

CAPÍTULO 1

Mudança climática e agricultura

Recursos naturais, geopolítica e ciência

Giampaolo Queiroz Pellegrino – Gustavo Barbosa Mozzer – Priscila Brochado Gomes – Livia Pereira Junqueira – Francislene Angelotti – Jorge Antonio Menna Duarte

Mudança climática e o modelo de desenvolvimento

“Tudo começou numa grande bola de fogo [...]”. Assim se referia, em tom de brincadeira, uma amiga pesquisadora já aposentada, a todo palestrante ou autor que insistia em explicar seu tema partindo do início do universo ou de um passado muito remoto, demorando a chegar ao ponto central. Peço licença a ela — e também aos mais familiarizados com o assunto —, pois é importante compreender a origem do aquecimento global e da mudança climática. Por isso, começa-se aqui a partir de uma “grande bola de fogo”: o Sol, a principal fonte de energia para praticamente tudo o que acontece na Terra (Figura 1.1).

A energia natural que nos mantém aquecidos

Essa energia do Sol, transmitida na forma de ondas curtas, alcança o topo da atmosfera terrestre, a cerca de mil quilômetros de altitude. Uma parte significativa dessa radiação já é refletida pelos gases das camadas superiores da atmosfera e continua sendo refletida e absorvida pelas diferentes camadas, ao longo de sua trajetória, até chegar à superfície da Terra. Ao longo desse caminho, a concentração de gases na atmosfera vai aumentando até a última camada, chamada troposfera. A troposfera se estende da superfície até cerca de 12 km de altitude (Figura 1.2) e é nela que se encontra a maior concentração de gases, chegando a mais de 80% da quantidade de gases da atmosfera toda. E é nela também que ocorrem praticamente todos os fenômenos meteorológicos.

Foto: Nasa/JPL

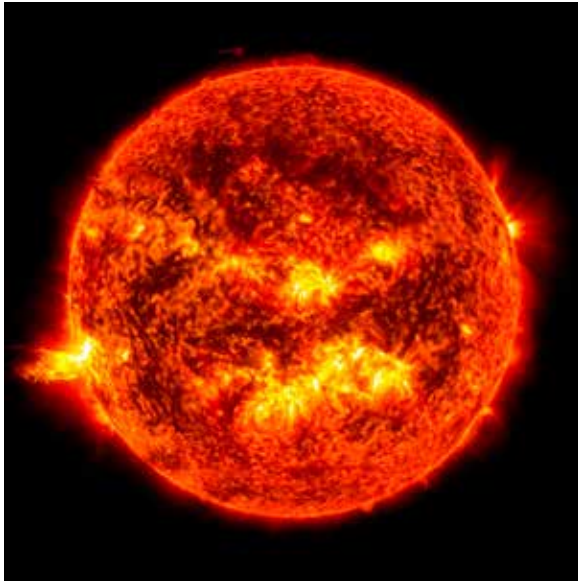


Figura 1.1. Uma “grande bola de fogo”: o Sol, a principal fonte de energia para praticamente tudo o que acontece na Terra.

Para compreender o aquecimento global, é importante destacar que é a energia absorvida pelos gases da atmosfera que a faz se aquecer. Além disso, a proporção dessa energia que é refletida, absorvida ou transmitida na forma de luz solar ao longo das camadas atmosféricas depende tanto do comprimento de onda da radiação quanto do tamanho e da estrutura das moléculas dos gases com os quais ela interage.

Voltando à luz do Sol, ela chega à superfície da Terra na forma de onda curta. Ao ser absorvida pela Terra, aquece-a e é retransmitida para a atmosfera na forma de onda longa. Porém, quando retorna nessa nova forma, a energia interage de forma diferente com os mesmos gases da troposfera que antes permitiram sua passagem como onda curta. Essa energia irradiada pela Terra é parcialmente absorvida por esses gases,

provocando um aquecimento natural dessa camada próxima à superfície, onde vivemos. Sem esse aquecimento, estima-se que a temperatura média da superfície da Terra seria em torno de 15 °C mais baixa.

Por se assemelhar ao que ocorre em uma estufa, onde o vidro permite a entrada da luz do Sol, mas retém parte do calor irradiado pela superfície aquecida, criando condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, esse fenômeno natural é conhecido como efeito estufa. As Figuras 1.3 e 1.4 apresentam, respectivamente, a interação da radiação solar com a atmosfera e o comportamento dessa radiação no interior de uma estufa de vidro.

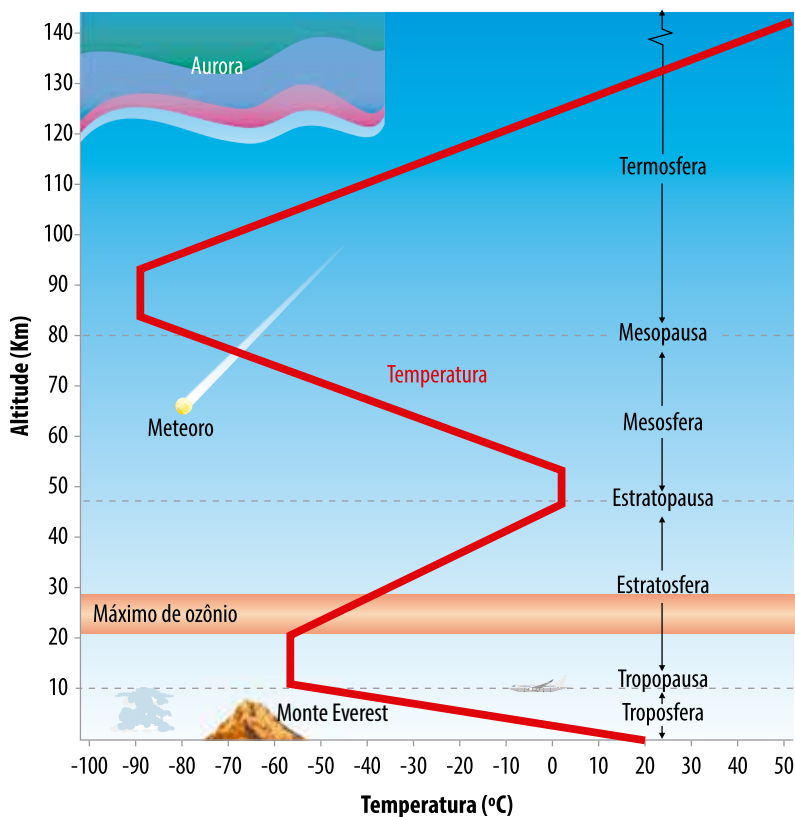


Figura 1.2. Camadas da atmosfera e comportamento da temperatura em função da interação da radiação solar com os gases que a compõem.

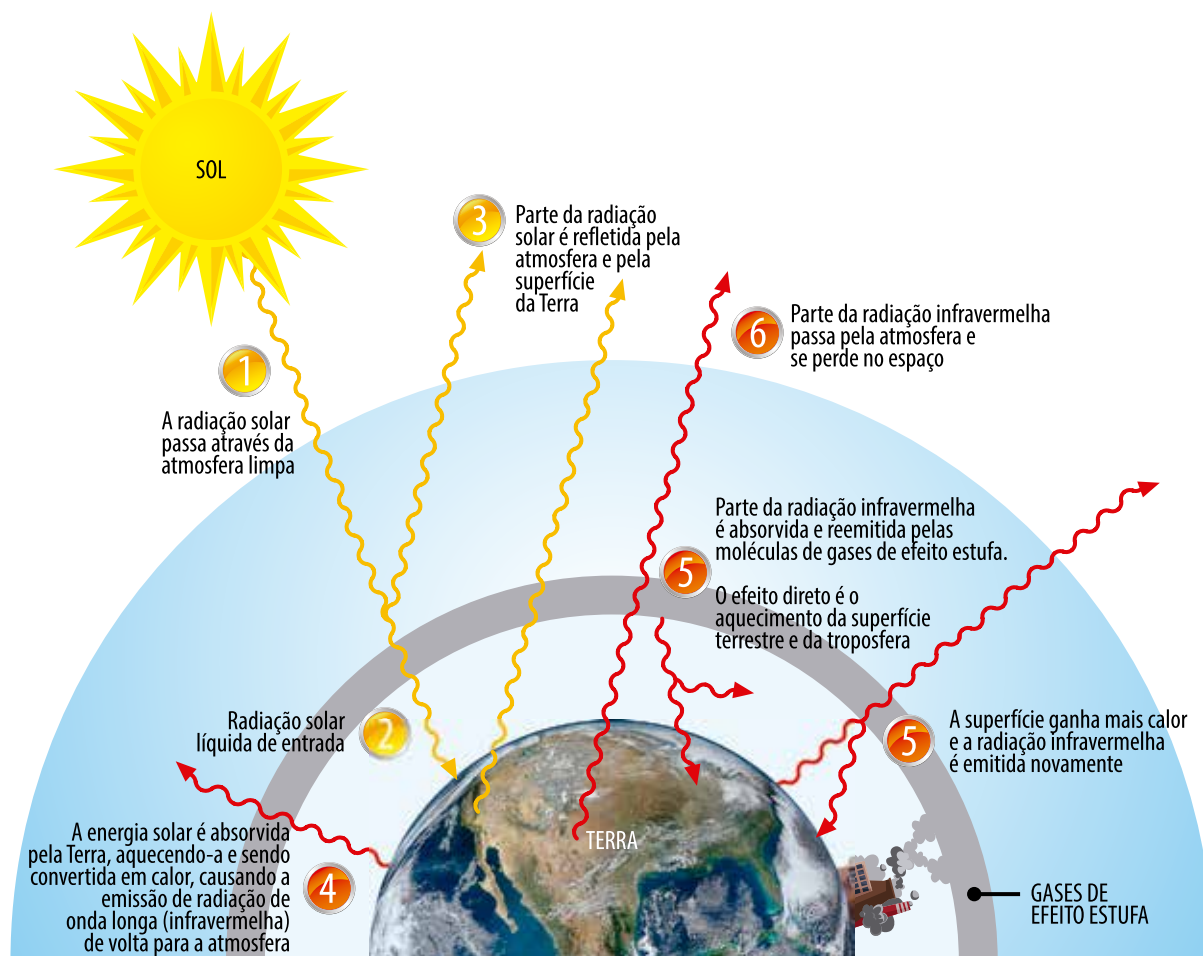


Figura 1.3. Interação da radiação solar com a atmosfera e o efeito estufa natural.

