uso em ambientes urbanos, mas não excludentes daqueles rurais, e adaptados a condições climáticas extremas. É o caso, por exemplo, das fazendas verticais (Despommier, 2011) e das fábricas de plantas (Kozai; Niu, 2016). São sistemas destinados principalmente à produção agrícola de espécies altamente vulneráveis às condições climáticas como algumas hortaliças e frutas, capazes de reduzir significativamente o uso de insumos como água, fertilizantes e agrotóxicos, e que exigem o desenvolvimento de tecnologias próprias como soluções IOT e de automação, produção de energia renovável, uso de iluminação artificial para produção agrícola, reaproveitamento de CO<sub>2</sub> no ambiente de produção, fabricação de fertilizantes a partir de resíduos, uso de águas residuárias após tratamento, desenvolvimento de sistemas hidropônicos e semihidropônicos verticais, entre outras. Ressalta-se a importância de tais sistemas que, a depender da severidade das mudanças climáticas observadas, atribuirão segurança ao cultivo de algumas espécies, aumentando a produtividade em espaços outrora ociosos como edificações em ambientes urbanos, por exemplo.

Parece inquestionável que a abordagem de inovações, focada em adaptar a agropecuária e as florestas a um clima em mudança, deve fornecer um caminho de preparação para um futuro incerto e basear-se nos princípios de que:

- As alterações climáticas e a variabilidade climática futura devem ser consideradas em todos os aspectos da tomada de decisão, com o uso em planos, cenários, identificação de opções, indicadores e sistemas para medir e acompanhar a eficácia das ações.
- Deve haver cooperação interorganizacional e multissetorial, com avaliação sistemática da preparação organizacional, pública ou privada, para atender os desafios da adaptação às mudanças climáticas.
- Deve-se avaliar a vulnerabilidade às mudanças climáticas, considerando-se o balanço de C e os cobenefícios da mitigação de GEE, em diferentes escalas.

Essa abordagem oferece oportunidades para inovação por instituições que interagem com o setor agrícola, tanto privadas quanto públicas, principalmente nos aspectos:

- Intensificação de aquisição, integração e uso de informações; monitoramento e mensuração para relato e verificação.
- Uso da terra, zoneamento do risco e identificação de vulnerabilidade, modelagem, simulação e concepção de cenários integrados.
- Pesquisa em áreas temáticas; solo como recurso natural, seu uso e papel na mitigação e adaptação; recursos hídricos e uso da água; manejo de pragas e doenças; recursos genéticos e melhoramento.

- Combate à desertificação.
- Adaptação do manejo de sistemas de produção, dispondo de ampla gama de tecnologias, das mais simples às mais avançadas, para a sua sustentabilidade econômica, social e ambiental.
- Desenvolvimento rural (transferência de tecnologia e assistência técnica).
- Certificação, rotulagem e esquemas de mercado para viabilizar o desenvolvimento e uso de práticas e tecnologias adaptadoras e mitigadoras.
- Políticas públicas e instrumentos normativos.

## **Demandas e oportunidades para inovação no âmbito Portfólio de Mudanças Climáticas**

Enfatiza-se a necessidade imediata da adaptação com cobenefícios de mitigação, exigindo uma abordagem de sistemas voltada à tomada de decisões sobre o futuro, apesar das incertezas. Em adição, agregar os mais pobres e vulneráveis no debate para a construção das soluções é preponderante no âmbito da equidade, na busca pela adaptação climática (Pelling; Garschagen, 2019).

A análise dos impactos e da inter-relação entre variabilidade climática, agricultura, sistema alimentar e os custos de adaptação associados, com o uso de modelos climáticos e de modelos processuais de crescimento, ganham atenção como ferramentas viáveis. Ogden e Innes (2009) observam que a sustentabilidade depende da adaptabilidade e comentam que a mudança climática está fornecendo o ímpeto e um fórum para discutir uma questão mais ampla: a necessidade de um programa mais abrangente de pesquisa e monitoramento para apoiar a gestão sustentável dos recursos florestais. Essa afirmação também é válida para os demais cultivos agrícolas e para a pecuária.

Num exemplo claro e precoce da abordagem de se promover ações de adaptação com cobenefícios de mitigação, tanto na submissão de Ações de Mitigação Apropriadas Nacionalmente (NAMA, na sigla em inglês) após a COP15, quanto na submissão de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês) após a COP22, o Brasil se comprometeu voluntariamente em mitigar emissões de GEE na agricultura por meio de estratégias que implicam no aumento da eficiência produtiva. Porém, será necessário desenvolver métricas, ferramentas e técnicas para medir, monitorar e verificar esse aumento de eficiência e sustentabilidade, bem como as reduções de emissões e remoções de GEE, incluindo-se aquelas que permitam desagregar tipos de pastagem, plantio direto e convencional, sistemas dependentes ou não da FBN, plantios florestais no inventário nacional, principal documento de relato de emissões nas Nações Unidas. A continuidade da pesquisa para estabelecer fatores de emissão é necessária para expressar adequadamente a realidade nacional, assim como estabelecer modelos de predição calibrados com dados existentes, evitando-se o uso de aproximações ou padrões globais do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) que adotam modelos, premissas e dados estatísticos pouco representativos da agricultura brasileira, penalizando indevidamente o País por não expressar adequadamente as emissões ou as remoções de seus sistemas de produção. O mesmo vale para Inventários de Ciclo de Vida (ICV) e seus bancos de dados e modelos internacionais. Porém, já têm sido empenhados esforços para contribuições da pesquisa brasileira a estes bancos de dados internacionais de ICV e para avançar em dados e modelos mais representativos dos sistemas nacionais e de acordo com os tier2 e tier3 do IPCC. A metodologia BRLUC, desenvolvida por Novaes et al. (2017), apresenta-se como uma robusta alternativa para o tratamento das emissões de GEE derivadas das Mudanças de Uso da Terra, sendo capaz de refletir particularidades da agricultura brasileira, com bancos de dados nacio-



nais mais detalhados, organizados e acessíveis. Apesar do grande avanço que representou a geração desses conhecimentos e ferramentas, é necessário que seus modelos e bases de dados sejam constantemente aprimorados e validados para garantir o seu reconhecimento como referência para avaliação de impactos das mudanças de uso da terra (Land Use Change (LUC)) e desempenho ambiental de produtos por meio da ACV no Brasil. Com números mais precisos e modelos calibrados, é possível desenvolver sistemas de apoio à decisão que permitam ao setor agrícola entender as possíveis mudanças nas práticas de manejo para reduzir as emissões de GEE e aumentar o sequestro de C, além de ter impacto positivo no mercado, cada vez mais pautado por critérios ambientais.

A FBN aplicável a outros tipos vegetais, que não as leguminosas, especialmente gramíneas, por si só já é um desafio científico de altíssimo impacto, tanto no potencial produtivo, quanto na redução da dependência de fertilizantes derivados do petróleo, emissores de GEE. Em uma agricultura intensificada, essa inovação nas práticas e nos insumos com menores emissões associadas é uma demanda para a pesquisa. Novos fertilizantes voltados para aumentar sua disponibilidade no solo e a eficiência de utilização pelas plantas, tal qual os organominerais, modificados com polímeros, inibidores etc., cuja adoção por si representa uma medida de adaptação, podem também mitigar emissões diretamente ou indiretamente pela redução das doses requeridas pelas plantas. Combinar fertilizantes modificados e inoculantes microbianos pode ser uma estratégia positiva para a mitigação dos GEE. O uso de fertilizantes orgânicos e bioestimulantes que, além de fornecer nutrientes para as culturas, ainda podem aportar micro-organismos e hormônios promotores de crescimento vegetal, como as auxinas, citocininas e giberelinas, também têm demonstrado potencial para adaptar os cultivos às mudanças climáticas, inibindo a ocorrência e a intensidade de sintomas associados aos estresses fisiológicos. Aqui, também, dados de emissões mais precisos são requeridos, além de metodologias para permitir a visualização dos ganhos no inventário nacional e a integração de emissões *upstream* e *downstream*, assim como as externalidades das estratégias adotadas, como a ACV.

Há expectativa acerca do Acordo de Paris, especialmente sobre os mecanismos financeiros que serão adotados para estimular a adoção de práticas adaptadoras e mitigadoras. A intensificação pode aumentar a produtividade do sistema e reduzir emissões de GEE, computada pela redução de área ou rebanho e pelo aumento do sequestro de C. Outras externalidades positivas sobre água, energia, biodiversidade e conservação do solo irão acontecer com as propostas de manejo e uso apresentadas. Se mecanismos financeiros forem estabelecidos para remunerar essa estratégia, será necessário aprimorar as estimativas por meio da uniformização de protocolos de medição estabelecidos dentro dos melhores padrões internacionais, além do aumento do financiamento de pesquisas para aumentar a base de dados existente.

Diante do exposto, entende-se plenamente justificável, e parece inegável a importância do Portfólio de Mudanças Climáticas, cujo tema apresenta demandas de pesquisas urgentes, ao mesmo tempo em que oferece significativas oportunidades de inovação, com atuação preponderante da Embrapa.

## Objetivo Geral do Portfólio

O objetivo geral do Portfólio de Mudanças Climáticas é integrar ações de PD&I da Embrapa e seus parceiros, visando oferecer alternativas técnico-científicas para a adaptação e a sustentabilidade da agricultura brasileira frente aos desafios impostos pela mudança do clima, contribuindo para a segurança alimentar nacional e global e para o controle das emissões nacionais de gases de efeito estufa.

#### Objetivos específicos:

- Analisar a vulnerabilidade e a sustentabilidade da agricultura, em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais, no contexto da Mudança do Clima.
- Desenvolver técnicas e práticas que contribuam para a adaptação dos sistemas agrícolas, pecuários, florestais, e suas integrações, e para a solução dos desafios da Mudança do Clima.
- Compreender, controlar e mitigar emissões de GEE e potencializar o sequestro de C em sistemas agrícolas, pecuários, florestais e suas integrações.
- Contribuir para definição de políticas públicas e governança nacional e internacional no contexto da Mudança do Clima.

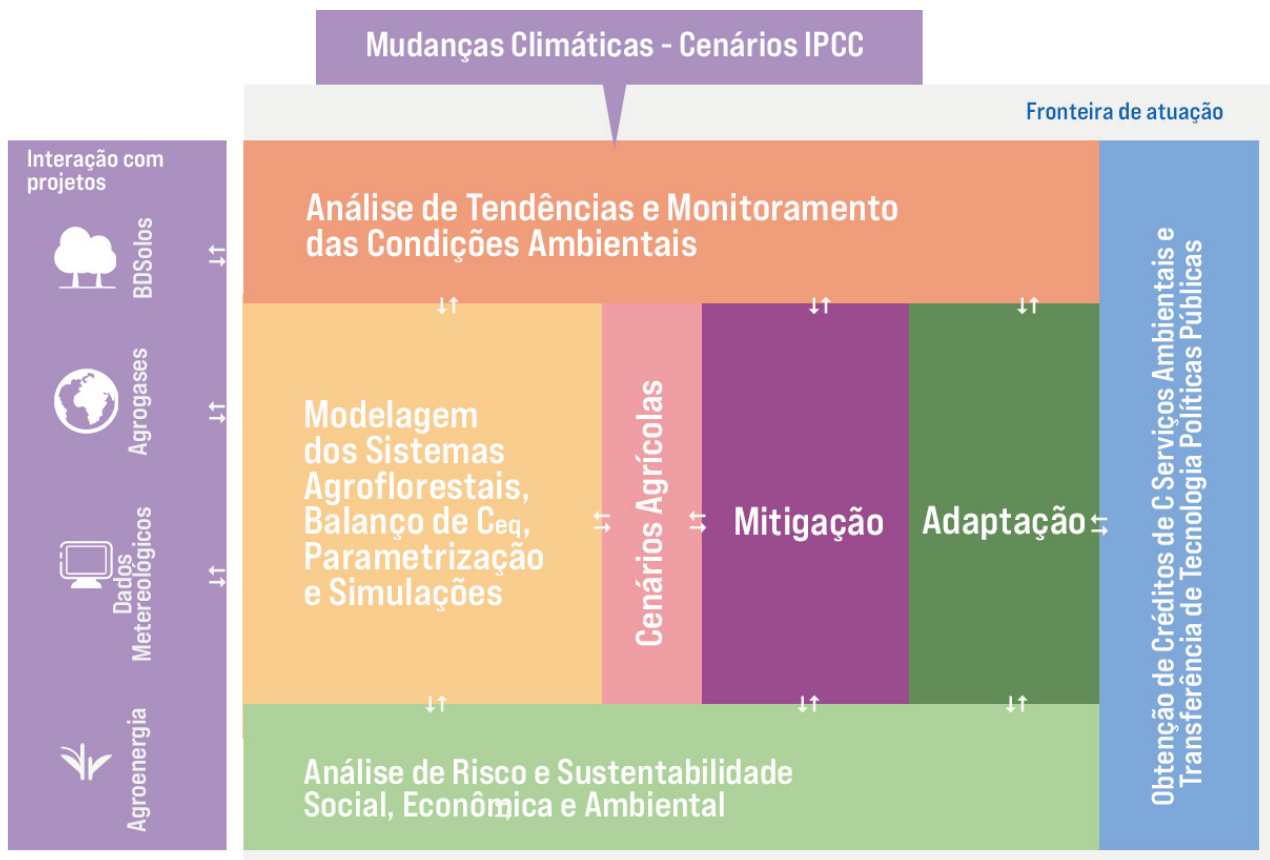
## Histórico de atuação do Portfólio e Desafios para Inovação

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) instituiu, oficialmente, a partir de maio de 2012, a figura de Comitês Gestores de Portfólios (CGPorts) de Projetos com a intenção de dar apoio ao então Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD), no sentido integrar e ampliar suas ações de indução e monitoramento de projetos em temas de interesse nacional, considerados estratégicos pela alta direção da Empresa e transversais às missões de suas Unidades Centrais (UCs) e, sobretudo, de suas Unidades Descentralizadas (UDs). A partir de 2018, após a reestruturação de várias figuras institucionais e a implantação do “Macroprocesso de Inovação” (MPI) (Embrapa, 2018), houve uma reorganização desses temas e ações, coordenada pela atual Secretaria de Pesquisa e Desenvolvimento (SPD). Essa coordenação derivou em uma melhor definição de papéis institucionais e atividades dos CGPorts, dentre eles o Comitê Gestor do Portfólio de Projetos em Mudanças Climáticas na Agricultura (CGPortMudClim).