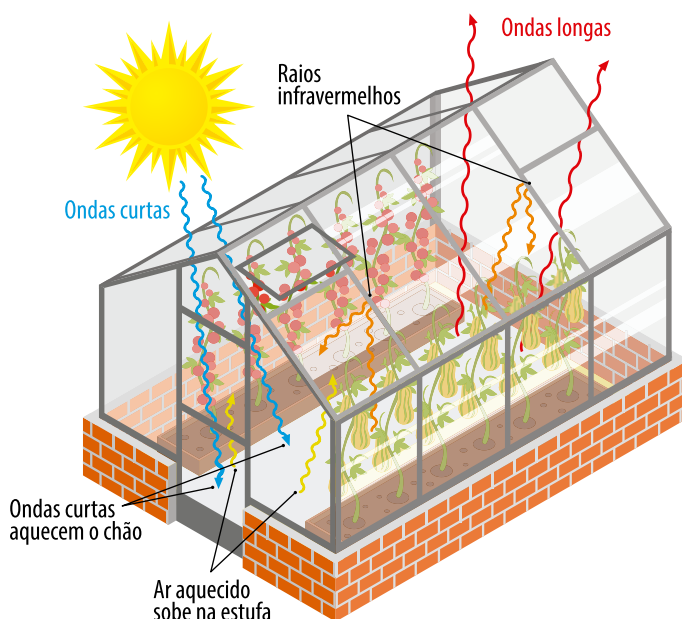


Figura 1.4. Interação da radiação e aquecimento interno de uma estufa de vidro.

A humanidade seria capaz de alterar um processo natural global?

Até muito recentemente, pouco se imaginava que a ação humana pudesse interferir em grandes fenômenos naturais. O modelo de desenvolvimento econômico e social vigente considerava os recursos naturais como infinitos e acreditava ser possível usá-los quase indiscriminadamente, sem grandes impactos, muito menos globais. Porém, a partir da Revolução Industrial e da descoberta de fontes fósseis de energia, como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo, esse panorama começou a mudar profundamente.

Esses hidrocarbonetos combustíveis haviam sido gerados a partir de matéria orgânica estocada geologicamente, soterrada a altas pressões e temperaturas em eras passadas até que as placas tectônicas se acomodassem e estabelecessem os continentes e oceanos com seus relevos, como se conhece hoje. Eles já não faziam parte e não influenciavam esse ciclo de energia da superfície da Terra. Mas sua descoberta e uso, ao mesmo tempo em que permitiram a Revolução Industrial e o rápido desenvolvimento tecnológico que se alcançou até hoje, passou a lançar gases derivados desses hidrocarbonetos na atmosfera, aumentando a sua concentração. E, na interação da onda longa com esses gases em maior concentração, aumenta significativamente a absorção da energia irradiada, provocando um aumento na temperatura média da superfície da Terra, ou seja, o aquecimento global. Por isso, esses gases são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE) e o aquecimento que provocam é resultado direto da ação humana e do modelo de desenvolvimento baseado no uso intensivo de energia fóssil. Portanto, como concluem os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2014, 2023), esse aquecimento global é antropogênico, pois é majoritariamente provocado por gases gerados pela ação humana, provocando mudança no padrão climático normal, a mudança climática.

O clima mudou! E agora?

Fica claro, portanto, o nexos ou conexão da mudança climática com os modelos de desenvolvimento e como se vive em sociedade e se geram produtos e serviços nos diversos setores da economia global. É de vital importância, que se compreenda quais são os efeitos que esses modelos causam sobre o clima, como contribuem para o aquecimento global, quais gases emitem e quanto, quais as formas viáveis de retirada desses gases da atmosfera via processos naturais ou não. E, por consequência, é essencial identificar ou desenvolver formas de entender o impacto da mudança do clima sobre os ambientes naturais e sobre a vida no planeta, inclusive a humana, e de estar adaptado ao que não for possível mitigar do aquecimento global.

Embora seja um fenômeno de larga escala espacial e temporal, que só é perceptível como mudança do clima, ou seja, ao longo de décadas ou mesmo de um século, seus impactos foram se tornando cada vez mais presentes, se avolumando e intensificando, aumentando sua frequência (IPCC, 2023), a ponto de se passar a referir a ele, não mais como mudança climática, mas sim como crise climática ou urgência climática. Esses termos “clima” ou “climática” se referem ao comportamento normal dos fenômenos que ocorrem na troposfera, os fenômenos meteorológicos, comportamento este que se observa e se define ao longo de décadas em torno de um ciclo médio de temperaturas mensais e anuais, que se repetem considerando-se sua variabilidade normal. Quando esse ciclo médio de longo prazo se altera é o que se chama de mudança climática, termo de uso preferido neste livro.

Os termos “crise” e “urgência” são antagônicos em sua origem (etimologia) ao termo “climática”. Apesar desse antagonismo etimológico, o significado usado nos tempos atuais, semântico, é de necessidade de ação rápida. Dada a dificuldade de mudar nossos modelos de desenvolvimento, isto é, a inércia do comportamento da sociedade e da economia, o problema se agravou a tal ponto de se

tornar urgente. Isso quer dizer que não há muito mais tempo para se tomar decisões e implementar ações para evitar o agravamento do aquecimento global de forma a minimizar seus impactos sobre os diversos setores – o que se chama de mitigação – e, ao mesmo tempo, reduzir a vulnerabilidade e a exposição dos sistemas produtivos, frente ao que não será possível evitar – o que se chama de adaptação. A Figura 1.5 mostra a vulnerabilidade, a exposição e o perigo como fatores que determinam o risco e o impacto associado à mudança climática. Ela também apresenta a relação entre esses fatores e o modelo e os processos socioeconômicos, as emissões de GEE, a governança dessas dinâmicas e as ações de adaptação e mitigação capazes de reduzir riscos e impactos.

Como a agricultura se relaciona com tudo isso?

Além dos setores como a indústria e o transporte, claramente vinculados ao uso primário e primor-

dial do carvão mineral, do gás natural e do petróleo, a agricultura¹ – pelo uso de insumos derivados dessas fontes de origem fóssil, pela conversão de áreas naturais em área agricultáveis e a consequente perda de biodiversidade, pelo manejo do solo e dos rebanhos e outras atividades intrínsecas aos modelos de produção –, em maior ou menor grau, também contribui para o aquecimento global e a mudança climática. Por outro lado, por ser o setor mais vinculado ao ambiente natural e dependente dele, é diretamente afetado ou impactado pela mudança climática. Além disso, por possuir nexo com os demais setores da economia, esse impacto se reflete tanto na produção de alimentos, e sua própria vinculação com o bem-estar, qualidade de vida e saúde da população, como na produção de fibras e energia, usadas diretamente ou como insumo para processos industriais.

Obviamente, além dos nexos da agricultura e da produção de alimento com esses e outros setores, há a relação com os outros países, demandas por

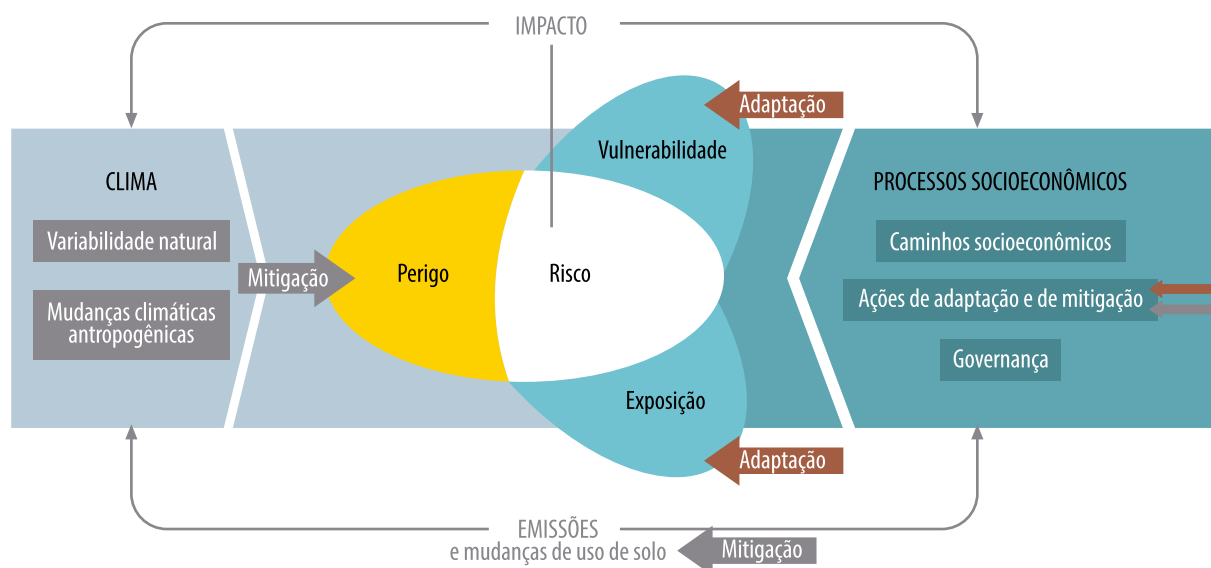


Figura 1.5. Incidência dos esforços de mitigação e adaptação à mudança do clima — Componentes do risco e a necessidade de ações de adaptação e mitigação de acordo com os caminhos socioeconômicos ou modelos de desenvolvimento adotados.