Essa breve e incompleta versão do histórico dos CGPorts na Embrapa se insere no contexto do seu planejamento estratégico e tático, definido em documentos corporativos, que são os norteadores para toda a ação de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da Empresa, por meio de sua visão de futuro, Objetivos Estratégicos (OE) e, no caso do “VII Plano Diretor da Embrapa” (VII-PDE) (Embrapa, 2020b), de Metas Estratégicas (ME) explícitas. Nesses documentos o tema das Mudanças Climáticas Globais (MCG) e suas relações com a agricultura brasileira aparece explicitamente como estratégico e demandante de soluções de inovação derivadas das ações de pesquisas da Embrapa e seus parceiros públicos e privados.

A partir desse sucinto histórico sobre a estruturação dos Portfólios de Projetos na Embrapa, é importante caracterizar dois momentos no tempo do PortMudClim. O primeiro momento diz respeito à Plataforma de Mudanças Climáticas, precursora do PortMudClim que existiu, portanto, antes da oficialização no ambiente corporativo da figura dos CGPort. Essa plataforma se estruturou a partir da demanda latente da diretoria executiva da Empresa para uma análise do tema das mudanças climáticas e sua relação com a agricultura, e da posterior contratação de pesquisadores para trabalharem especificamente no tema em 2006/2007. A essa época pelo menos dois projetos de envergadura nacional tratavam do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), dentro do “Macroprograma 1 - Grandes Desafios Nacionais” (MP1) do Sistema Embrapa de Gestão (SEG), e já apresentavam simulações de cenários futuros baseadas nos cenários de mudança do clima apresentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, sigla em inglês). Desse contexto, criou-se uma proposta de atuação da Empresa no tema, apresentando uma estrutura lógica composta

por diversos elementos ou frentes de atuação, estabelecendo inclusive limites de atuação e a interação com iniciativas prévias. A Figura 1 ilustra essa estrutura e seus elementos principais.



**Figura 1.** Plataforma de Mudanças Climáticas da Embrapa. Estrutura, principais elementos e interação entre eles.

A partir dessa análise, quatro vertentes estruturantes foram definidas de forma a se materializarem em quatro propostas de projetos de envergadura nacional no MP1: simulação de cenários agrícolas futuros, baseado em modelos de crescimento de culturas; simulação de cenários futuros para pragas, doenças e plantas daninhas; balanço de carbono e controle de emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos sistemas produtivos; adaptação dos sistemas produtivos aos impactos da mudança do clima. O direcionamento por essas quatro vertentes levou à indução ativa, nos anos seguintes, de seis projetos MP1 em colaboração com o então Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) e sua Coordenação Institucional de Articulação (CIA), sendo que as duas primeiras derivaram, respectivamente nos projetos MP1 SCAF e ClimaPest. Dada a diversidade dos sistemas produtivos, a vertente de balanço de carbono se desdobrou em três, focando a pecuária, a silvicultura e a produção de grãos e incorporando os sistemas integrados, derivando nos projetos Pecus, Saltus e Fluxus, respectivamente. A vertente de adaptação genética, dadas as características específicas da área de pesquisa e de sua liderança, não se desenvolveu como projeto MP1, mas como uma gama de projetos em outros Macroprogramas (MP). Uma outra vertente já incorporada desde a concepção inicial da plataforma, mas que demandou uma articulação adicional foi a de recursos hídricos e sua relação com a agricultura e mudanças climáticas, que gerou o sexto MP1 da plataforma, o projeto AgroHidro. Esses projetos MP1 foram os pilares de estruturação da então plataforma de mudanças climáticas da Embrapa e criaram redes e infraestrutura nacionais de pesquisa e capacitaram diversas equipes no tema, desfrutando de um período propício e com disponibilidade de recursos nacionais. E pode-se dizer que essa estruturação desenvolvida continua contribuindo para o que se desenvolve hoje na Embrapa, em parte como derivação desses MP1.

O segundo momento, que se pretende destacar, é o mais recente, a partir de 2018, após a implantação do MPI (Embrapa, 2018), coordenado pela SPD, e a reestruturação de várias figuras institucionais, inclusive dos CGPorts oficializados a partir de 2012. Essa reestruturação baseou-se em técnicas de gestão e em funcionalidades e métricas introduzidas nos sistemas corporativos, para o registro de informações, cálculo de indicadores e estatísticas, geração de painéis ou “dashboards”, relatórios e outras ferramentas gerenciais e, por outro, em uma melhor definição de papéis institucionais e atividades dos CGPorts, reduzidos a 34, dentre eles, o Comitê Gestor do Portfólio de Mudanças Climáticas, composto por oito pesquisadores de diferentes especialidades, sendo um presidente, um secretário executivo, um gestor de ativos e 5 membros. O Portfólio de Mudanças Climáticas é representado esquematicamente pela Figura 2.



Figura 2. Atuação do Portfólio e principais demandas e oportunidades para inovação no âmbito de sua temática.

Vários procedimentos e análises foram padronizados a todos os CGPorts, sobretudo a definição de Desafios para Inovação passando por quatro etapas até seu uso nas chamadas de projetos, ou editais internos. Essas quatro etapas dizem respeito a: uma análise por um Grupo de Trabalho de

pesquisadores da Embrapa envolvidos com o tema do CGPort, estudando os problemas e oportunidades para atuação da Empresa e propondo um conjunto inicial de DI; uma análise por um novo CGPort nomeado após a reestruturação, refinando e reduzindo o número de DI, em forte interação com a equipe SPD, gestora da vertente de PD&I dentro do MPI; uma consulta a outros *stakeholders* internos, incluindo pesquisadores e gestores das unidades descentralizadas (UD) da empresa; uma consulta a *stakeholders* externos dos vários setores envolvidos com o tema, para uma priorização dos DI de acordo com sua visão e experiência. As UD, no planejamento de sua agenda de prioridades, também puderam estabelecer Contribuições e Metas de Inovação Tecnológica (C&MIT) e criar vinculações formais aos DI nos sistemas corporativos.

A priorização final dos DI após essas quatro etapas é que norteia as chamadas de projetos, induzindo internamente o desenvolvimento de ideias e a submissão, por parte dos pesquisadores, de propostas de projetos contendo CI/SI e seus resultados, de acordo com as suas competências e interesses de pesquisa, desde que alinhados às C&MIT definidas por sua UD. Dessa forma, cria-se uma hierarquia de vínculos indo desde os resultados das CI/SI, vinculadas às C&MIT da UD que, por sua vez, são vinculadas ao DI. No exercício de criação e refinamento dos DI, criaram-se também os seus vínculos de alinhamento aos OE do VI-PDE e, com o lançamento do VII-PDE, houve recentemente um novo alinhamento dos DI aos novos OE e ME deste plano, conforme apresentado no item que segue, completando essa hierarquia (resultado >> CI/SI >> C&MIT >> DI >> ME >> OE). A Tabela 1 lista os DI do PortMudClim.

A atuação do Portfólio de Mudanças Climáticas tem abrangência nacional, para praticamente todos os seus desafios para inovação, embora especificações de acordo com as características regionais, e mesmo locais, devam ser realizadas, seja no que se refere à adaptação dos sistemas de produção, ou no que se refere ao controle das emissões. Demandas explícitas dos Ministérios do Governo Federal relacionadas a esses desafios, já no primeiro trimestre de 2021, foram destacadas pelo MAPA com respeito à experiência do último Inventário Nacional de GEE (Inventário) e melhoria contínua para as próximas versões (relacionada ao DI 6 da Tabela 1), pelo MCTI com respeito às projeções de cenários e análise de vulnerabilidade e risco climático na agricultura (relacionada ao DI 6 da Tabela 1), além da análise do Plano Nacional de Adaptação (Brasil, 2016) (relacionada ao DI 3 da Tabela 1) e outras já explícitas como necessidades de propostas de atuação da Embrapa em ações estruturantes de âmbito nacional.

Com base no cenário descrito, na abrangência nacional do tema, na análise profunda dos resultados técnico-científicos disponíveis no País, e nas necessidades prementes para enfrentar as mudanças climáticas, o comitê gestor do portfólio delineou desafios para inovação para nortear os projetos de pesquisa e os ativos tecnológicos a serem entregues à sociedade, como resposta ao enfrentamento da mudança do clima. Os desafios para inovação para o portfólio contemplam a abrangência e completude de seu escopo de atuação, conforme a Tabela 1 que segue:



**Tabela 1.** Desafios para Inovação (DI) e respectiva contextualização orientadora.

Desafios de inovação	Contextualização
<p>Projetar cenários de risco climático dos principais sistemas de produção agropecuários decorrentes de estresses hídrico, térmico e alterações na dinâmica de problemas fitossanitários, intensificados pelas mudanças climáticas</p>	<p>A avaliação de riscos de perda de produtividade dos sistemas agropecuários*, baseada em zoneamentos e cenários atuais e na projeção de cenários futuros, que considerem os impactos da mudança do clima sobre fatores de produção bióticos e abióticos, possibilita a tomada de decisão para a adoção de medidas preventivas, a promoção da redução de perdas, a formação de mecanismos de transferência de risco e a expansão do seguro agrícola. Possibilita, também, a identificação de áreas vulneráveis e sua priorização em políticas e ações de adaptação (*sistemas agrícolas, pecuários, florestais e suas integrações).</p>
<p>Aumentar a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas</p>	<p>O principal desafio em Mudanças Climáticas para a agropecuária é garantir a manutenção ou a ampliação da produtividade dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais, mesmo sob cenários climáticos adversos. Muitos dos sistemas de produção agropecuária atuais possuem baixa capacidade adaptativa e baixa resiliência aos impactos das mudanças climáticas, o que provavelmente ocasionará perdas de produção, com grandes prejuízos econômico e social.</p> <p>Por isso é essencial promover o aumento da capacidade adaptativa dos sistemas de produção agrícolas de modo a mitigar os riscos econômicos e os prejuízos à segurança alimentar, especialmente em ambientes ou regiões onde os efeitos das mudanças do clima, projetados nos cenários de riscos de perda, se mostrem mais relevantes.</p> <p>A adaptação dos sistemas de produção pode seguir várias estratégias. Destacam-se algumas vertentes de adaptação como o melhoramento genético, por meio da disponibilização de cultivares e ativos biotecnológicos e o uso de práticas de manejo do solo e dos sistemas de produção mais eficientes, buscando o melhor aproveitamento da água e outros insumos, o bem-estar animal e a sustentabilidade dos sistemas.</p>
<p>Estruturar plataforma digital e integrada de inteligência para a gestão do risco climático na agricultura brasileira (CICLAG)</p>	<p>No Plano Nacional de Adaptação está priorizada a criação de um sistema de inteligência para a gestão do risco climático na agricultura que, entretanto, ainda está incompleto. Esse sistema pressupõe a integração de informações e o desenvolvimento e adaptação de sistemas de mineração de dados e métodos analíticos para a gestão de prioridades e suporte à tomada de decisão nas esferas privada e pública, da escala municipal à federal, no âmbito da temática da mudança do clima.</p>

Estruturar plataforma digital para caracterização do nível de sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais e dos efeitos nela produzidos por indicações de ajustes no manejo desses sistemas de produção

A caracterização quantitativa da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pecuários, florestais e integrados depende de métricas, indicadores e modelos funcionais e acessíveis que expressem adequadamente a condição atual de cada sistema e permitam a avaliação objetiva dos efeitos neles promovidos por ações de adaptação. O desenvolvimento dessas métricas, indicadores e modelos e sua integração numa plataforma digital possibilita aprimorar o diagnóstico, a adoção de medidas de melhoria, a recomendação e o direcionamento para condição futura mais sustentável para os sistemas de produção. O estabelecimento dessa plataforma também permitirá avaliar, validar, ou até mesmo adequar políticas públicas, ações e programas no escopo da adaptação à mudança do clima.