¹ Considerada aqui no seu sentido amplo e relativo às atividades produtivas no ecossistema rural, sejam elas, para a produção de culturas vegetais/agrícolas propriamente ditas, para a pecuária ou produção de animais, para a silvicultura ou produção florestal e suas integrações em sistemas mais complexos.

alimentos e outros produtos, concorrências de produtos comerciais e a negociação em âmbito global de seus múltiplos interesses, muitas vezes conflitantes, o que dificulta que se avance na solução do problema.

Mas, antes de analisar o contexto geopolítico, é importante voltar a atenção ao processo que acontece com as culturas agrícolas, florestais e animais ou mesmo com o ambiente de produção e com o meio natural. Esse enfoque é fundamental para compreender o que será tratado, ainda neste capítulo e nos demais, sobre as ações de adaptação e mitigação propriamente ditas e sobre a negociação de seu regramento internacional.

Sendo assim, cabe ainda analisar como se dá esse impacto da mudança do clima ao qual a agricultura deve se adaptar. O próprio aumento da temperatura pode provocar alterações fisiológicas da planta e dos animais, afetando diretamente os processos pelos quais absorvem nutrientes, crescem, se reproduzem e geram frutos e sementes, e, em última instância, completam seu ciclo de vida. Para a planta, por exemplo, esse aumento pode fazer com que ela passe a crescer menos ou deixar de produzir ou abortar flores e frutos pelo fato de a faixa entre a temperatura mínima e máxima do dia estar fora dos limites ótimos para o seu desenvolvimento. Animais podem ter problemas de conforto térmico e passarem a se alimentar mal, perder peso, abortar, por exemplo.

O aumento da temperatura também aumenta a demanda de água pelas plantas e animais, além de aumentar a evaporação da água das superfícies das plantas e do solo, fenômeno que, em conjunto com a transpiração, é chamado de evapotranspiração. E ao mesmo tempo em que o aquecimento da atmosfera aumenta a demanda de água do solo para realizar a evapotranspiração, para várias regiões do planeta e para a maioria das regiões brasileiras também se projetam cenários de redução da precipitação, ou sua concentração em períodos menores, reduzindo a disponibilidade hídrica. Como numa conta de banco onde

se gasta mais do que se recebe, o balanço hídrico fica negativo, ocorrendo o déficit hídrico. Assim, não há água suficiente para que a planta satisfaça suas necessidades para crescer e produzir adequadamente.

Fica evidente, portanto, o risco de se caracterizar um cenário de escassez hídrica, com reflexos graves de redução ou até quebras de safras inteiras no âmbito da propriedade ou mesmo regional. Isso sem considerar o aumento da frequência de eventos extremos como tempestades, granizo, ondas de calor, secas prolongadas, como os que ocorreram em 2024 no estado do Rio Grande do Sul, com a inundação e perdas em boa parte do estado, ou no Centro-Oeste, com o prolongamento do período de secas com atrasos nos plantios e redução de safras.

Adaptação e mitigação da agricultura

Na agricultura, a solução para esses problemas relacionados aos estresses provocados pelo aumento da temperatura e menor disponibilidade de água para o desenvolvimento da planta e dos animais passa pelo melhoramento genético e desenvolvimento de cultivares resistentes e ou tolerantes. O avanço tecnológico na agricultura também tem possibilitado a adoção de práticas de manejo mais eficientes, aliadas ao uso de insumos adaptados a condições adversas, o que ajuda a atenuar, em certa medida, os impactos das mudanças climáticas.

Podem-se usar técnicas de cobertura vegetal, com palhada ou com plantas vivas, reduzindo a temperatura da superfície do solo e do ambiente. O uso de práticas que aumentem a quantidade de matéria orgânica na camada superficial do solo permite uma maior infiltração e armazenamento de água. Técnicas de irrigação de precisão otimizam o uso da água. O plantio direto com rotação de cultura e cobertura do solo em todo o ciclo, a diversificação e integração de sistemas, a agricultura regenerativa da saúde do solo e da biodiver-

sidade – incluindo a recuperação de áreas degradadas –, assim como as técnicas de intensificação sustentável da produção, permitem que se produza mais anualmente em uma mesma área.

Nesse contexto da intensificação sustentável, isso significa não só aumentar a produtividade de um cultivo, mas, principalmente, diversificar a produção nessa mesma área por meio de cultivos consorciados ou integrados, como na integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e suas variações, e ainda produzir duas ou até três safras ao ano. São formas de promover a sustentabilidade, desde que se adotem insumos e práticas de manejo que não aumentem a pegada de carbono dos produtos gerados. A intensificação sustentável é também uma maneira de reduzir a pressão sobre os biomas e seus ecossistemas naturais e de reduzir a perda de biodiversidade.

A biodiversidade dos ecossistemas, desde os seres microscópicos até seus animais e plantas, é fonte de recursos de origem biológica que promovem a manutenção da microbiologia do solo agrícola e a disponibilização de nutrientes, além da fixação biológica de nitrogênio (FBN). O uso desses bioinsumos em um modelo de produção que promova a saúde do solo é imprescindível para a mitigação e a adaptação da agricultura. Desenvolver formas de manejo sustentável e recomposição da floresta e de geração de recursos florestais não madeireiros, gerando valor para a floresta em pé, é necessário para que se reduza a pressão da sociedade sobre os biomas naturais, que também precisam se adaptar à mudança climática.

Indo para além do insumo biológico para a produção sustentável, são essenciais tecnologias e infraestrutura para o armazenamento, reservação, uso eficiente da água e técnicas de irrigação que evitem perdas e desperdícios. O desenvolvimento de máquinas e de novas técnicas de mecanização, capazes de prevenir a compactação do solo ou viabilizar obras de conservação da água e do solo, também colabora nesse sentido. Cultivos à sombra ou mesmo em estruturas de cultivo pro-

tegidos, indo até estruturas industrializadas independentes do ambiente rural, podem ser usadas como alternativas, desde que estudados seus impactos ambientais e seus efeitos sobre a segurança alimentar e nutricional. Enfim, há uma ampla diversidade de equipamentos, técnicas e boas práticas já desenvolvidas dos quais já se pode lançar mão. E também há ainda a possibilidade de desenvolvimento de novas técnicas e métodos que reduzam esse impacto e aumentem a capacidade adaptativa dos sistemas agrícolas.

Do ponto de vista da mitigação, pode-se lançar mão de muitas dessas mesmas técnicas que, em geral, são tanto adaptadoras quanto mitigadoras, como a incorporação de cobertura vegetal, de matéria orgânica, de bioinsumos ou a FBN, além de outras técnicas específicas para a redução das emissões da agricultura. O foco, neste caso, é evitar emissões de GEE, reduzindo o uso direto de combustíveis fósseis e de insumos deles derivados, reduzir o desmatamento e a conversão de áreas naturais e evitar o revolvimento do solo, que libera boa parte do carbono nele armazenado. Por outro lado, pode-se aumentar o uso de técnicas que promovam a remoção dos GEE da atmosfera e o armazenamento de carbono nos elementos do ecossistema agrícola, sobretudo no solo ou na vegetação arbórea.

Muitas dessas técnicas ou soluções de inovação, sejam mais focadas em adaptação sejam em mitigação, bem como métricas e indicadores para monitorar ou inventariar sua evolução, serão detalhadas nos capítulos deste livro.

Ligando os pontos

Fica claro, portanto, que o efeito estufa, o mesmo processo natural que mantém a temperatura da superfície terrestre em níveis médios adequados para a sobrevivência das espécies vegetais e animais, incluindo a humana, pode ser alterado pelo modelo de desenvolvido baseado no uso de combustíveis fósseis.

Segundo o último relatório do IPCC (2023), essa é a principal causa do aquecimento global, com impacto sobre os diversos setores da economia. O relatório também aponta que a temperatura média global já atingiu 1,1 °C acima da média do período pré-industrial e que, quando se consideram somente as regiões continentais, esse valor sobe para 1,6 °C. O Resumo Anual sobre o Clima – Destaques do Clima Global 2024 – do instituto europeu Copernicus (Global Climate Highlights, 2025) aponta que 2024 foi o primeiro ano em que a média da temperatura global claramente excedeu o limite de 1,5 °C, ficando entre 1,57 e 1,60 °C acima dos níveis pré-industriais.

Esse aumento da temperatura conta com a contribuição de praticamente todos os setores da economia e, ao mesmo tempo, impacta diretamente a todos eles. No contexto global, a agricultura colabora com 11,7% das emissões². Ainda neste contexto, o Brasil representa 2,1% das emissões globais e nossa agricultura, cerca de 1% (Ge et al., 2024). Porém, no contexto nacional, a agricultura colabora com 30,5% das emissões³ e a mudança do uso da terra com 39,5% (Brasil, 2024). E para se reduzir o impacto dessas emissões, em âmbito global ou nacional, é necessário buscar um novo modelo de desenvolvimento, tendo em conta que se trata de um fenômeno global de múltiplas dimensões — ambiental, econômica, social e política — e que há a necessidade urgente de transição para sistemas produtivos mais sustentáveis, resilientes e tecnologicamente adaptados, em todos os setores.

Esse fenômeno também afeta significativamente a agricultura e, conseqüentemente, a segurança alimentar. Estudo coordenado em parceria entre Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) já apontava em 2008 (Deconto, 2008)

redução de áreas de baixo risco potencial da ordem de 35 a 40% para a soja em 2070, a depender do cenário do IPCC que se adotasse na projeção, “otimista” ou “pessimista” respectivamente, segundo os autores. À exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, reduções pouco menores foram projetadas para as principais culturas alimentares usadas no Brasil. Embora a mandioca tivesse aumento de área de baixo risco potencial em âmbito nacional, no Nordeste, haveria redução de área.