Agregar valor aos produtos gerados em sistemas integrados (ILP e ILPF) e outros sistemas que promovam a capacidade adaptativa das cadeias mais vulneráveis e o controle das emissões de GEE nas cadeias de grãos, pecuária bovina e agroenergia.

Tradicionalmente, os sistemas de produção têm priorizado a produtividade e o retorno econômico, desconsiderando a provisão de múltiplos serviços ambientais que contribuem para a sustentabilidade do empreendimento. Por outro lado, o consumidor está cada vez mais interessado em adquirir produtos originados de sistemas ambientalmente corretos e que promovam a biodiversidade, o bem-estar animal e a redução do desperdício.

Ações como o pagamento por serviços ambientais (PSA) e o processo de certificação, de rastreabilidade e a criação de marcas-conceito, que geralmente lançam mão da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), possibilitam aumentar a captura de valor ao longo das cadeias produtivas baseadas em sistemas integrados e que geram menor emissão de GEE, permitindo maior inserção dos produtos nos mercados, aumentando a visibilidade dos impactos socioeconômicos e ambientais gerados por esses sistemas.

Monitorar em larga escala os estoques de C e N e emissões de GEE (na lógica MRV-Monitoramento, Relato e Verificação), representando adequadamente a realidade dos sistemas de produção brasileiros

Se por um lado, a atividade agropecuária sofre o impacto da mudança do clima, ela também impacta na qualidade dos ecossistemas e do ambiente produtivo, com reflexos nem sempre positivos para a mudança do clima. A evolução desses impactos deve ser monitorada para apoiar tomadas de decisão adequadas visando assegurar a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Nesse sentido, no âmbito da UNFCCC, estabeleceu-se o processo de Monitoramento, Relato e Verificação, que demanda que as partes signatárias da convenção do clima realizem monitoramento e inventário de suas emissões de GEE e os relatem em Comunicações Nacionais periódicas e que permitam sua verificação por comitês internacionais vinculados à ONU. Metodologias e protocolos para o monitoramento desses indicadores em larga escala são necessários para a realização do inventário de emissões nacionais e para relatar e validar os resultados de programas e políticas públicas nacionais que tratam das mudanças climáticas.

Esse inventário, e o próprio processo de relato e verificação, dependem de plataformas digitais que permitam armazenar, organizar e analisar banco de dados de fatores de emissão e de atividades nacionais e de conjunto de informações e indicadores associados. Exige também uma capacidade de filtragem e visualização de informações e mapas, seja para a análise e relato em si, seja para o processo de verificação.

<p>Reduzir ou controlar as emissões de GEE oriundas da bovinocultura de corte extensiva e do uso de fertilizantes nitrogenados e combustíveis fósseis nos sistemas agropecuários brasileiros</p>	<p>Atualmente, 76% das emissões totais de metano (CH4) do Brasil são provenientes do setor agropecuário, dominado pelas emissões oriundas da fermentação entérica da bovinocultura de corte (59%) (Quarta..., 2021). Oitenta e sete por cento (87%) das emissões totais de óxido nitroso (N2O) são provenientes do setor agropecuário, dominado pelas emissões de solos manejados (emissões diretas + indiretas, 84%), atribuídas principalmente a animais em pastagem, utilização de fertilizantes sintéticos e manejo de resíduos agrícolas. As emissões de CO<sub>2</sub> na agricultura (calagem e aplicação de ureia) aumentaram em 44% no período 2010-2016. Para reduzir a contribuição da agropecuária brasileira para o aumento da concentração de GEE na atmosfera e para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo do Clima de Paris, precisam ser implementadas técnicas, práticas e tecnologias, adequadas às características regionais e que promovam o controle ou redução de emissões de GEE.</p>
<p>Projetar cenários de emissões nacionais de GEE das atividades agropecuárias baseados em fatores de emissão e modelos específicos da realidade brasileira (tier 2 e 3 IPCC)</p>	<p>O uso de cômputo de emissões default IPCC (tier 1) não reflete a realidade da agricultura brasileira e, em geral, resulta na superestimativa das emissões de GEE, sendo prejudicial ao país. Isto ocorre devido à ausência de fatores de emissão, de dados de atividades e de modelos de balanço de C adequados à realidade brasileira (tier 2 e tier 3).</p>

No que diz respeito ao alinhamento estratégico desse escopo de atuação, ele incorpora integralmente o enfoque expresso no documento “VII Plano Diretor da Embrapa: 2020-2030” (VII-PDE) (Embrapa, 2020b), podendo-se destacar as contribuições para os seus respectivos eixos de impacto, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.** Alinhamento estratégico dos Desafios para Inovação (DI) e ações do Portfólio de Mudanças Climáticas com as Especificações do Objetivo Estratégico “7. Desenvolver informação, conhecimento e tecnologia para o enfrentamento dos efeitos da mudança do clima na agropecuária” (OE7) do VII Plano Diretor da Embrapa.

Especificações do OE7 Tema Mudança do Clima do VII PDE	Alinhamento Estratégico
<p>Desenvolver e implementar avanços tecnológicos em ritmo e intensidades capazes de contrapor aos efeitos negativos da mudança do clima, garantindo o maior benefício e a segurança das atividades agrícolas frente às alterações climáticas e respeitando diferenças regionais.</p>	<p>A adaptação às mudanças climáticas e seus cobenefícios de mitigação, alicerçados nos princípios da UNFCCC de garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável, também exige inovação, com a concepção e uso de tecnologias alternativas, emergentes, revolucionárias e disruptivas, e que permitam estabelecer um novo modelo de desenvolvimento. Pesquisas que busquem essa adaptação e mitigação e que sejam pautadas pela sustentabilidade, ainda que usando tecnologias estabelecidas, obrigatoriamente promoverão a inovação e o avanço da fronteira do conhecimento.</p> <p>Desenvolvimento de métricas de sustentabilidade que considerem a complexidade da agricultura tropical e que sejam baseadas em critérios reconhecidos e negociados pela comunidade internacional, podem auxiliar na construção de novas tecnologias para uma agricultura mais sustentável, gerando soluções que permitam ampliar a competitividade do setor, considerando as múltiplas dimensões da sustentabilidade (técnico-econômica, social e ambiental), consolidando sistemas de produção mais limpos, com balanço positivo de carbono, que integrem as cadeias e promovam a inclusão produtiva. Melhoria na conservação e aproveitamento dos recursos naturais em função dos sistemas de produção mais bem manejados; produtos agropecuários de melhor qualidade; uso Racional de Insumos; novos produtos e insumos para a produção sustentável; certificações; políticas públicas; melhoria da imagem da cadeia do agronegócio.</p>



Viabilizar soluções tecnológicas que contribuam para a implementação de políticas públicas, bem como disponibilizar informações e conhecimentos para subsidiar decisões e objetivos estratégicos de governo, tais como mecanismos (informações, modelos, sistemas) de prevenção e mitigação de riscos e eventos associados às mudanças climáticas.

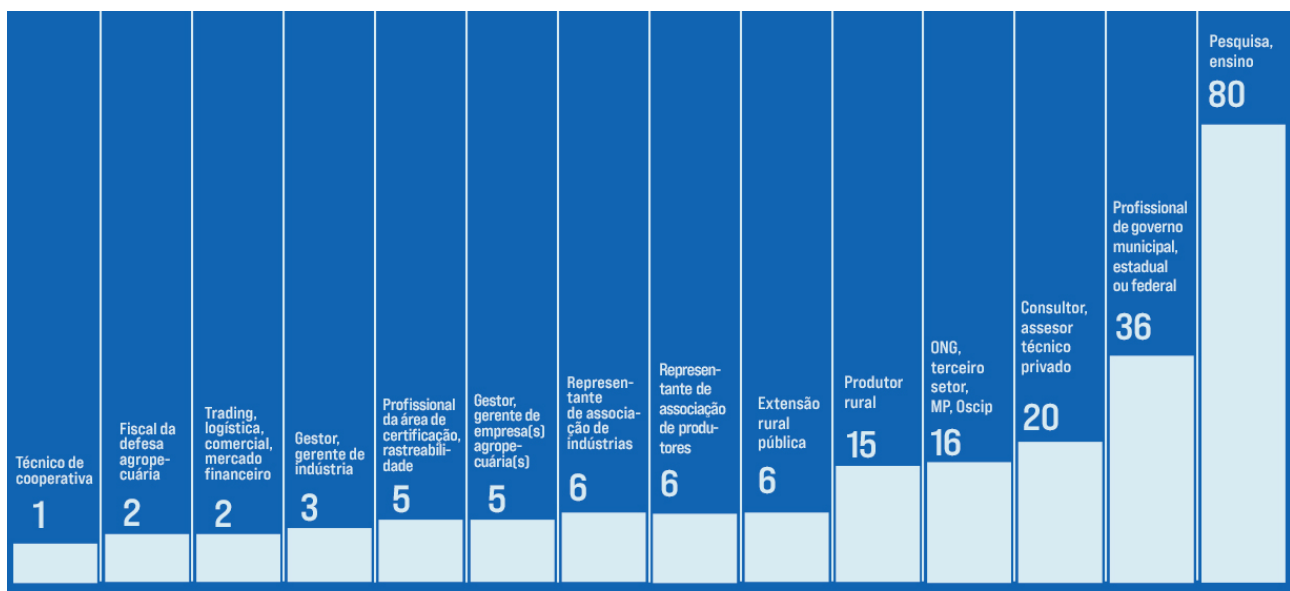
Plataforma de Monitoramento do Plano ABC e Grupos Gestores dos Planos ABC estaduais e nacionais, Plano ABC, Plano Nacional de Adaptação, NAMAs, NDCs, Comunicações Nacionais à UNFCCC e Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, assessoria técnica nas COPs, representações internacionais, Zoneamento Agrícola de Risco Climático etc. foram e continuarão sendo importantes contribuições no tema, pois são ações de longo prazo que ainda demandam soluções, transferência e implementação. Novas contribuições, como o método e a ferramenta para contabilidade de carbono de biocombustíveis (RenovaCalc) para a nova Política Nacional de Biocombustíveis (Renovabio, MME), e outras em diversas escalas, são amplamente demandas no tema. Alternativas para a adaptação às mudanças climáticas e seus cobenefícios de mitigação colaboram para essa estratégia, podendo ser focadas, p.e., no desenvolvimento de inoculantes, fertilizantes, cultivares e sistemas de manejo mais eficientes, novos produtos e formas de geração da agroenergia. Certificações de Carne Carbono Neutro e Leite Carbono Neutro, de Carne Baixo Carbono, de biocombustíveis (integrante do Programa RenovaBio, MME) podem promover uma produção mais limpa, baseada no aumento da eficiência de processos e na redução de impactos ambientais. Também podem contribuir para o aumento da participação de combustíveis renováveis e com menor pegada de carbono na matriz energética brasileira.

## Priorização dos desafios de inovação por consulta a *stakeholders*

Conforme processo de quatro fases, relatado no item anterior, os desafios de inovação propostos para Portfólio de Mudanças Climáticas foram apresentados aos principais atores brasileiros, parceiros da Embrapa, vinculados ao tema das mudanças climáticas e da relação deste com a agricultura, para que pudessem criticá-los, validá-los e, sobretudo, priorizá-los conforme seu entendimento e senso de urgência, seguindo metodologia proposta. Essa consulta foi realizada entre dezembro de 2019 e fevereiro de 2020 e seus resultados são apresentados a seguir.