O estudo Brasil 2040, coordenado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (Brasil, 2015), aponta tendências das culturas agrícolas para 2040 e que foram acopladas a modelo econômico para a estimativa da mudança do uso da terra para a produção agrícola em função dos cenários climáticos projetados. As tendências são de redução do potencial produtivo de baixo risco agroclimático para o período projetado, até 2040, e impactos mais relevantes sobre a cultura de soja em todos os cenários apresentados até 2040, inclusive, com previsão de alguns municípios deixarem de produzir soja por serem classificados como alto risco climático.

Fica claro, a partir desses estudos, que tanto a tendência média de aumento da temperatura quanto os eventos extremos projetados pelo IPCC (2023), aliados ao manejo inadequado do agroecossistema e dos ecossistemas naturais e sem a adequação das técnicas de produção à nova realidade climática, podem levar a consequências graves, como a escassez hídrica, inundações, degradação dos solos, queimadas e incêndios e perda de biodiversidade e à insegurança alimentar.

A relação da agricultura com essa nova realidade é tanto de vítima quanto de importante vetor para intensificar o fenômeno do aquecimento global e a conseqüente mudança climática. Implementar uma agricultura integralmente de baixa emissão de carbono, com reduzida ou nenhuma dependência de insumos de origem fóssil, dissociada do desmatamento e que desenvolva e adote formas de manejo sustentável e de re-

² Este valor se refere a um total de emissões globais que não incluem as emissões por mudança do uso da terra.

³ Este valor se refere a um total de emissões globais que incluem as emissões por mudança do uso da terra.

composição da floresta e de geração de recursos florestais não madeireiros, gerando valor para a floresta em pé e reduzindo a pressão sobre a biodiversidade, é provavelmente a forma mais eficaz de reduzir sua contribuição para a intensificação desse fenômeno.

Nexos entre saúde, clima e produção de alimentos

Por outro lado, o impacto sobre a agricultura, por ser o setor mais vinculado ao ambiente natural e dependente dele, evidencia o nexo ou conexão da mudança climática com a segurança alimentar e nutricional e também com a soberania alimentar. Esse vínculo se reflete na capacidade de produção de alimentos, sobretudo em países como o Brasil, cuja agricultura é um dos maiores setores produtivos e um dos pilares de sua economia, respondendo o agronegócio por 23,5% de seu produto interno bruto (PIB) em 2024 (Cepea, 2025). Visando garantir a segurança alimentar e nutricional, inclusive de maneira preventiva diante de um futuro indesejado, deve-se planejar o investimento em adaptação e em mitigação, conforme exemplificado aqui e nos demais capítulos deste livro.

Quando se refere à segurança alimentar e nutricional e à soberania alimentar — ou seja, a capacidade de o país decidir sobre como garantir à sua população independência para produzir, distribuir e garantir acesso a alimento com a qualidade e quantidade adequada para sua boa nutrição —, esse investimento se desdobra em benefícios em outros setores, pois fica evidente seu nexo, por exemplo, com a saúde, bem-estar e qualidade de vida da população. Relaciona-se com o conceito de saúde única ou integral. O nexo com a saúde integral ou única abrange desde espécies vegetais e animais, inclusive a humana, até ecossistemas e o próprio planeta, promovendo a qualidade de vida, uso de alimentos nutritivos e funcionais e interação saudável entre essas espécies e o ambiente, envolvendo o conceito amplo de ecofisiologia, ou funciona-

mento do ecossistema, nas diversas vertentes e fatores intervenientes em sua saúde.

E, obviamente, dada a complexidade dos modelos de desenvolvimento das diversas regiões do globo e das suas relações comerciais, políticas e sociais, há forte conexão ou nexo entre a segurança alimentar com a biodiversidade e uso dos recursos naturais, sobretudo o solo e a água de forma ambientalmente eficiente e sustentável. A competição pelo uso da água entre os setores urbanos, industriais e rurais exige que se equacionem alternativas para a reservação da água e o seu uso eficiente, nas diversas escalas da produção agrícola.

No setor de energia, a busca por alternativas renováveis, visando à transição para uma economia com baixa ou nenhuma dependência dos combustíveis fósseis, é essencial o papel da agricultura. Destacam-se nesse contexto a produção de bioenergia a partir de biomassa e de biocombustíveis e a utilização de áreas rurais para a geração de energia eólica, solar e hidráulica. E, ainda, há o nexo com a logística de armazenamento e distribuição, com os modais de transportes e com os processos industriais que utilizam fibras e outros insumos biológicos.

Os aspectos culturais e de inclusão socioprodutiva e digital devem permear e estar presentes em todos esses nexos, buscando-se alternativas para a definição de novos modelos de desenvolvimento sustentável, na concepção mais ampla do termo, ou seja, envolvendo as vertentes econômicas, sociais, ambientais, institucionais, geopolíticas.

Por fim, a integração do suporte científico à formulação de política pública, como uma forma de exercer a diplomacia científica⁴, e para o monitoramento de sua efetividade, é essencial para que a transição ecológica para um modelo de desenvolvimento cada vez menos emissor de GEE, mais baseado em recursos renováveis, bioeconomia e economia circular, seja tanto viável quanto eficiente.

⁴ O conceito da diplomacia científica será tratado com mais detalhe na subseção Diplomacia Científica deste capítulo.

Precisamos conversar

As evidências científicas, baseadas em levantamentos sobre os avanços do conhecimento internacional no tema e coordenados pelo IPCC em ciclos aproximados de sete anos, ressaltam a necessidade urgente de um esforço global de transição para sistemas produtivos mais sustentáveis, resilientes e tecnologicamente adaptados à nova realidade climática e às suas projeções.

Historicamente, diante desse contexto internacional complexo, marcado pelo aquecimento global e pela necessidade de um esforço global de mitigação dos efeitos da mudança climática, já na sua convenção ocorrida no Rio de Janeiro em 1992, a *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento* (Rio 92), promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), estabeleceu três Convenções-Quadro em temas que demandavam, e ainda demandam, atenção e esforço global: a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD, da sigla em inglês), a Convenção sobre Biodiversidade Biológica (UNCBD) e a Convenção sobre Mudança Climática (UNFCCC). O histórico e detalhamento desta última é relatado a seguir, sobretudo no que se refere ao setor agrícola e à contribuição da Embrapa e parceiros, tema foco deste livro.

Geopolítica climática no âmbito da Convenção

Os primórdios da Convenção

No cerne da UNFCCC, há uma meta relativamente simples de colocar em palavras, mas que representa um desafio extremamente complicado de colocar em prática: entender como os países individualmente contribuem para as emissões de GEE e identificar as fontes dessas emissões dentro do processo econômico e das atividades peculiares da matriz de cada país.

Para alcançar esse objetivo, nos estágios iniciais do processo de negociação internacional, a UNFCCC delegou ao IPCC o mandato de elaborar um estudo sobre como tornar essa meta realidade. O IPCC surgiu visando criar um esquema abrangente que contabilizasse, de forma transparente, acurada, completa, consistente e comparável, as emissões de GEE em cada país.

O conjunto de metodologias elaboradas pelo IPCC foi adaptado para permitir que todas as nações relatassem suas emissões com base em dados de atividade específicos para setores econômicos e em fatores de emissão projetados de acordo com circunstâncias geográficas e econômicas. Esse conjunto primário de métodos adotados pela UNFCCC é a base para a elaboração do Inventário Nacional de GEE e da Comunicação Nacional, usando a metodologia mais básica proposta pelo IPCC.

No entanto, apenas identificar a origem das emissões estava longe de ser suficiente para abranger a ambição definida pela UNFCCC, conforme apresentado em seu art. 2º (Convenção sobre Mudança do Clima, 1992), transcrito a seguir:

ARTIGO 2

OBJETIVO

O objetivo final desta Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos com ela relacionados que adote a Conferência das Partes é o de alcançar, em conformidade com as disposições pertinentes desta Convenção, a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável.

Para isso, logo na primeira *Conferência das Partes* (COP1), realizada em Berlim, de 28 de março a 7 de abril de 1995, ficou evidente que a linguagem

da Convenção recém-adotada estava longe de ser suficiente para enfrentar o desafio de estabilizar a concentração de GEE na atmosfera em um nível que evitaria interferência antropogênica perigosa no sistema climático. Na verdade, muitas eram as variáveis ainda desconhecidas naquela época, mas havia uma certeza. A certeza que levou todos aqueles países a adotarem universalmente a Convenção era que muito tinha que ser feito para viabilizar a transição de uma economia intensiva em combustíveis fósseis para um futuro mais verde e sustentável.

Embora a Convenção tenha estabelecido as bases para que uma mudança no modelo econômico mundial pudesse prosperar – energeticamente independente de combustíveis fósseis, ambientalmente mais sustentável, socialmente relevante e economicamente eficiente –, caberia a cada país o desenvolvimento de suas estratégias nacionais e o desenho de seus processos científicos e tecnológicos. O que, em 1995, era apenas um planejamento de futuro, precisaria ser implementado por cada país na forma de políticas públicas domésticas.

Naquela época, ainda havia incerteza sobre qual seria o chamado “nível que evitaria interferência antropogênica perigosa no sistema climático”. Então, a decisão primária da COP 1 foi estabelecer um processo de discussão, com duração de dois anos, que resultaria na elaboração de um protocolo no âmbito da Convenção, destinado a ajudar os países a entender e desenvolver estratégias para mudar suas economias em direção ao futuro mais verde que foi previsto pela sociedade.

Desse processo resultou, após alguns anos de discussões globais sobre a questão da mudança climática, o Protocolo de Quioto, o primeiro acordo internacional firmado no âmbito da UNFCCC. Esse acordo possui, em seu Anexo I, uma lista de “partes”, ou seja, de países ou blocos de países (por exemplo, a União Europeia) desenvolvidos e comprometidos com metas de redução de emissões, os chamados “países do Anexo I”.