### Integrando respostas do setor produtivo

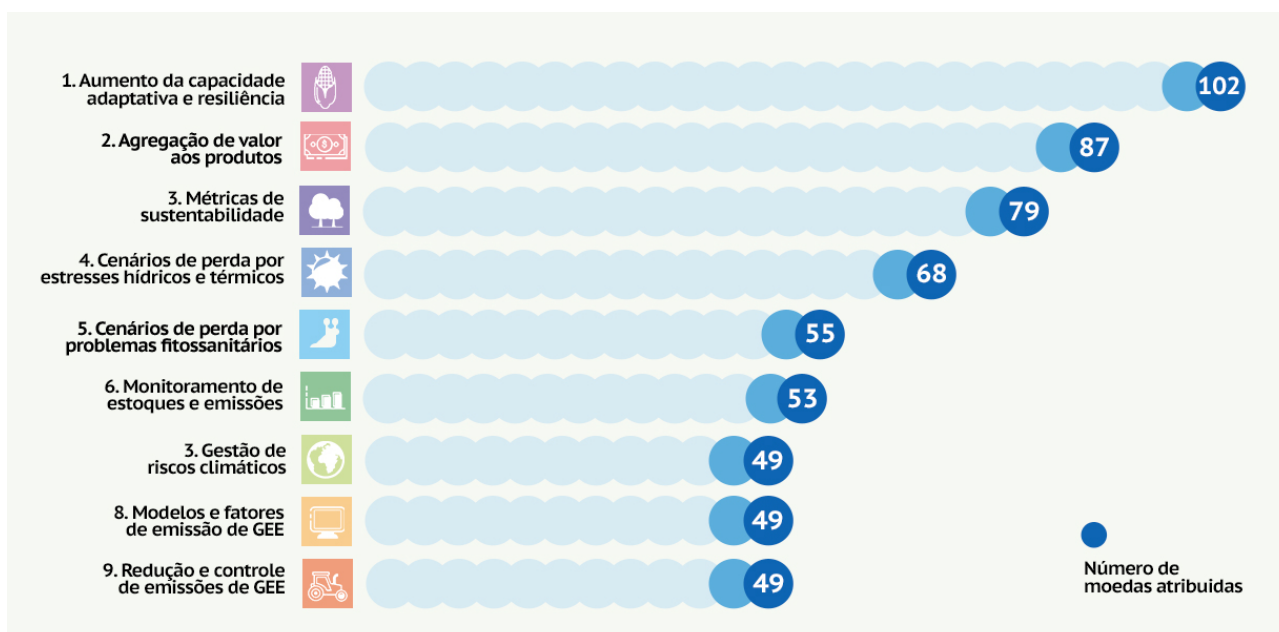
O questionário sobre as prioridades do portfólio de Mudanças Climáticas retornou 189 respostas. A área de atuação das pessoas que responderam o questionário foi bastante diversa e englobou desde produtores rurais independentes até representantes da indústria e organização civil (Figura 3). Embora “pesquisa e/ou ensino” não tenha sido o foco do presente levantamento e análise, essa foi a categoria de perfil de profissionais predominante, com 80 participações, como se observa na Figura 3.



**Figura 3.** Perfil profissional dos stakeholders que responderam ao questionário de prioridades de pesquisa da área do Portfólio de Mudanças Climáticas.

A seleção dos *stakeholders* do setor produtivo foi realizada a partir da reclassificação dos respondentes ao questionário. Foram excluídos todos aqueles profissionais que pertenciam exclusivamente ao ambiente de pesquisa e acadêmico, bem como a instituições governamentais e outros. Com uma abordagem um pouco mais abrangente, focou-se naqueles respondentes que estejam vivenciando o dia a dia das cadeias produtivas agropecuárias e agroindustriais como produtores, membros de cooperativas e associações de produtores, extensionistas rurais, entre outros. Essa reclassificação gerou um total de 69 respondentes, ou seja, 36% das respostas.

Na metodologia de priorização cada *stakeholder* recebeu 10 moedas e poderia alocar conforme sua demanda prioritária de pesquisa. Avaliando a distribuição do total de moedas por Desafio de Inovação (DI), obteve-se a seguinte distribuição apresentada na Figura 4.

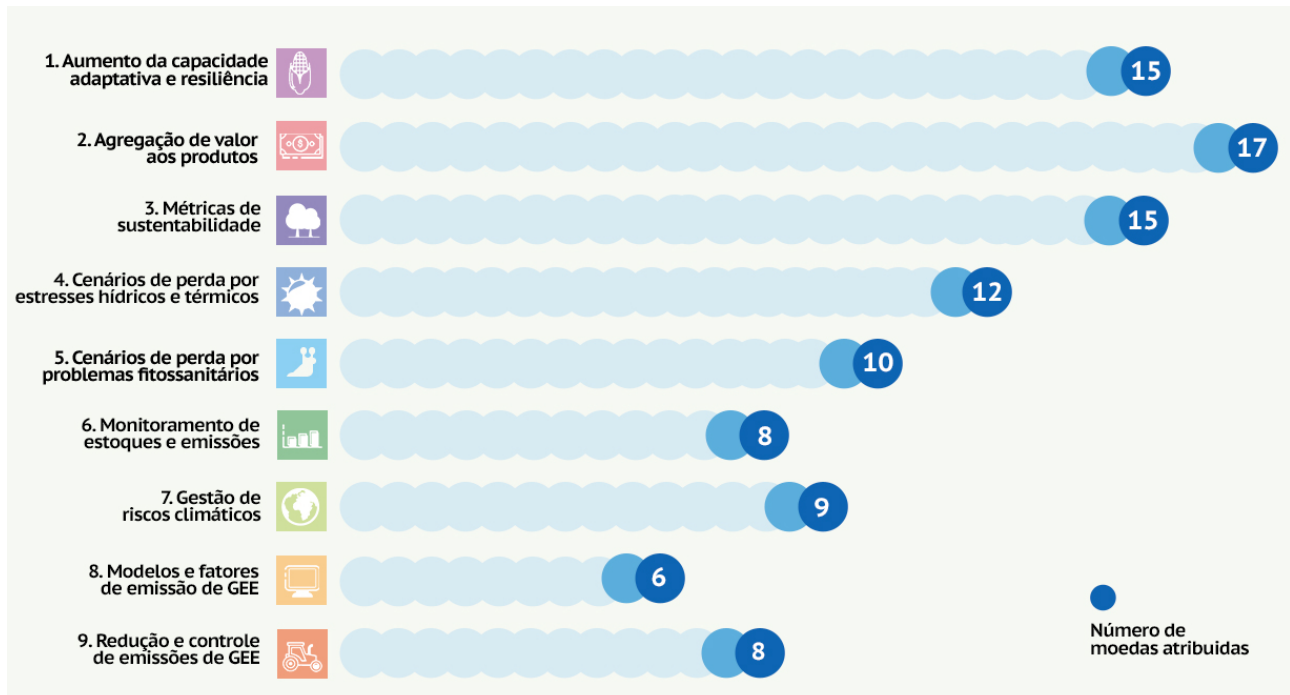


**Figura 4.** Total de moedas atribuídas pelos 69 respondentes à cada Desafio de Inovação do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa. Sendo: DI 1 - Aumentar a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas; DI 2 – Agregar valor aos produtos gerados em sistemas integrados (SAF, ILP e ILPF) e outros sistemas que promovam a capacidade adaptativa das cadeias mais vulneráveis e o controle das emissões de GEE nas cadeias de grãos, pecuária bovina e agroenergia; DI 3 - Estruturar plataforma digital para caracterização do nível de sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais e dos efeitos nela produzidos por indicações de ajustes no manejo desses sistemas de produção; DI 4 - Projetar cenários de perda de produtividade dos principais sistemas de produção agropecuários decorrentes de estresses hídrico e térmico intensificados pelas mudanças climáticas; DI 5 - Projetar cenários de perda de produtividade dos principais sistemas de produção agropecuários devido à dinâmica alterada de pragas, doenças e plantas daninhas com as mudanças climáticas; DI 6 - Estruturar plataforma digital e integrada para monitoramento em larga escala dos estoques de C e N e emissões de GEE (na lógica MRV-Monitoramento, Relato e Verificação), representando adequadamente a realidade dos sistemas de produção brasileiros; DI 7 - Estruturar plataforma digital e integrada de inteligência para a gestão do risco climático na agricultura brasileira (CICLAG); DI 8 - Projetar cenários de emissões nacionais de GEE das atividades agropecuárias baseados em fatores de emissão e modelos específicos da realidade brasileira (tier 2 e 3 IPCC); DI 9 - Reduzir ou controlar as emissões de GEE oriundas da bovinocultura de corte extensiva e do uso de fertilizantes nitrogenados e combustíveis fósseis nos sistemas agropecuários brasileiros.

Numa segunda análise com foco mais restritivo no setor produtivo, que incluiu produtores rurais, técnicos, consultores e assessores privados, representantes da logística, do mercado financeiro, gestores, profissionais da certificação, e representantes de associações, delimitou o conjunto amostral a 47 respondentes. Apesar de haver nesse grupo representantes de todos os biomas nacionais, houve predomínio de representantes que atuavam na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica.

Contabilizando o total de 470 moedas recebidas por esses respondentes do setor produtivo, ou seja, 10 para cada um, eles distribuíram 423 moedas de acordo com as prioridades que desejaram

dar a cada DI. As outras 77 não foram alocadas ou foram indicados outros desafios de inovação relacionados a serviços ambientais. Nessa condição, os mesmos três desafios de inovação priorizados na análise anterior receberam maior prioridade de pesquisa (Figura 5).



**Figura 5.** Desafios prioritários elencados pelos stakeholders do setor produtivo consultados pelo Portfólio de Mudanças Climáticas.

Apesar do subconjunto mais restrito que na análise anterior, os mesmos três desafios de inovação que receberam maior prioridade de pesquisa neste ambiente totalizaram 47% das moedas distribuídas, na seguinte ordem:

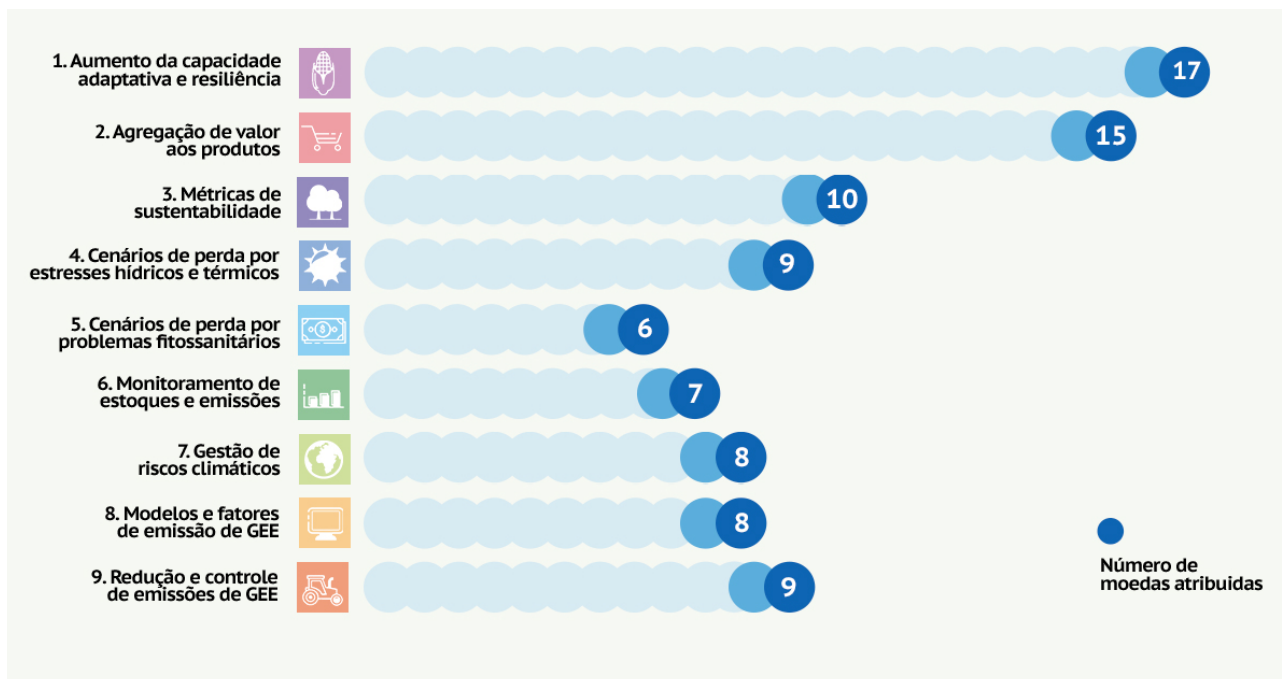
1 - Agregar valor aos produtos gerados em sistemas integrados (SAF, ILP e ILPF) e outros sistemas que promovam a capacidade adaptativa das cadeias mais vulneráveis e o controle das emissões de GEE nas cadeias de grãos, pecuária bovina e agroenergia (17% as moedas distribuídas).

2 - Aumentar a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas (15% das moedas distribuídas).

3 - Estruturar plataforma digital para caracterização do nível de sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais e dos efeitos nela produzidos por indicações de ajustes no manejo desses sistemas de produção (15% das moedas distribuídas).

Do ponto de vista técnico, esses desafios representam prioridades de adaptação (2), mas também de mitigação e adaptação conjuntamente (1 e 3).

Embora não fizessem parte do levantamento em análise, mas como uma observação interessante, a indicação desses desafios prioritários pelo setor produtivo também foi percebida pelo público técnico-científico (Figura 6), que elencou os mesmos três desafios como prioritários. Essa coincidência também qualificou a orientação dos desafios de inovação pelo CGPort, uma vez que representavam a perspectiva da sociedade civil ligada ao tema diretamente.