Induzindo uma nova percepção e novos parâmetros para a economia global

Discussões e acordos dessa natureza despertaram, ao menos entre os países mais atentos, a percepção de que a capacidade de relatar dados aderentes à realidade nacional poderia significar um diferencial competitivo. Porém, isso requer investimentos em novas tecnologias, pesquisa e infraestrutura, todos dependentes de um essencial e urgente planejamento.

Portanto, com a sua estruturação, a UNFCCC intrinsecamente também passou a fomentar o desenvolvimento de novos indicadores de sustentabilidade e competitividade para políticas domésticas e a sensibilização da população acerca da questão da mudança do clima, por meio de registros estruturados em um processo global de inventário de emissões de GEE. Com esse marco, a avaliação de riscos associada ao planejamento, a adequação da infraestrutura instalada e a gestão estratégica da informação passam a ser elementos fundamentais e trazem novos desafios, ao passo que a cooperação entre países ou regiões em redes e mercados, cada vez mais interconectados, é pressionada a se alinhar a indicadores de sustentabilidade ambiental e social. Trata-se de um processo irreversível e inerente à transformação social e econômica rumo à era pós-petróleo, que deverá privilegiar aqueles países melhor equipados, tanto do ponto de vista tecnológico quanto em sua capacidade de se organizar para definir e implementar indicadores de sustentabilidade reveladores da convergência dos padrões internacionais, nacionais e subnacionais.

Certamente, investimentos em estratégias próprias para caracterização das emissões e remoções nacionais em setores sensíveis e estratégicos da economia sempre foram prioritários para países que já tinham metas de redução de emissões estabelecidas. Tomando a União Europeia como exemplo para deixar claro esse contexto: o bloco

tem sinalizado, inclusive por meio da negociação de instrumentos comerciais, a preocupação com a chamada “fuga de carbono”, provocada pela importação de produtos cuja fabricação envolve intenso uso de carbono.

Países que exportam para a União Europeia devem estar atentos às novas diretrizes e se preparados para manter investimentos no monitoramento e quantificação da pegada de carbono de seus produtos, além de assegurar que outros aspectos e indicadores que possam conferir qualidade e valor agregado aos produtos sejam visíveis e perceptíveis ao consumidor. O conjunto dessas medidas e atenções à percepção internacional quanto aos parâmetros de “justo, saudável e ecológico” serão relevantes para a manutenção da competitividade no mercado internacional, não só em relação às exportações para a Europa, mas também para as regiões sob sua influência.

A visão europeia tentará reforçar a diferença relativa de emissões do bloco frente aos competidores internacionais, minimizando a importância de sua participação nas emissões globais de GEE (menos de 10%) e dando relevância às conquistas obtidas ao longo das últimas décadas no esforço de reduzir a quantidade absoluta de emissões, posicionando-se como líder na transição global para uma economia com zero emissões líquidas. Contudo, o bloco europeu é o quarto maior emissor de GEE do mundo, atrás apenas da China, dos Estados Unidos e da Índia (Friedrich et al., 2023), sendo o setor energético responsável por 75,7% de suas emissões.

Contribuindo para o posicionamento do Brasil

O Brasil figura na sétima posição entre os maiores emissores de GEE, segundo avaliação do World Resources Institute (Friedrich et al., 2023), com base em dados de 2019. Pelo menos, desde 2009, a Embrapa tem participado desse processo de discussão e tem assumido papel de protagonista na ge-

ração de informação e inteligência estratégica no que diz respeito ao acompanhamento dos processos que envolvem a agricultura e a ambição climática em âmbito internacional, particularmente com foco em mercados competidores. O Brasil não é um “país do Anexo I”. No entanto, as discussões e negociações realizadas após o Protocolo de Quioto, com o objetivo de construir um modelo mais transparente e eficaz, culminaram no Acordo de Paris e em sua nova regulamentação. Nesse contexto, as partes que assinaram a Convenção comprometeram-se com o esforço global de redução de emissões, estabelecendo de forma voluntária suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês). A regulamentação europeia apresenta 10 critérios para orientar as políticas e ações rumo à neutralidade climática, sendo os quatro primeiros de caráter econômico/de competitividade, o que demonstra a relevância de questões econômicas no tratamento de temas ambientais:

- Relação benefício-custo e eficiência econômica.
- Competitividade da economia da União.
- Melhor tecnologia disponível.
- Eficiência energética, acessibilidade energética e segurança do abastecimento.
- Justiça e solidariedade entre e dentro dos estados-membro.
- A necessidade de garantir a eficácia ambiental e a progressão ao longo do tempo.
- Necessidades e oportunidades de investimento.
- A necessidade de garantir uma transição justa e socialmente aceitável.
- Desenvolvimentos e esforços internacionais empreendidos para alcançar os objetivos de longo prazo do Acordo de Paris e o objetivo final da UNFCCC.
- As melhores evidências científicas disponíveis e mais recentes, incluindo os últimos relatórios do IPCC.

A competitividade de cada um dos blocos e países ao longo das próximas décadas será, contudo, um resultado dos efetivos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, atrelados à capacidade de identificar vulnerabilidades e efetivamente implementar um sistemático plano de adaptação capaz de reduzir os impactos da mudança do clima na economia, ao mesmo tempo em que planejamento e investimentos estratégicos sejam realizados para reposicionar as respectivas economias em novos modelos de desenvolvimento independentes dos combustíveis fósseis, numa era “pós-petróleo”, baseada em fontes renováveis de energia. Nesse sentido, é inegável o fato de que a União Europeia está em condição avançada de planejamento, uma vez que dispõe de estratégia e definição de prioridades estruturadas na forma do Acordo Verde Europeu (*European Green Deal*, no termo original em inglês).

Cabe aos setores relevantes da economia brasileira compreenderem a vulnerabilidade inerente à falta de planejamento e metas de longo prazo, que poderiam alavancar a competitividade, baseada em dados científicos robustos e reconhecidos internacionalmente que possam potencializar diferenciais competitivos sintonizados com as questões ambientais emergentes da sustentabilidade.

O papel do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática na estimativa de emissões

Conforme apresentou-se até aqui, as emissões de GEEs são uma consequência de toda atividade econômica desenvolvida em um país. Com base nas discussões sobre essa relação entre atividades econômicas e emissões de GEE, ocorridas nas COPs que assinaram e aderiram à UNFCCC, estabeleceu-se o primeiro compromisso acordado pelos países na Convenção, um marco crucial, conforme apresentado no art. 4º (Convenção sobre Mudança do Clima, 1992):

ARTIGO 4

OBRIGAÇÕES

1. Todas as Partes, levando em conta suas responsabilidades comuns, mas diferenciadas, e suas prioridades de desenvolvimento, objetivos e circunstâncias específicos, nacionais e regionais, devem:

a) Elaborar, atualizar periodicamente, publicar e pôr à disposição da Conferência das Partes, em conformidade com o Artigo 12, inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e das remoções por sumidouros de todos os gases de efeito Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, empregando metodologias comparáveis a serem acordadas pela Conferência das Partes;

Com base nessa decisão, delegou-se ao Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) a competência para desenvolver o conjunto de metodologias que, posteriormente, foram acordadas na COP e que hoje balizam o processo de elaboração de inventários nacionais e são a base dos Relatórios Bienais de Transparência (BTR, na sigla em inglês), no Acordo de Paris.

É importante notar que a contribuição do IPCC para o desenvolvimento da metodologia de inventário para a UNFCCC data de 1994, quando as diretrizes originais para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa foram disponibilizadas. Essas diretrizes foram revisadas em 1996, constituindo um conjunto comum e amplamente adotado de orientações metodológicas, que formam as bases para o Inventário Nacional de todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, até muito recentemente. Durante todo esse período inicial de desenvolvimento dos processos internacionais, a Embrapa esteve apoiando o Ministério da Ciência e Tecnologia no desenvolvimento do Inventário Nacional, utilizando originalmente as metodologias do IPCC de 1996 (IPCC, 1996).

Esse conjunto metodológico foi disponibilizado tanto em formato digital quanto impresso, dividido em três volumes. Algumas atualizações relevantes foram feitas após as diretrizes de 1996, mas uma grande revisão metodológica só foi publicada dez anos depois, na forma do guia metodológico de 2006 (IPCC, 2006), desta vez em cinco volumes digitais. Posteriormente, uma nova atualização foi lançada em 2019 (IPCC, 2019), que poderá ser adotada já nas novas submissões dos BTRs.

O Brasil foi o primeiro país a assinar a UNFCCC, resultado da *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento*, realizada no Rio de Janeiro, em junho de 1992, a qual foi ratificada pelo Congresso Nacional em 1994. Igualmente, foi o primeiro país a estabelecer uma Autoridade Nacional Designada para a Convenção – o então Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC). Atualmente, compete ao MCTI a estruturação das fontes de dados de atividades e de fatores de emissões utilizados para o desenvolvimento e a compilação do inventário para o ciclo corrente de atualização da Comunicação Nacional (CN) e para os BTRs, seguindo as regras válidas da UNFCCC e do Acordo de Paris.

O Brasil sempre deu importância estratégica ao compromisso de apresentar suas CNs, e já submeteu quatro delas (2004, 2010, 2016 e 2020), tendo o Inventário Nacional como anexo e quatro Relatórios Bienais de Atualização (BUR, na sigla em inglês), apresentados em 2014, 2017, 2019 e 2020, ainda na vigência das regras do Protocolo de Quioto. Em 2024, o país submeteu seu primeiro BTR, já nas regras do Acordo de Paris. Esses documentos, ainda que considerando as limitações metodológicas atuais, compilam fontes oficiais de informação e estruturam os dados disponíveis para as estimativas das emissões e remoções de GEE que caracterizam os sistemas de produção nacionais.