**Figura 6.** Desafios prioritários elencados pelos stakeholders representantes da pesquisa; extensão rural; profissionais do governo federal, estadual e municipal e ONGs, consultados no Portfólio de Mudanças Climáticas.

## Segregando por cada Característica Amostrada

Ao explorar um pouco mais todo o conjunto de dados, buscando entender se as priorizações seriam diferentes entre subgrupos com características diferentes, foi realizada uma análise segregada em subgrupos referentes a cada uma das características amostradas. A Tabela 3 abaixo procura apresentar de forma integrada a posição de cada Desafio de Inovação (DI) no ranqueamento de acordo com cada recorte ou segregação. Por exemplo, no Bioma Amazônia, foram 16 respondentes e, para eles, o DI\_01 e o DI\_5 empataram em primeiro no ranque, seguidos pelo DI\_02 em terceiro, e pelos DI\_03 e DI\_07, que empataram em quarto lugar, e assim por diante. Uma síntese da frequência com que cada um dos DIs ficou entre os três primeiros do ranque (Top3), quando se consideraram os diferentes biomas, regiões, estados, cadeia de produção, foi apresentada em porcentagem (%). Foram assinalados em vermelho os valores dos subgrupos com menos de dez respondentes (**n**).

Embora esta análise apresente um grupo expressivo de dados e informações que podem ajudar na tomada de decisões em situações específicas, de acordo com as características dos subgrupos, não se pretende aqui explorá-las integralmente, mas sim registrá-las para que se possa fazê-lo de acordo com as demandas que surgirem, explorando-se gráficos e outras estatísticas disponíveis para cada um dos subgrupos.

Uma característica geral que se pode observar comparando-se o ranqueamento por subgrupos é que há discrepâncias nas ordens de prioridades entre os componentes dos subgrupos. Isso sugere que, ao se tratar de maneira específica ou individualmente esses diferentes componentes, a ordem de prioridade dos DIs deve ser considerada. Porém, o baixo número de respondentes pode prejudicar essa conclusão e talvez seja necessária uma amostragem complementar para equilibrar melhor as representatividades dos biomas. O subgrupo de regiões provavelmente por ser mais agregador e não apresentar amostras com números de respondentes abaixo de 10, apresenta uma maior homogeneidade das priorizações entre seus componentes.

**Tabela 3.** Posição de cada Desafio de Inovação (DI)\* no ranqueamento de acordo com cada recorte ou segregação. Uma síntese da frequência com que cada um dos DIs ficou entre os três primeiros do ranqueamento (Top3) quando se consideraram os diferentes biomas, regiões, estados, cadeia de produção foi apresentada em porcentagem (%). Foram assinalados em vermelho os valores dos subgrupos com menos de dez respondentes (n).

Tabela 3		Posição de cada DI no ranqueamento de cada tipo de segregação									
Recorte/segregação	N	DI_01	DI_02	DI_03	DI_04	DI_05	DI_06	DI_07	DI_08	DI_09	
Amazônia Bioma	16	1	3	4	8	1	7	4	6	8	
Caatinga Bioma	2	4	7	4	1	1	7	4	1	7	
Cerrado Bioma	19	4	2	6	4	6	3	1	6	9	
Mata Atlântica Bioma	38	2	1	9	8	3	7	4	5	6	
Pantanal Bioma	6	2	4	7	4	2	9	1	4	8	
Pampa Bioma	5	5	5	2	2	1	9	2	5	5	
<b>Frequência Top3</b>	<b>%</b>	<b>50,0%</b>	<b>50,0%</b>	<b>16,7%</b>	<b>33,3%</b>	<b>83,3%</b>	<b>16,7%</b>	<b>50,0%</b>	<b>16,7%</b>	<b>0,0%</b>	
Região N	14	1	3	7	8	2	6	4	5	8	
Região NE	12	2	1	5	5	2	5	4	5	9	
Região CO	26	1	4	7	6	2	7	3	5	9	
Região SE	43	2	1	7	9	3	6	4	5	8	
Região S	23	4	1	7	5	3	5	1	8	9	
<b>Frequência Top3</b>	<b>%</b>	<b>80,0%</b>	<b>80,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>40,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	
AC UF(s)	8	2	5	6	8	2	6	1	2	9	
AL UF(s)	4	6	6	2	5	2	6	1	2	9	
AP UF(s)	6	1	4	6	8	2	7	2	5	9	
AM UF(s)	12	1	2	8	7	3	6	4	4	8	
BA UF(s)	10	3	1	5	5	4	5	2	5	9	
CE UF(s)	4	7	3	2	7	3	3	1	3	9	
DF UF(s)	10	2	2	5	6	7	4	1	7	9	
ES UF(s)	6	4	1	4	6	6	2	3	6	9	
GO UF(s)	16	3	8	4	6	2	7	1	4	8	
MA UF(s)	8	3	1	5	7	1	5	3	7	9	
MT UF(s)	14	1	4	7	4	3	2	6	8	9	
MS UF(s)	17	1	1	8	3	6	5	3	7	9	
MG UF(s)	19	1	3	6	8	2	4	5	6	9	
PA UF(s)	11	1	2	7	7	5	6	3	4	9	
PB UF(s)	5	1	1	4	8	4	4	1	4	9	
PR UF(s)	15	4	7	6	5	2	2	1	7	9	
PE UF(s)	6	1	2	6	2	6	2	5	6	9	
PI UF(s)	5	5	1	3	7	6	3	1	7	7	
RJ UF(s)	23	3	1	8	9	6	5	2	4	6	
RN UF(s)	4	3	1	5	8	6	3	1	6	9	
RS UF(s)	9	2	2	5	6	6	1	2	8	9	
RO UF(s)	10	1	5	8	6	2	6	3	3	9	
RR UF(s)	5	3	3	3	8	1	3	1	3	9	
SC UF(s)	13	8	1	4	6	3	6	2	5	9	
SP UF(s)	20	7	1	6	8	4	3	2	4	9	
SE UF(s)	3	7	3	2	7	3	3	1	3	9	
TO UF(s)	7	5	3	3	5	1	8	2	5	9	



Frequência Top3	%	66,7%	74,1%	22,2%	7,4%	55,6%	40,7%	85,2%	22,2%	0,0%
<b>Fibras</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
<b>Apicultura</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Florestas cultivadas</b>	<b>14</b>	5	1	9	4	2	5	3	8	5
<b>Florestas nativas</b>	<b>14</b>	1	3	9	5	3	8	5	2	7
<b>Frutas</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>Hortaliças</b>	<b>13</b>	2	1	4	5	3	9	6	7	7
<b>Pecuária</b>	<b>13</b>	1	2	6	2	2	9	5	8	6
<b>Grãos</b>	<b>13</b>	1	3	5	3	2	6	6	9	8
<b>Frequência Top3</b>	<b>%</b>	<b>75,0%</b>	<b>87,5%</b>	<b>0,0%</b>	<b>62,5%</b>	<b>87,5%</b>	<b>12,5%</b>	<b>12,5%</b>	<b>37,5%</b>	<b>12,5%</b>

\* Sendo: DI\_01 - Agregar valor aos produtos gerados em sistemas integrados (SAF, ILP e ILPF) e outros sistemas que promovam a capacidade adaptativa das cadeias mais vulneráveis e o controle das emissões de GEE nas cadeias de grãos, pecuária bovina e agroenergia; DI\_02 - Aumentar a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas; DI\_03 - Estruturar plataforma digital e integrada de inteligência para a gestão do risco climático na agricultura brasileira (CICLAG); DI\_04 - Estruturar plataforma digital e integrada para monitoramento em larga escala dos estoques de C e N e emissões de GEE (na lógica MRV-Monitoramento, Relato e Verificação), representando adequadamente a realidade dos sistemas de produção brasileiros; DI\_05 - Estruturar plataforma digital para caracterização do nível de sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais e dos efeitos nela produzidos por indicações de ajustes no manejo desses sistemas de produção; DI\_06 - Projetar cenários de emissões nacionais de GEE das atividades agropecuárias baseados em fatores de emissão e modelos específicos da realidade brasileira (tier 2 e 3 IPCC); DI\_07 - Projetar cenários de perda de produtividade dos principais sistemas de produção agropecuários decorrentes de estresses hídrico e térmico intensificados pelas mudanças climáticas; DI\_08 - Projetar cenários de perda de produtividade dos principais sistemas de produção agropecuários devido à dinâmica alterada de pragas, doenças e plantas daninhas com as mudanças climáticas; DI\_09 - Reduzir ou controlar as emissões de GEE oriundas da bovinocultura de corte extensiva e do uso de fertilizantes nitrogenados e combustíveis fósseis nos sistemas agropecuários brasileiros.

Focando-se nas linhas com as frequências em que os DI aparecem entre os três mais priorizados entre os subgrupos (Top3), em 50% dos componentes ou mais, para a segregação por biomas, os DIs que obtiveram maiores porcentagens foram 05, 01, 02 e 07, sendo o primeiro com 83,3% e os demais com 50%. Para a segregação por regiões, foram também os DIs, com 100%, 80%, 80% e 40%, respectivamente. Para a segregação por estado, os mesmos DIs 05, 01, 02 e 07 foram os priorizados, porém em ordem diferente quando se consideram as porcentagens de 55,6%, 66,7%, 74,1% e 85,2, respectivamente. Por fim, para a segregação por cadeia de produção, o DI\_07 teve menor prioridade e o DI\_04 figurou entre os com maior porcentagem, ficando então os DIs 05, 02, 01 e 04, respectivamente, com 87,5%, 87,5%, 75,0% e 62,5%. De qualquer forma, embora se percebam algumas alternâncias entre os subgrupos/recortes/segregações, as priorizações são bastante consistentes no que se refere à tendência geral expressa na Tabela 3, sendo que basicamente os mesmos DIs aparecem com maiores frequências entre os três primeiros (Top3), sejam por biomas, regiões, estados ou cadeias produtivas.

É preciso observar que nesta análise exploratória foram incluídos os subgrupos com número de respondentes (n) menor que dez (10), o que pode levar a desvios de interpretação pela sua baixa significância estatística. Desde que tenha sentido no que se refere à abrangência espacial ou das cadeias de produção, a integração desses subgrupos menores ou uma amostragem complementar para melhorar o equilíbrio na representatividade das respostas poderá corrigir esse problema em futuras análises.

## Segregando por Temática: Adaptação, Mista e Mitigação

Apesar da priorização consistente apresentada pelas análises anteriores, é necessário ressaltar que os compromissos internacionais assumidos não podem simplesmente deixar de ser cumpridos e seu foco em mitigação é bastante claro para os diversos setores. Para a agricultura, no entanto, as discussões e decisões da conferência das partes, sobretudo no caminho ou roadmap definido pelo trabalho conjunto em agricultura de Koronívia (KJWA, do inglês Koronivia Joint Work on Agriculture), têm focado em ações de adaptação com cobenefícios, sejam eles de mitigação ou

não. É o que acontece, por exemplo, com as ações do Plano ABC, que trazem eficiência, renda, resiliência e sustentabilidade, ou seja, adaptação, ao mesmo tempo em que são ações mitigadoras. Isso também é bastante evidente em dois dos desafios priorizados pelas análises anteriores. Por essa razão, o Portfólio de Mudanças Climáticas optou por testar também uma análise de priorização segregando não pelas características dos respondentes, mas pelos desafios de inovação em três temáticas, quais sejam: Adaptação, Mista e Mitigação das emissões de GEEs. De acordo com essa segregação por temática, foi possível observar a seguinte priorização:

#### Grupo 1 – Adaptação

- 1) Aumentar a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas.
- 2) Projetar cenários de perda de produtividade dos principais sistemas de produção agropecuários decorrentes de estresses hídrico e térmico intensificados pelas mudanças climáticas.
- 3) Projetar cenários de perda de produtividade dos principais sistemas de produção agropecuários devido à dinâmica alterada de pragas, doenças e plantas daninhas com as mudanças climáticas.
- 4) Estruturar plataforma digital e integrada de inteligência para a gestão do risco climático na agricultura brasileira (CICLAg).

#### Grupo 2 – Mista (que contemplam ações de adaptação e mitigação)

- 1) Agregar valor aos produtos gerados em sistemas integrados (SAF, ILP e ILPF) e outros sistemas que promovam a capacidade adaptativa das cadeias mais vulneráveis e o controle das emissões de GEE nas cadeias de grãos, pecuária bovina e agroenergia.
- 2) Estruturar plataforma digital para caracterização do nível de sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais e dos efeitos nela produzidos por indicações de ajustes no manejo desses sistemas de produção.

#### Grupo 3 – Mitigação

- 1) Estruturar plataforma digital e integrada para monitoramento em larga escala dos estoques de C e N e emissões de GEE (na lógica MRV-Monitoramento, Relato e Verificação), representando adequadamente a realidade dos sistemas de produção brasileiros.
- 2) Projetar cenários de emissões nacionais de GEE das atividades agropecuárias baseados em fatores de emissão e modelos específicos da realidade brasileira (tier 2 e 3 IPCC).
- 3) Reduzir ou controlar as emissões de GEE oriundas da bovinocultura de corte extensiva e do uso de fertilizantes nitrogenados e combustíveis fósseis nos sistemas agropecuários brasileiros.

### **Considerações sobre a priorização resultante da consulta aos *stakeholders***

O resultado aponta para uma necessidade colocada pelos respondentes de intensificação dos trabalhos relacionados à adaptação dos sistemas de produção às mudanças climáticas. Sobretudo, aponta para a urgência de se aumentar a capacidade de resiliência dos sistemas de produção agrícola de maior importância econômica e daqueles responsáveis pela manutenção da segurança alimentar da população brasileira.

O conjunto de respostas também mostra claramente que existe uma necessidade premente de agregar valor aos produtos agropecuários oriundos de sistemas conservacionistas, seja por pagamento por serviços ambientais, rotulagem, crédito de carbono, redução de prêmios de seguro, juros reduzidos etc., principalmente aqueles integrados como Sistemas Agroflorestais (SAFs), Integração Lavoura Pecuária (ILP) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), por exemplo. A adoção desses sistemas tem crescido na esteira da necessidade de se reduzir as emissões de GEE dos sistemas de produção agropecuária sem, contudo, perder de vista sua capacidade de promover a adaptação às novas condições climáticas, diversificando a produção, aumentando a renda, reduzindo o potencial de erosão, melhorando a infiltração de água no solo, reduzindo a necessidade de água para irrigação, melhorando o microclima de cultivo e a fertilidade do solo, entre outros benefícios. Essas respostas indicam que os agentes atuantes nas cadeias produtivas têm consciência de que a adoção dos sistemas integrados tem potencial para contribuir com a melhoria da sustentabilidade da agropecuária brasileira. Porém, existe ainda uma lacuna no que diz respeito à valorização dos produtos oriundos de sistemas produtivos mais sustentáveis.

O terceiro desafio com maior menção pelos respondentes reforça a necessidade de se estruturar plataformas baseadas em métodos e métricas capazes de expressar quão sustentáveis são os sistemas de produção e qual a melhoria promovida por ações de adaptação e mitigação que visam aumentar sua resiliência e sustentabilidade ou reduzir sua vulnerabilidade. A necessidade de sistematização e publicidade desses dados e informações é premente diante dos muitos questionamentos internacionais quanto à sustentabilidade e/ou nível de emissão dos sistemas agrícolas brasileiros. Muitos desses questionamentos podem ser consistentes, mas muitos são frutos de um mal-entendimento do funcionamento dos sistemas agrícolas nacionais. Caso esses dados não estejam organizados e disponíveis, existe um grande risco de perda de mercado por parte dos produtos nacionais, sobretudo para países europeus que, culturalmente, têm a sustentabilidade como um dos mais importantes diferenciais comerciais.

O primeiro desafio de inovação exclusivamente voltado para a quantificação e registro das emissões atmosféricas de GEEs, bem como da determinação de fatores de emissão, aparece apenas na sexta posição. Ao analisar esses dados, surgem importantes questionamentos: será que os trabalhos relacionados à quantificação de emissões de GEE deixaram de ser importantes? Ou este problema já foi equacionado, estando todos os dados necessários já disponíveis? A resposta pode ter a ver com a natureza dos trabalhos relacionados ao portfólio de mudanças climáticas. O tema mudanças climáticas é originalmente transversal, não apresentando relação tão direta com a obtenção apenas de produtos tangíveis mais diretamente perceptíveis pelos produtores. Embora estes percebam bem as ameaças que as mudanças climáticas já começam a oferecer e a necessidade de ajustes ou adaptação do sistema de produção.

Dessa forma, é natural que alguns dos temas abordados pelo portfólio não sejam de lembrança imediata pelos atores das cadeias produtivas, por exemplo, o fato de a determinação de fatores de emissão de GEE estarem mais ligadas às exigências e acordos comerciais e não comerciais internacionais. Vinculado a isso, a redução das emissões ligadas às atividades de mudança de uso da terra e das atividades agropecuárias assumidos pelo Brasil, por si só, não seriam facilmente lembrados pelos atores das cadeias produtivas. No âmbito da balança comercial, o foco para redução das emissões atmosféricas de GEEs está ligado à exportação e, em consequência, principalmente ao agronegócio. Uma parcela expressiva dos respondentes foge desse perfil, sendo natural, portanto, que trabalhos relacionados à redução das emissões de GEEs não sejam vistos como prioridade.



Como já apontado anteriormente, é importante ressaltar que, embora não fizessem parte a população alvo desta análise, focada em *stakeholders* externos à Embrapa e do setor produtivo, a indicação dos desafios priorizados pelo público técnico-científico (Figura 6) elencou os mesmos três desafios como prioritários.

Nesse sentido, o CGPortMudClim considera importante ressaltar que, mesmo que a priorização, com a qual concorda, seja a apresentada neste documento, de forma alguma pode-se interromper ou deixar de realizar pesquisas focadas em controle de emissões de GEE e balanço de carbono dos sistemas agrícolas. É necessário, porém, ampliar as ações em adaptação, relativamente defasada, dado o desenvolvimento histórico do tema desde as primeiras COPs.

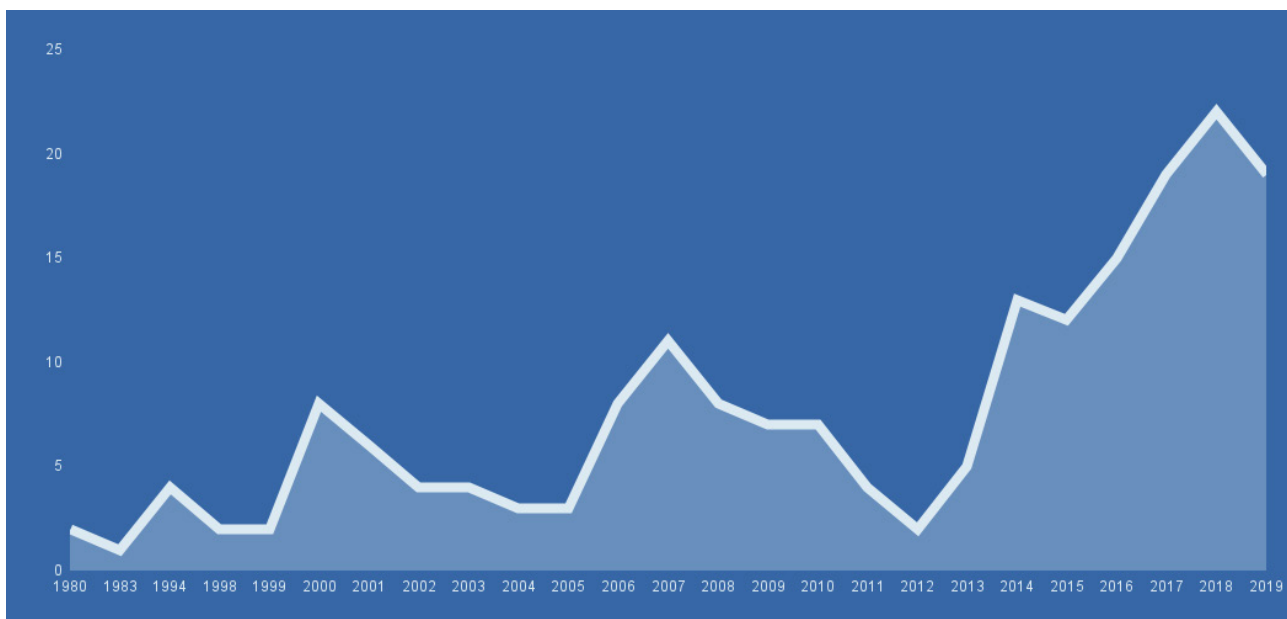
## Ativos de Inovação do Portfólio Mudanças Climáticas: O que estamos produzindo?

Após toda essa contextualização, não se poderia deixar de perguntar sobre o que já se produziu no tema e sobre que resultados já estão previstos nos projetos em execução. Essa análise parece essencial para o planejamento futuro e concentração de esforços para se analisar e procurar sanar as principais lacunas ainda existentes para a cumprimento dos desafios para inovação propostos. Para isso, foram usados dois sistemas da Embrapa que concentram essas informações e geram relatórios e gráficos para o suporte à gestão dos Portfólios e outras instâncias da Embrapa. São eles, o Gestec, sistema gestor de ativos tecnológicos, e o Ideare, sistema que auxilia na gestão de pesquisa da empresa.

### Ativos qualificados e cadastrados no Gestec

A Embrapa possui 4.190 ativos cadastrados no seu software de gestão de ativos Gestec. Desse universo é possível identificar 257 ativos vinculados ao tema mudança do clima, seja por vínculo aplicado no momento do cadastro ou por palavras-chave do título e/ou da descrição. Também nesse grupo de resultados estão as soluções tecnológicas constantes no Portal da Embrapa na internet. Os ativos cadastrados no Gestec, provenientes de projetos convertidos, são vinculados ao tema mudanças climáticas manualmente, pelo agente de transferência de tecnologia da Unidade responsável pelo ativo. Assim, muitos resultados são associados a mais de um tema e, conseqüentemente, podem ser relacionados a diferentes portfólios de pesquisa.

Analisados na perspectiva temporal (Figura 7), pelo ano de lançamento, os dados do Gestec indicam uma alta na entrega de ativos desde a década de 80, chegando ao número máximo em 2018. Percebem-se pelo menos três ondas de incremento de ativos, gradativamente mais intensas. Embora seja necessária ainda uma análise pormenorizada, pode-se associar a primeira onda, aproximadamente entre 1999 e 2003, aos resultados vinculados ao projeto Agritempo e às primeiras fases do ZARC. Já a segunda, aproximadamente de 2005 a 2011, pode-se associar a resultados dos projetos de pesquisa do MacroPrograma1 (MP1) do então Sistema Embrapa de Gestão (SEG) vinculados ao ZARC, ZARC para culturas consorciadas e ZARC cana. Na última onda, observa-se o crescente, e de forma ainda mais intensa, número de ativos entregues a partir de 2012, resultado do estímulo aos seis projetos MP1 (SCAF, ClimaPeste, AgroHidro, Pecus, Saltus e Fluxus), desenvolvidos a partir de 2009, e de suas posteriores derivações, como o resultado de processo de indução ativa dos precursores do Portfólio de Mudanças Climáticas.

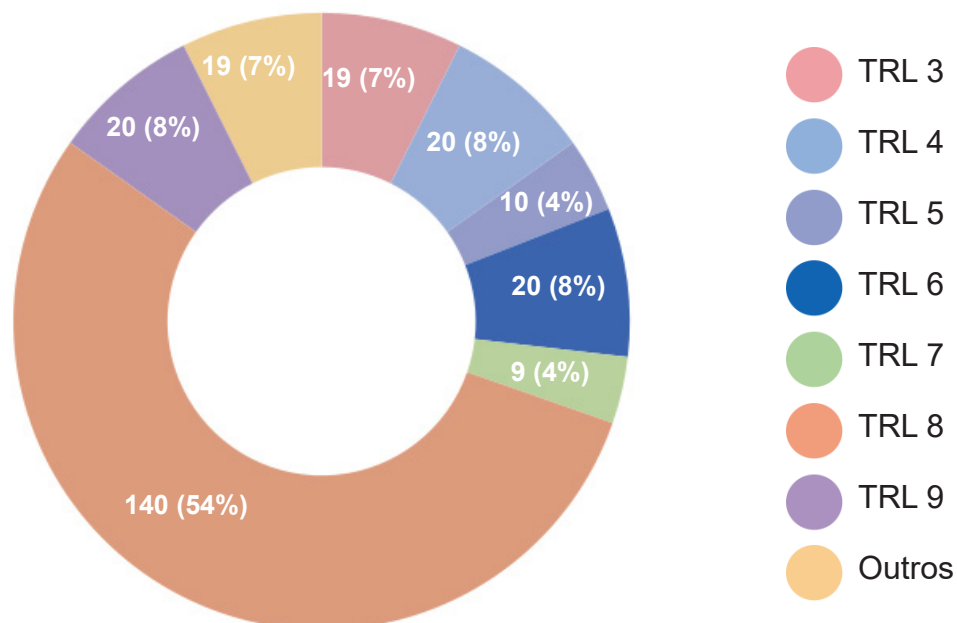


**Figura 7.** Ativos por ano de lançamento.

Fonte: Adaptado de Embrapa (2020a).

Em 2018 a Embrapa adotou uma régua de maturidade para diferenciar o nível de desenvolvimento dos ativos tecnológicos. A escala escolhida foi a Technology Readiness Level/Manufacturing Readiness Level (TRL/MRL), que permite o acompanhamento do ativo ao longo do processo de pesquisa, desenvolvimento e validação, além de permitir a comparação da maturidade de diferentes ativos.