As estimativas de emissões e remoções de GEEs do setor agrícola baseiam-se em métodos que podem usar: a) fatores padrão do IPCC (primeira aproximação ou *Tier 1*, no jargão em inglês); b) dados sobre as

atividades emissoras de GEE no país (comumente chamados de “dados de atividades”) combinados a fatores de emissão estimados com base em fontes oficiais nacionais (*Tier 2*); ou modelos de estimativa de emissões desenvolvidos nacionalmente, que incorporam dados de atividades e fatores de emissão mais adequados às realidades dos sistemas de produção nacionais (*Tier 3*). Essa última abordagem ainda não é usada para a estimativa das emissões oficiais do setor agrícola no Brasil, porém há esforços em andamento para o desenvolvimento de modelos capazes de representar mais adequadamente a realidade dos sistemas nacionais de produção em ambiente tropical e subtropical.

Atualmente, as Diretrizes do IPCC de 2006 são o conjunto mais recente e acordado de regras para a estimativa da emissão de GEE e a elaboração de Inventários Nacionais. Elas são adotadas como padrão para a Estrutura Aprimorada de Transparência (*Enhanced Transparency Framework*, ETF, na sigla em inglês) do Acordo de Paris. A atualização de 2019 é, provavelmente, a revisão mais relevante e sensível, por complementar lacunas das diretrizes de 2006, especialmente no que se refere às emissões de metano provenientes de gases fugitivos nos setores de energia e de indústria, bem como às emissões de efluentes líquidos no setor industrial.

Além das diretrizes metodológicas, o IPCC também é responsável pelo desenvolvimento do *Inventory Software*, ferramenta que apoia os países na elaboração de inventários nacionais, e pela elaboração do Formato de Relatório Comum (*Common Report Format*, CRF). Na UNFCCC, há um secretariado responsável pela manutenção e disponibilização dos dados de GEE em uma plataforma web abrangente e dinâmica, que reúne bancos de dados e diferentes funcionalidades para consulta. Essa estrutura compõe o arcabouço de ferramentas da Convenção para entender e avaliar as emissões de GEE tanto de países do Anexo I quanto dos não pertencentes ao Anexo I.

É importante esclarecer que o Anexo I é essencialmente composto por países desenvolvidos,

enquanto o grupo dos países não Anexo I abrangem um conjunto muito mais diverso, formado pelos demais países signatários.

Ciência e Inovação para uma agricultura adaptada à mudança climática

Já se vislumbra, a partir das subseções anteriores, que a ciência agrícola — com grande predominância de instituições nas esferas públicas — teve e continuará a ter um papel central para a evolução para um modelo de desenvolvimento que permita vencer o desafio da mitigação do aquecimento global e o da adaptação aos efeitos da mudança climática que não se puder evitar.

Diplomacia científica

Como instituição nacional de pesquisa agrícola, a Embrapa tem dado grande destaque à sustentabilidade, ao enfrentamento dos efeitos da mudança climática e à redução das emissões de GEE na agricultura em documentos gerenciais, como o *Visão 2030*, e os Planos Diretores da Embrapa (PDE) VI e VII, com seus Objetivos Estratégicos (OE) (Embrapa, 2015, 2020). O PDE 2024–2030 (Embrapa, 2024), mais recente, apresenta um de seus nove OE finalísticos especificamente voltados aos Recursos Naturais e à Mudança do Clima.

Na Apresentação do documento *Visão 2030 – O Futuro da Agricultura Brasileira* (Embrapa, 2018), já consta que

As análises geradas neste documento contribuem para a tomada de decisões estratégicas da Embrapa e dos diversos agentes e atores de todos os elos das cadeias produtivas agrícolas, com vistas ao contínuo desenvolvimento sustentável do Brasil.

O documento também apresenta um capítulo integralmente dedicado à mudança do clima, cujas subseções são: Vulnerabilidade, Adaptação e Miti-

gação; Compromissos Internacionais; Fomento à Ciência e Tecnologia; e Desafios.

Nesse contexto, a Embrapa contribui para a transição em direção a um modelo de desenvolvimento mais sustentável, que pressupõe transformação social e econômica, maior equilíbrio com a vertente ambiental e avanços na qualidade de vida e saúde integral. Esse processo busca uma menor dependência ou mesmo total restrição do uso de combustíveis de origem fóssil, em favor de formas de energia renováveis e com redução ou mesmo neutralização do balanço entre emissões e remoções de GEE.

A contribuição científica é elemento basilar para a negociação nacional e internacional de acordos de colaboração e para a definição de políticas públicas e tomada de decisão para o setor agrícola nacional. Nesse contexto da geopolítica global, a Embrapa também tem contribuído de maneira muito ativa, oferecendo suporte às negociações internacionais, desde que o tema agricultura passou a ser discutido pela UNFCCC, em 2009, em Copenhague, ainda como abordagens setoriais, num item da convenção onde alguns setores foram agrupados e, posteriormente, discutidos separadamente. Essa atuação se enquadra bem no que se tem definido como Diplomacia Científica.

A diplomacia científica é uma abordagem que utiliza a ciência para resolver problemas globais, promover colaboração e dar apoio às decisões de políticas públicas. Segundo The Royal Society (2010), ela combina ciência, tecnologia e política externa para enfrentar desafios como as mudanças climáticas. Em síntese, foca no uso da ciência para fortalecer a cooperação entre instituições, países e setores, ajudando a criar políticas públicas e soluções para desafios globais.

No caso da agricultura brasileira, a Embrapa aplica a diplomacia científica para apoiar a definição de políticas públicas e a participação em acordos internacionais que permitam promover práticas agrícolas sustentáveis, reduzir os impactos do cli-

ma e apoiar decisões que equilibram o crescimento econômico, a proteção ambiental e a qualidade de vida. Na prática, isso significa usar dados e pesquisas para apoiar iniciativas que conectam cientistas, governos e comunidades para a tomada de decisão que permita desenvolver e ampliar a adoção de soluções inovadoras, como tecnologias agrícolas que emitem menos GEE ou sistemas que ajudam governo e agricultores a planejar suas safras em meio a condições climáticas instáveis. Portanto, a diplomacia científica praticada pela Embrapa tem impactos diretos na agricultura brasileira e no cenário internacional.

Dentre os diversos exemplos de apoio à definição de políticas públicas apresentados ao longo deste capítulo e de todo este livro, pode-se dispor aqui de dois casos claros dessa atuação: o sistema Agri-tempo⁵ e o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc)⁶ (Monteiro et al., 2024). Ambos contribuem para o Brasil se adaptar ao clima e planejar uma agricultura mais resiliente. Ao desenvolver ferramentas como o Agri-tempo e o Zarc, a Embrapa ajuda o Brasil a cumprir compromissos globais, como o Acordo de Paris, que busca reduzir as emissões de GEE e promover a adaptação à mudança climática. Além disso, essas iniciativas fortalecem a colaboração entre cientistas, governos e produtores, criando um modelo de agricultura mais sustentável.

A ciência desenvolvida pela Embrapa também é usada para negociar parcerias internacionais, compartilhar tecnologias e promover práticas agrícolas que respeitem o meio ambiente. Por exemplo, o Brasil pode compartilhar suas experiências com o Zarc com outros países que enfrentam desafios climáticos semelhantes, fortalecendo a cooperação global.

Apesar dos avanços, há desafios a enfrentar. A mudança climática está tornando o clima mais desafiador, exigindo que sistemas de produção e de mo-

nitoramento sejam constantemente atualizados com novas tecnologias e dados. Além disso, é preciso investir na formação de agricultores e na comunicação para que essas ferramentas cheguem a todos, especialmente aos pequenos produtores.

Diante do que se projeta para o futuro, é essencial que a Embrapa continue usando a diplomacia científica para desenvolver e garantir a adoção de soluções inovadoras, como tecnologias que reduzam ainda mais as emissões de GEE e promovam o uso de energias renováveis na agricultura. Esses esforços ajudarão o Brasil a alcançar um modelo de desenvolvimento mais equilibrado, com benefícios para a economia, o meio ambiente e a sociedade.

Estruturando a pesquisa em mudança climática e agricultura

Essa atuação, com destaque à sustentabilidade, ao enfrentamento dos efeitos da mudança climática e ao controle das emissões de GEE na agricultura, tem se apoiado nas redes de pesquisadores e na infraestrutura física e organizacional que a Embrapa construiu ao longo das últimas décadas.

A partir de 2006, com a contratação de mais de 30 pesquisadores, especificamente para a área de mudança climática e agricultura, a Embrapa implementou, em 2007, a Plataforma de Pesquisa em Mudança Climática e Agricultura (Figura 1.6). Trata-se de um esforço corporativo que permitiu viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a adaptação da agricultura aos efeitos da mudança climática e para a redução das emissões de GEE pelas atividades agrícolas. Definiram-se quatro pilares ou vertentes estruturantes: simulação de cenários futuros para as culturas agrícolas; simulação de cenários futuros para pragas, doenças e plantas espontâneas; balanço de carbono e controle de emissões de GEE nos sistemas produtivos; e adaptação dos sistemas produtivos aos impactos da mudança do clima.

Durante o período de 2009 até 2013, foram implementados seis projetos nacionais, contando com

⁵ Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/br>.

⁶ Disponível em: <https://www.embrapa.br/rede-zarc-embrapa>.