Pela ótica da escala de maturidade (Figura 8), de um total de 250 ativos, apenas 8% alcançaram TRL 9, ou seja, foram adotados pelo setor produtivo, ao passo que mais da metade estão em TRL 8, totalmente desenvolvidos a espera de licenciamento/transferência. Vale ressaltar também que na alimentação do sistema GESTEC, tende-se a destacar e incluir apenas potenciais ativos nesses níveis mais avançados da escala, sendo preterida a inclusão de ativos com bom potencial de mercado em níveis mais baixos. Percebe-se, com isso, que são necessários esforços de transferência de tecnologias (TT) para que esses ativos, mesmo os em estágios mais precoces da escala, cheguem ao setor produtivo, seja por licenciamento, disponibilização gratuita ou outras estratégias de TT. Ainda, para estes ativos em níveis intermediários de desenvolvimento, cabe a busca por parceiros para projetos do Tipo III, ou ainda, o desenvolvimento exclusivo do ativo pela Embrapa, caso apresente potencial de impacto.



**Figura 8.** Ativos por Nível de Maturidade (TRL).

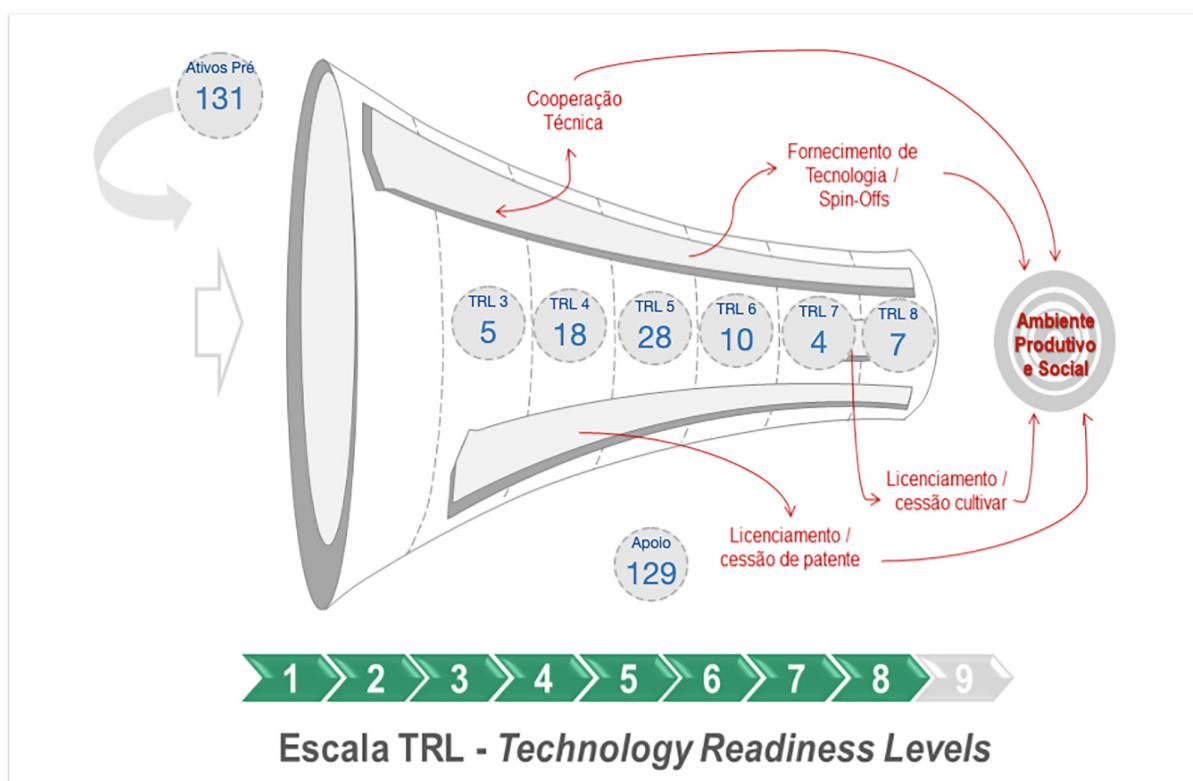
Fonte: Adaptado de Embrapa (2020a).

## Resultados Previstos no IDEARE

O Portfólio de Mudanças Climáticas caracteriza-se pela transversalidade, com projetos em diferentes cadeias produtivas, como as de grãos, das pecuárias e florestais, cuja programação de pesquisa está vinculada em outros portfólios. Assim, os ativos aderentes ao tema também são entregues em outros portfólios, por exemplo uma prática agropecuária que sequestra carbono pode constar no portfólio da cultura a ela relacionada, em razão do enfoque dado a ela no momento do alinhamento ao desafio de inovação.

Diferentemente dos resultados registrados no Gestec, os resultados previstos no Ideare (Figura 9) para o Portfólio de Mudanças Climáticas são, em sua grande maioria, ativos pré-tecnológicos e de apoio a inovação, enquanto os ativos tecnológicos correspondem apenas a 20% do total. Grande parcela dos ativos tecnológicos, quando analisados pelo nível de maturidade, encontra-se em níveis correspondentes ao desenvolvimento (TRL 3 e 4) e ao escalonamento (TRL 5 e 6), com apenas um ativo no nível correspondente à validação tecnológica (TRL 7 e 8). Além de os sistemas conterem dados e informações de fases diferentes fases do Macroprocesso de Inovação da Embrapa, esse quadro evidencia a oportunidade de aproximação do setor produtivo, visando o estabelecimento de parcerias para a introdução desses ativos no mercado. Nesse sentido, reforçando o já argumentado a respeito das informações derivadas pelo Gestec, os projetos do Tipo III podem ser uma boa alternativa para essa aproximação.

### Portfólio: Mudanças Climáticas (MudClim)



**Figura 9.** Funil de inovação do Portfólio Mudanças Climáticas.

Fonte: Embrapa (2021).

Tanto os resultados da análise dos stakeholders quanto a de ativos, estão servindo de base para as prioridades de ações da Embrapa no tema de mudanças climáticas, como ocorreu nas Chamadas de projetos de 2020. Seu aprimoramento e o alinhamento com o sétimo Plano Diretor da Embrapa (VII PDE) são foco de atenção do Comitê Gestor do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa em 2021, buscando o aprimoramento e efetividade de suas ações.

## Referências

- ADOPTION of the Paris agreement. In: CONFERENCE OF THE PARTIES, 21., 2015, Paris. [**Framework convention on climate change**]. Paris: United Nations, 2015. 32 p. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- ALEXANDER, P.; PAUSTIAN, K.; SMITH, P.; MORAN, D. The economics of soil C sequestration and agricultural emissions abatement. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 331-339, 2015. DOI: 10.5194/soil-1-331-2015.
- ALMEIDA, R. G. de; OLIVEIRA, P. P. A.; MACEDO, M. C. M.; PEZZOPANE, J. R. M. Recuperação de pastagens degradadas e impactos da pecuária na emissão de gases de efeito estufa. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING, 3., 2011, Bonito, MS. **Breeding forages for climate change adaptation and mitigation - eco-efficient animal production: proceedings**. [Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte], 2011. p 384-400.
- ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. (Ed.). **Carbon neutral Brazilian beef: a new concept for sustainable beef production in the tropics**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 28 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 243). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167390/1/Carbon-neutral-brazilian-beef.pdf>> Acesso em: 22 dez. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014. 21 p. Versão corrigida.
- BARRETT, C. B.; BENTON, T. G.; COOPER, K. A.; FANZO, J.; GANDHI, R.; HERRERO, M.; JAMES, S.; KAHN, M.; MASON-D'CROZ, D.; MATHYS, A.; NELSON, R. J.; SHEN, J.; THORNTON, P.; BAGEANT, E.; FAN, S.; MUDE, A. G.; SIBANDA, L. M.; WOOD, S. Bundling innovations to transform agri-food systems. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 12, p. 974-976, Dec. 2020. DOI: 10.1038/s41893-020-00661-8.
- BERNDT, A.; TOMKINS, N. W. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal**, v. 7, p. 363-372, 2013. Supplement 2. DOI: 10.1017/S1751731113000670.
- BRASIL. Portaria nº 149, de 10 de maio de 2016. Institui o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 maio 2016. Seção I, p. 131-132.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 173 p. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2021.
- BRASIL. Presidência da República. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/mre/pt-br/arquivos/documentos/clima/brasil-indc-portugues.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2021.
- BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO-MENDOZA, A.; MALHI, Y.; LEWIS, S. L.; VÁSQUEZ MARTINEZ, R.; ALEXIADES, M.; ÁLVAREZ DÁVILA, E.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; ANDRADE, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARETS, E. J. M. M.; ARROYO, L.; AYNARD C., G. A.; BÁNKI, O. S.; BARALOTO, C.; BARROSO, J.; BONAL, D.; BOOT, R. G. A.; CAMARGO, J. L. C.; CASTILHO, C. V.; CHAMA, V.; CHAO, K. L. CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO VALVERDE, F.; COSTA, L. da; OLIVEIRA, E. A. de; DI FIORE, A.; ERWIN, T. L.; FAUSET, S.;

FORSTHOFER, M.; GALBRAITH, D. R.; GRAHAME, E. S.; GROOT, N.; HÉRAULT, B.; HIGUCHI, N.; HONORIO CORONADO, E. N.; KELLING, H.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S.; LICONA, J.; MAGNUSSEN, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MENDOZA, C.; NEILL, D. A.; NOGUEIRA, E. M.; NÚÑEZ, P.; PALLQUI CAMACHO, N. C.; PARADA, A.; PARDO-MOLINA, G.; PEACOCK, J.; PEÑA-CLAROS, M.; PICKAVANCE, G. C.; PITMAN, N. C. A.; POORTER, L.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; RAMÍREZ, F.; RAMÍREZ-ANGULO, H.; RESTREPO, Z.; ROOPSIND, A.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R. P.; SCHWARZ, M.; SILVA, N.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILVEIRA, M.; STROPP, J.; TALBOT, J.; TER STEEGE, H.; TERAN-AGUILAR, J.; TERBORGH, J.; THOMAS-CAESAR, R.; TOLEDO, M.; TORELLO-RAVENTOS, M.; UMETSU, R. K.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; VAN DER HOUT, P.; VIEIRA, I. C. G.; VIEIRA, S. A.; VIILANOVA, E.; VOS, V. A.; ZAGT, R. J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344–348, Mar. 2015. DOI: 10.1038/nature14283.

CHENU, C.; ANGERS, D. A.; BARRÉ, P.; DERRIEN, D.; ARROUAYS, D.; BALESSENT, J. Increasing organic stocks in agricultural soils: knowledge gaps and potential innovations. **Soil and Tillage Research**, v. 188, p. 41-52, May 2019. DOI: 10.1016/j.still.2018.04.011.

CREMADES, R.; SURMINSKI, S.; MÁÑEZ COSTA, M.; HUDSON, P.; SHRIVASTAVA, P.; GASCOIGNE, J. Using the adaptive cycle in climate-risk insurance to design resilient futures. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 1, p. 4-7, Jan. 2018. DOI: 10.1038/s41558-017-0044-2.

DESPOMMIER, D. The vertical farm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 6, n. 2, p.233-236, June 2011. DOI: 10.1007/s00003-010-0654-3.

EMBRAPA. **GESTEC**: gestão dos ativos tecnológicos da Embrapa. Disponível em: <<https://sistemas.sede.embrapa.br/gestec/paginas/home.xhtml>>. Acesso em: 7 nov. 2020a.

EMBRAPA. **Ideare**. Disponível em: <<https://sistemas.sede.embrapa.br/ideare/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa: 2020-2030**. Brasília, DF, 2020b. 31 p. il. color. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126091/1/VII-PDE-2020.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

EMBRAPA. **Visão 2014-2034**: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2014. 194 p. il. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/108955/1/Documento-Visao-versao-completa.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2021.

EMBRAPA. Secretaria de Desenvolvimento Institucional. **Macroprocesso de inovação da Embrapa**. Brasília, DF, 2018. Documento orientador.

FAO. **Adapting agriculture to climate change**. Rome, 2016. 12 p. (FAO's work on climate change adaptation). Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i6398e/i6398e.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2021.

FUJIMORI, S.; HASEGAWA, T.; KREY, V.; RIAHI, K.; BERTRAM, C.; BODIRSKY, B. L.; BOSETTI, V.; CALLEN, J.; DESPRÉS, J.; DOELMAN, J.; DROUET, L.; EMMERLING, J.; FRANK, S.; FRICKO, O.; HAVLIK, P.; HUMPENÖDER, F.; KOOPMAN, J. F. L.; VAN MEIJL, H.; OCHI, Y.; POPP, A.; SCHMITZ, A.; TAKAHASHI, K.; VAN VUUREN, D. A multi-model assessment of food security implications of climate change mitigation. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 5, p. 386-396, May 2019. DOI: 10.1038/s41893-019-0286-2.

GERBER, P. J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: FAO, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2017.



GESTÃO de riscos climáticos com foco em precificação de carbono: análise das empresas brasileiras respondentes ao programa Climate Change. [S. l.]: CDP, 2017. 67 p. Disponível em: <[http://lowcarbonbrazil.com.br/docs/pdf/L11\\_CDP\\_carbon\\_pricing.pdf](http://lowcarbonbrazil.com.br/docs/pdf/L11_CDP_carbon_pricing.pdf)>. Acesso em: 4 jun. 2019.

GILL, D.; MAGIN, G.; BERTRAM, E. **Trees and climate change**: a guide to the factors that influence species vulnerability and a summary of adaptation options. Cambridge: Fauna & Flora International, 2013. 16 p.

HAVLÍK, P.; VALIN, H.; HERRERO, M.; OBERSTEINER, M.; SHMID, E.; RUFINO, M. C.; MOSNIER, A.; THORNTON, P. K.; BÖTTCHER, H.; CONANT, R. T.; FRANK, S.; FRITZ, S.; FUSS, S.; KRAXNER, F.; NOTENBAERT, A. Climate change mitigation through livestock system transitions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.111, n.10, p. 3709-3714, Mar. 2014. DOI: 10.1073/pnas.1308044111.

HONG, C.; BURNEY, J. A.; PONGRATZ, J.; NABEL, J. E. M. S.; MUELLER, N. D.; JACKSON, R. B.; DAVIS, S. J. Global and regional drivers of land-use emissions in 1961–2017. **Nature**, v. 589, n. 7843, p. 554-561, Jan. 2021. DOI: 10.1038/s41586-020-03138-y.

HUNTER, M. C.; SMITH, R. G.; SCHIPANSKI, M. E.; ATWOOD, L. W.; MORTENSEN, D. A. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. **BioScience**, v. 67, n. 4, p. 386-391, Apr. 2017. DOI: 10.1093/biosci/bix010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change and land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: summary for policymakers. [Geneva]: IPCC, 2020. 36 p. Edited by: Valérie Masson-Delmotte, Hans-Otto Pörtner, Jim Skea, Raphael Slade, Marion Ferrat, Suvadip Neogi, Joana Portugal Pereira, Katie Kissick, Eduardo Calvo Buendía, Sarah Connors, Eamon Haughey, Minal Pathak, Purvi Vyas, Malek Belkacemi, Panmao Zhai, Debra Roberts, Priyadarshi R. Shukla, Renée van Diemen, Sigourney Luz, Jan Petzold, Elizabeth Huntley, Juliette Malley. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM\\_Updated-Jan20.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014**: synthesis report. Geneva: IPCC, 2014. 151 p. Edited by The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2021**: the physical basis: summary for policymakers. [Geneva]: IPCC, 2021. 31 p. Edited by: Valérie Masson-Delmotte, Anna Pirani, Yang Chen, J. B. Robin Matthews, Ozge Yelekçi, Elisabeth Lonnoy, Katherine Leitzell, Sarah Connors, Leah Goldfarb, Sophie Berger, Rong Yu, Thomas K. Maycock, Panmao Zhai, Clotilde Péan, Melissa I. Gomis, Mengtian Huang, Baiquan Zhou, Tim Waterfield, Nada Caud. Working Group I contribution to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for policymakers**. [Geneva]: IPCC, 2018. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_SPM\\_version\\_report\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2021.

JAT, M. L.; DAGAR, J. C.; SAPKOTA, T. B.; YADVINDER-SINGH; GOVAERTS, B.; RIDAURA, S. L.; SAHARAWAT, Y. S.; SHARMA, R. K.; TETARWAL, J. P.; JAT, R. K.; HOBBS, H.; STIRLING, C. Chapter three - climate change and agriculture: adaptation strategies and mitigation opportunities for food security in South Asia and Latin America. **Advances in Agronomy**, v.137, p.127-235, 2016. DOI: 10.1016/bs.agron.2015.12.005.

KOZAI, T.; NIU, G. Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In: KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. (Ed.). **Plant factory**: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Amsterdam: Elsevier, 2016. chap. 4, p. 69-90. DOI: 10.1016/B978-0-12-801775-3.00004-4.

LAL, R. Promoting “4 per Thousand” and “Adapting African Agriculture” by south-south cooperation: conservation agriculture and sustainable intensification. **Soil and Tillage Research**, v. 188, p. 27-34, May 2019. DOI: 10.1016/j.still.2017.12.015.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, Mar. 2011. DOI: 10.1073/pnas.1100480108.

LE QUÉRÉ, C.; ANDREW, R. M.; FRIEDLINGSTEIN, P.; SITCH, S.; HAUCK, J.; PONGRATZ, J.; PICKERS, P. A.; KORSAKKEN, J. I.; PETERS, G. P.; CANADELL, J. G.; ARNETH, A.; ARORA, V. K.; BARBERO, L.; BASTOS, A.; BOPP, L.; CHEVALLIER, F.; CHINI, L. P.; CIAIS, P.; DONEY, S. C.; GKRTZALIS, T.; GOLL, D. S.; HARRIS, I.; HAVERD, V.; HOFFMAN, F. M.; HOPPEMA, M.; HOUGHTON, R. A.; HURTT, G.; ILYINA, T.; JAIN, A. K.; JOHANNESSEN, T.; JONES, C. D.; KATO, E.; KEELING, R. F.; GOLDEWIJK, K. K.; LANDSCHÜTZER, P.; LEFÈVRE, N.; LIENERT, S.; LIU, Z.; LOMBARDOZZI, D.; METZL, N.; MUNRO, D. R.; NABEL, J. E. M. S.; NAKAOKA, S.; NEILL, C.; OLSEN, A.; ONO, T.; PATRA, P.; PEREGON, A.; PETERS, W.; PEYLIN, P.; PFEIL, B.; PIERROT, D.; POULTER, B.; REHDER, G.; RESPLANDY, L.; ROBERTSON, E.; ROCHER, M.; RÖDENBECK, C.; SCHUSTER, U.; SCHWINGER, J.; SÉFÉRIAN, R.; SKJELVAN, I.; STEINHOFF, T.; SUTTON, A.; TANS, P. P.; TIAN, H.; TILBROOK, B.; TUBIELLO, F. N.; VAN DER LAAN-LUIJKX, I. T.; VAN DER WERF, G. R.; VIOVY, N.; WALKER, A. P.; WILTSHIRE, A. J.; WRIGHT, R.; ZAEHLE, S.; ZHENG, B. Global carbon budget 2018. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 4, p. 2141-2194, 2018. DOI: 10.5194/essd-10-2141-2018.

LIPPER, L.; THORNTON, P.; CAMPBELL, B. M.; BAEDEKER, T.; BRAIMOH, A.; BWALYA, M.; CARON, P.; CATTANEO, A.; GARRITY, D.; HENRY, K.; HOTTLE, R.; JACKSON, L.; JARVIS, A.; KOSSAM, F.; MANN, W.; MCCARTHY, N.; MAYBECK, A.; NEUFELDT, H.; REMINGTON, T.; SEN, P. T.; SESSA, R.; SHULA, R.; TIBU, A.; TORQUEBLAU, E. F. Climate-smart agriculture for food security. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 12, p.1068-1072, Dec. 2014. DOI: 10.1038/nclimate2437.

MANZATTO, C. V.; ARAUJO, L. S. de; ASSAD, E. D.; SAMPAIO, F. G.; SOTTA, E. D.; VICENTE, L. E.; PEREIRA, S. E. M.; LOEBMANN, D. G. dos S. W.; VICENTE, A. K. **Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC**: estimativas parciais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020. 35 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 122). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123612/1/Manzatto-emissoes-gases-2020.pdf>>. Acesso em: 3 dez. 2021.

MCDOWELL, N. G.; ALLEN, D. C. Darcy’s law predicts widespread forest mortality under climate warming. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 7, p. 669-672, July 2015. DOI: 10.1038/nclimate2641.

NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J. R.; MAY, A.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Estimating 20-year land use change and derived CO<sub>2</sub> emissions associated to crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3716-3728, Sept. 2017. DOI: 10.1111/gcb.13708.

OECD-FAO agricultural outlook 2013-2022. Paris: OECD Publishing: FAO, 2013. 322 p.

OGDEN, A. E.; INNES, J. L. Application of structured decision making to an assessment of climate change vulnerabilities and adaptation options for sustainable forest management. **Ecology and Society**, v.14, n. 1, 11, June 2009. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art11/>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PELLING, M.; GARSCHAGEN, M. Put equity first in climate adaptation. **Nature**, v. 569, n. 7758, p. 327-329, May 2019. DOI: 10.1038/d41586-019-01497-9.

QUARTA comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF: Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações, 2021. 619 p.

RODRIGUES, G. S.; PIMENTA, S. C.; CASARINI, C. R. A. **Ferramentas de avaliação de impactos ambientais e indicadores de sustentabilidade na Embrapa**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016. 21 p. il. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos 105). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1067286/1/2016DC07.pdf>>. Acesso em: 3 dez. 2021.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; BARROS, I. de. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, n. 4, p. 229-239, July 2010. DOI: 10.1016/j.eiar.2009.10.002.

ROJAS-DOWNING, M. M.; NEJADHASHEMI, A. P.; HARRIGAN, T.; WOZNICKI, S. A. Climate change and livestock: impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, v. 16, p. 145-163, 2017. DOI: 10.1016/j.crm.2017.02.001.

ROSEGRANT, M. W.; KOO, J.; CENACCHI, N.; RINGLER, C.; ROBERTSON, R.; FISHER, M.; COX, C.; GARRETT, K.; PEREZ, N. D.; SABBAGH, P. **Food security in a world of natural resource scarcity: the role of agricultural technologies: the role of agricultural technologies**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2014. DOI: 10.2499/9780896298477.

ROUWS, L. F. M.; FISCHER, D.; SCHMID, M.; REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; HARTMANN, A. Culture-independent assessment of diazotrophic bacteria in sugarcane and isolation of *Bradyrhizobium* spp. from field-grown sugarcane plants using legume trap plants. In: DE BRUIJN, F. J. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: Wiley, 2015. chap. 94, p. 955-965. DOI: 10.1002/9781119053095.ch94.

RUMPEL, C.; AMIRASLANI, F.; CHENU, C.; GARCIA CARDENAS, M.; KAONGA, M.; KOUTIKA, L. S.; LADHA, J.; MADARI, B.; SHIRATO, Y.; SMITH, P.; SOUDI, B.; SOUSSANA, J. F.; WHITEHEAD, D.; WOLLENBERG, E. The 4p1000 initiative: opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. **Ambio**, v. 49, n. 1, p. 350-360, Jan. 2020. DOI: 10.1007/s13280-019-01165-2.

SCHREEFEL, L.; SCHULTE, R. P. O.; DE BOER, I. J. M.; PAS SCHRIJVER, A.; VAN ZANTEN, H. H. E. Regenerative agriculture – the soil is the base. **Global Food Security**, v. 26, p. 1-8, Sept. 2020. DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100404.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; VARGAS, V. P.; CARMO, J. B.; MARTINS, A. A.; SOUSA, R. M.; ANDRADE, A. C. Enhanced-efficiency fertilizers in nitrous oxide emissions from urea applied to sugarcane. **Journal of Environmental Quality**, v. 44, n. 2, p. 423-430, Mar./Apr. 2015. DOI: 10.2134/jeq2014.02.0096.

SPRINGMANN, M.; CLARK, M.; MASON-D'CROZ, D.; WIEBE, K.; BODIRSKY, B. L.; LASSALETTA, L.; DE VRIES, W.; VERMEULEN, S. J.; HERRERO, M.; CARLSON, K. M.; JONELL, M.; TROELL, M.; DECLERCK, F.; GORDON, L. J.; ZURAYK, R.; SCARBOROUGH, P.; RAYNER, M.; LOKEN, B.; FANZO, J.; GODFRAY, H. C. J.; TILMAN, D.; ROCKSTRÖM, J.; WILLETT, W. Options for keeping the food system within environmental limits. **Nature**, v. 562, n. 7728, p. 519-525, Oct. 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0594-0.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, Dec. 2011. DOI: 10.1073/pnas.1116437108.



TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671–677, Aug. 2002. DOI: 10.1038/nature01014.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. **World population prospects: the 2017 revision**: key findings and advance tables. New York, 2017. 46 p. Working paper no. ESA/P/WP/248. Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2019.

WHY a new Guide to LCA? In: GUINÉE, J. E. (Ed.). **Handbook on life cycle assessment**: operational guide to the ISO standards. New York: Kluwer, 2002. p. 5. (Eco-efficiency in industry and science, v. 7). DOI: 10.1007/0-306-48055-7\_1.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global risks 2015**. 10. ed. Geneva, 2015. 65 p. Insight report. Disponível em: <[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_2015\\_Report15.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2021.

**Embrapa**

---

**Agricultura Digital**