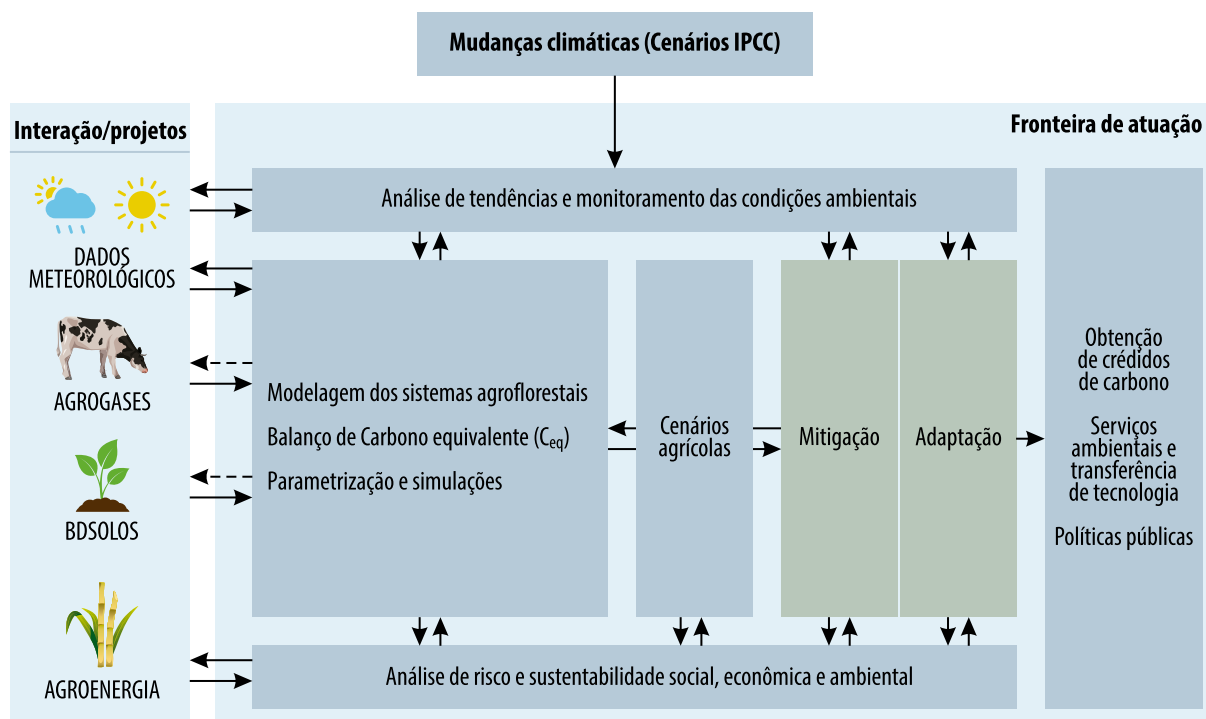


Figura 1.6. Plataforma de Mudança Climática da Embrapa: estrutura, principais elementos e interação entre eles.

redes de até mais de 100 pesquisadores cada, em todos os biomas brasileiros (Figura 1.7). Três desses projetos focaram na análise de vulnerabilidade e alternativas de adaptação: dois voltados à simulação de cenários e análise de vulnerabilidades para os cultivos (Simulação de Cenários Agrícolas Futuros – SCAF) e ocorrência de problemas fitossanitários (ClimaPest); e um terceiro, focado no tripé Agricultura-Recursos Hídricos-Mudança Climática (AgroHidro). Outros três projetos concen-

traram-se na terceira vertente, de balanço de carbono e mitigação para espécies florestais (Saltus), pecuária (Pecus) e culturas agrícolas (Fluxus).

A quarta vertente definida pela Plataforma se constituiu com outro arranjo. Em vez de um grande projeto integrador para os diversos biomas nacionais, foram desenvolvidos vários projetos específicos por cultura e foco de melhoramento genético. Nesse contexto, ainda no século passado, houve a tropicalização da soja e do trigo; e mais recentemente, o desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado, café, uva e alface adaptados às condições tropicais do Norte do país, resistentes a doenças comuns nessas regiões, ou mais tolerantes a altas temperaturas e déficits hídricos. Esses são apenas alguns exemplos de produtos comerciais adaptados a condições climáticas mais severas, desenvolvidos a partir do melhoramento genético tradicional, bem como por técnicas genômicas avançadas. Além disso, diversas técnicas adaptadoras citadas no início deste capítulo têm sido aplicadas como alternativas de adaptação



Figura 1.7. Projetos de abrangência nacional vinculados à Plataforma de Mudança Climática da Embrapa.

aos impactos da mudança do clima, seja em projetos com foco mais específico, seja em grandes redes nacionais de pesquisa.

Os estudos e resultados dessas redes nacionais de pesquisa, bem como a colaboração com pesquisadores das áreas de relações internacionais e assessoria parlamentar da Embrapa, subsidiaram uma forte ação da Plataforma no suporte à definição de políticas públicas e à participação do Brasil nas negociações internacionais sobre a agricultura e mudança do clima no âmbito da UNFCCC, lastreadas pela ciência, como preconiza a diplomacia científica.

Além do Zarc, exemplos de políticas públicas no tema da mudança climática e agricultura que contaram com esse suporte incluem a Política Nacional sobre Mudança Climática (PNMC) e o Plano Setorial para a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono e o Programa ABC, o Plano Nacional de Adaptação (PNA), no seu capítulo sobre agropecuária e respectivas metas, além da elaboração de diversas notas técnicas sobre projetos de lei relacionados ao tema. Mais recentemente, a Embrapa tem dado suporte à análise e definição de temas e legislação vinculados a outros setores, como mercado de carbono, serviços ambientais, florestas e biodiversidade, saúde única e ao Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas (PNCPD).

Uma nova figura institucional focada nos grandes desafios nacionais

A partir de 2012, foram instituídos os Portfólios de Pesquisa como instrumento institucional de apoio estratégico e tático para orientar a programação de pesquisa voltada a temas de grande interesse nacional. A Plataforma foi o embrião desse modelo e se converteu em um deles: o Portfólio sobre Mudança Climática da Embrapa (Figura 1.8), que definiu Desafios de Inovação a serem solu-

cionados por projetos de pesquisa. O objetivo expresso do Portfólio foi definido como

[... promover] 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. (Pellegrino et al., 2018, p. 17).

Com esse enfoque estratégico do Portfólio, as redes instituídas pelos projetos de âmbito nacional da plataforma continuam a executar, até hoje, de forma evolutiva, projetos que geram soluções de adaptação e mitigação da agricultura e dão suporte a políticas públicas. Muitos desses resultados serão destacados como Soluções de Inovação nos capítulos deste livro e, como apresentado a seguir, um conjunto maior pode ser consultado no portal de ativos da Embrapa, onde estão organizados segundo os principais subtemas da mudança climática e agricultura, bem como em consonância com as abordagens e prioridades da COP30, que ocorrerá no Brasil em novembro de 2025.

Soluções tecnológicas pelo clima

Sintetizando o que já se apresentou até aqui, nas últimas décadas, os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) têm consolidado a Embrapa como um agente estratégico na promoção da transição dos sistemas alimentares rumo a modelos mais sustentáveis, resilientes e inclusivos, em consonância com os desafios contemporâneos. Nessa perspectiva, a empresa e seus parceiros têm promovido o desenvolvimento de tecnologias e práticas voltadas à adaptação à mudança climática, ao controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e à conservação, manejo e restauração de agroecossistemas. Essas ações visam fomentar uma produção sustentável, saudável e socialmente inclusiva em diferentes territórios.

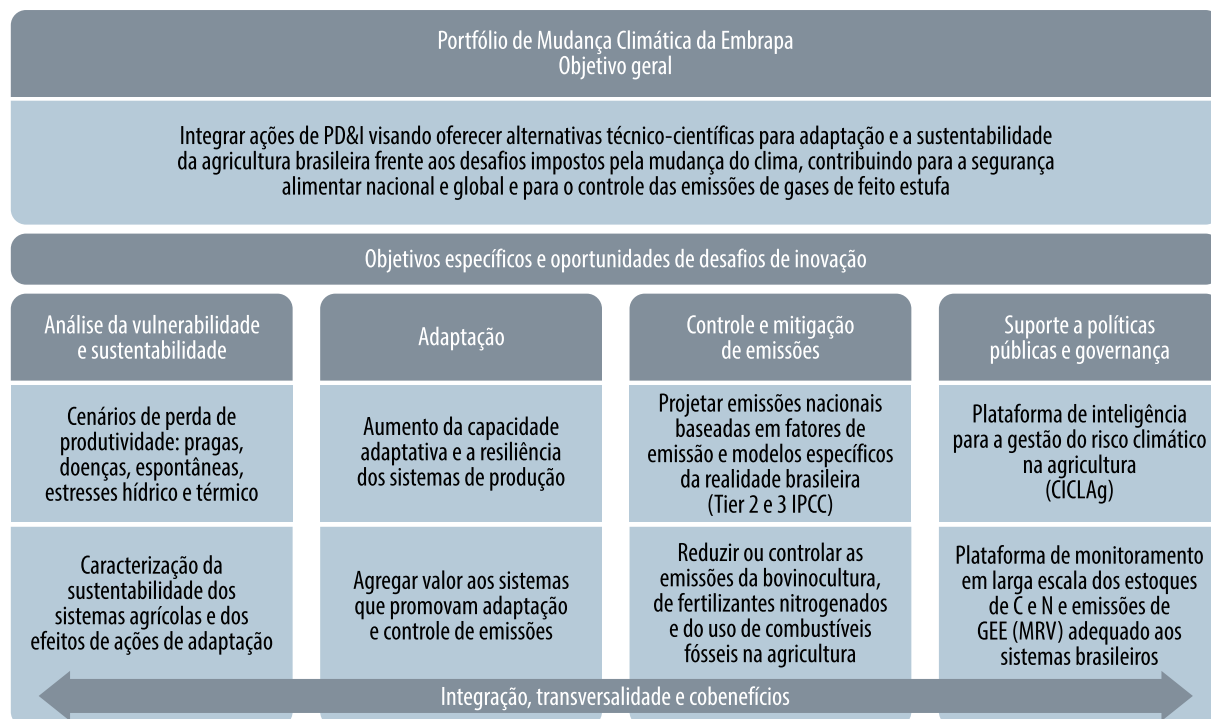


Figura 1.8. Representação do objetivo e principais vertentes e características do Portfólio de Mudança Climática da Embrapa.

Fonte: Pellegrino et al. (2018).

A abordagem sistêmica para adaptar a agropecuária aos efeitos adversos da mudança do clima, combinada com estratégias de mitigação e controle das emissões de GEE, revela-se indispensável. A adaptação se faz necessária não apenas para responder aos desafios imediatos impostos pelas alterações climáticas, mas também para antecipar impactos futuros, como modificações nos regimes de precipitação, ocorrência de eventos extremos e elevação das temperaturas. A mitigação, por sua vez, é vital para diminuir a pegada de carbono do setor agropecuário, com destaque para o manejo sustentável do solo e da água e a adoção de tecnologias agrícolas de baixa emissão, que fomentam práticas mais sustentáveis.

Com base nesse direcionamento, a Embrapa concentra seus esforços inovadores no aumento da eficiência produtiva, no desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis, na preservação de recursos genéticos, bem como na cria-

ção de bioinsumos destinados à nutrição vegetal, ao controle biológico de pragas e à adaptação a estresses abióticos, como a tolerância a seca, por exemplo. Além disso, investe na pesquisa de fontes alternativas para combustíveis renováveis, no aprimoramento de modelos e algoritmos que ampliem a previsibilidade climática — especialmente em relação a padrões de precipitação e temperatura —, e na elaboração de sistemas e práticas agrícolas que fortaleçam a resiliência climática e a conservação da biodiversidade.

Outra linha de atuação em PD&I da Embrapa envolve o avanço na quantificação das emissões e remoções de GEE associadas às práticas agropecuárias, levando em conta as especificidades dos sistemas de produção em ambientes tropicais. Nesse âmbito, destacam-se o desenvolvimento de métricas, protocolos e métodos de mensuração no nível *Tier 3* do IPCC, alinhados às exigências internacionais para o setor.

A Empresa também prioriza a promoção da inovação social, com foco na transformação dos sistemas alimentares, buscando ampliar a segurança alimentar e nutricional, fortalecer a adaptação e a resiliência dos sistemas produtivos e contribuir para a redução da pegada de carbono dos produtos agrícolas. Além disso, valoriza a agricultura familiar, a agroecologia, o desenvolvimento de tecnologias sociais e a valorização dos saberes tradicionais, fundamentais para a sustentabilidade e a inclusão social no meio rural.

Abordagens para enfrentar a emergência climática

Procurando sistematizar melhor sua contribuição para o contexto da COP30, no que se refere à mudança climática e sua relação com a agricultura, a Embrapa adotou seis Abordagens para enfrentar a emergência climática (Embrapa, 2025a), que são caminhos estratégicos e prioritários que orientam

a resposta da agropecuária à mudança do clima para enfrentar os desafios com inteligência e responsabilidade (Figura 1.9). Cada um deles orienta o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias com foco na sustentabilidade, inclusão e resiliência dos sistemas agropecuários:

Adaptação e resiliência climática: ajustes em sistemas econômicos, ecológicos e sociais para lidarem melhor com a mudança do clima, reduzindo danos potenciais e aproveitando oportunidades. Na agricultura, são inovações, práticas e ferramentas que ajudam os agricultores a enfrentarem os efeitos das mudanças climáticas, minimizando impactos negativos e garantindo a sustentabilidade da produção agrícola. Essas tecnologias visam aumentar a capacidade de adaptação dos sistemas agroalimentares e florestais às variações de temperatura e disponibilidade hídrica e, também, torná-los mais resilientes diante de fenômenos climáticos extremos, como secas e inundações severas.

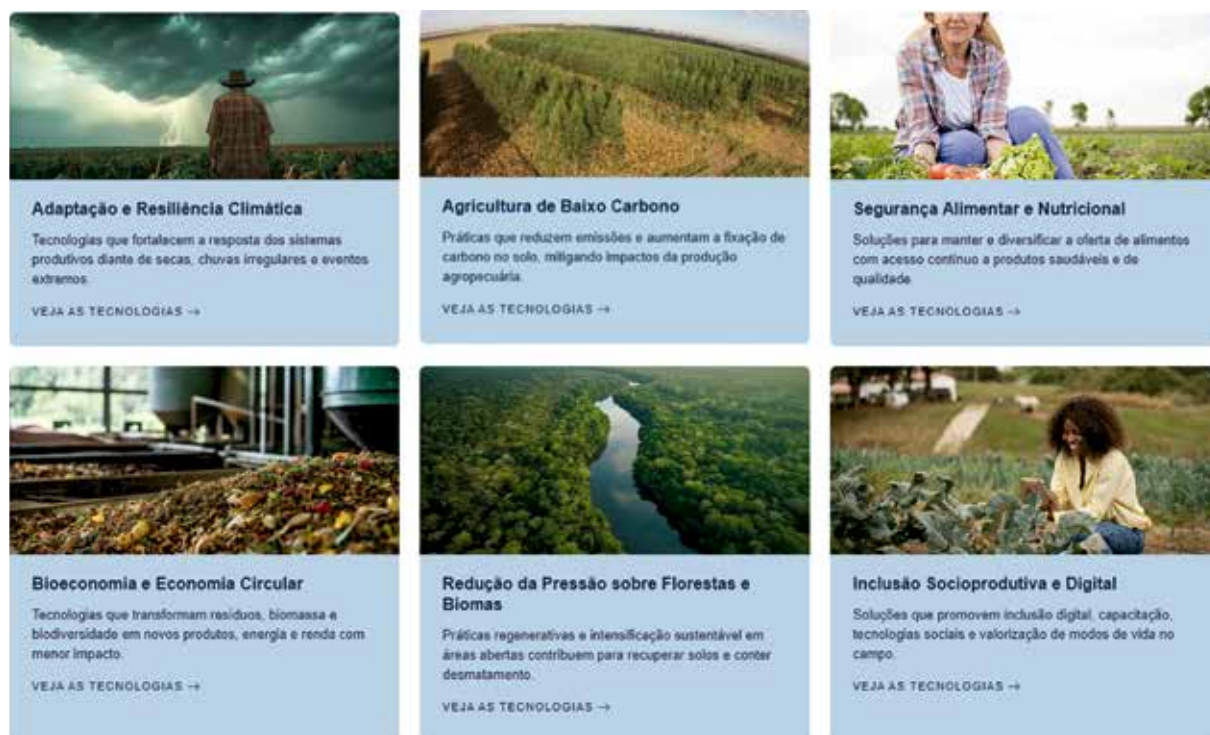


Figura 1.9. Imagem ilustrativa do portal da Embrapa onde são apresentadas as abordagens adotadas.

Fonte: Embrapa (2025a).

Agricultura de baixo carbono: Práticas, métodos e inovações que visam reduzir as emissões de GEE provenientes das atividades agrícolas, promovendo uma produção mais sustentável e com menor impacto ambiental. O objetivo é diminuir a pegada de carbono do setor agrícola, contribuindo para a adaptação dos sistemas produtivos aos efeitos da mudança climática.

Segurança alimentar e nutricional: Produtos, processos, práticas e sistemas que garantam a produção, distribuição, disponibilidade e acesso a alimentos de forma adequada para atender às demandas da população e a autossuficiência nacional para alimentos básicos, em quantidades suficientes e permanentes, com qualidade nutricional e sanitária para manter a saúde.

Bioeconomia e economia circular: Modelo econômico caracterizado por baixa emissão de carbono, eficiência no uso de recursos de origem biológica e promoção da inclusão social. Tem foco em promover crescimento econômico com geração de empregos e renda a partir de produtos de origem biológica em arranjos que também apresentem uma gestão eficiente dos recursos naturais e resultem em redução de emissões de carbono, da poluição e da geração de resíduos. A economia circular, especificamente, tem como bases a reutilização, reparação, renovação e reciclagem de materiais e produtos, a melhoria da eficiência energética e a preservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

Redução da pressão sobre florestas e biomas: Tecnologias e políticas públicas que viabilizem sócio, econômica e ambientalmente o aumento da produção agropecuária de forma sustentável, com base na premissa de que a floresta em pé tem mais valor do que derrubada. Foco em conciliar produtividade e conservação, melhorar a eficiência produtiva em áreas já utilizadas e incentivos ao plantio de florestas comerciais.

Inclusão socioprodutiva e digital: Processo amplo que visa garantir renda e participação so-

cial, considerando aspectos econômicos, sociais e culturais. Na agricultura familiar e outros grupos prioritários (jovens, mulheres, comunidades tradicionais, etc.), isso envolve soberania alimentar, sustentabilidade e valorização de saberes. Os principais componentes são acesso a recursos e conhecimento, autonomia e participação ativa. A inclusão digital é crucial para melhorar a comunicação, a produção e o compartilhamento de conhecimentos e também para proporcionar incremento na produção, além de acesso a mercados e a políticas públicas para o campo.

Contribuições em pesquisa, desenvolvimento e inovação

Além das abordagens estratégicas, a Embrapa reúne 19 temas de Contribuições em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (Embrapa, 2025b), que mostram como a ciência pode oferecer respostas concretas para o enfrentamento da mudança do clima (Figura 1.10). Elas apontam onde a ciência brasileira deve investir para fortalecer uma agropecuária resiliente e alinhada ao futuro climático. As contribuições da Embrapa conectadas pelo objetivo de transformar o presente e preparar o futuro da agropecuária estão relacionadas a:

Abordagem sistêmica na paisagem

Une diferentes áreas de conhecimento para criar novas soluções. Ela olha para os aspectos econômicos, sociais e ambientais de uma área (geralmente uma bacia hidrográfica) de forma integrada. Isso significa entender como as diferentes partes da paisagem (natureza, economia, sociedade) se conectam e planejar um manejo que vá além das propriedades individuais. O objetivo é manter os processos naturais funcionando bem, proteger a biodiversidade, garantir serviços ecossistêmicos múltiplos, produzir de forma sustentável, atrair turismo, gerar mais renda para os produtores e promover a saúde de todos. É cuidar da paisagem como um todo, pensando em todos os seus aspectos e conexões.

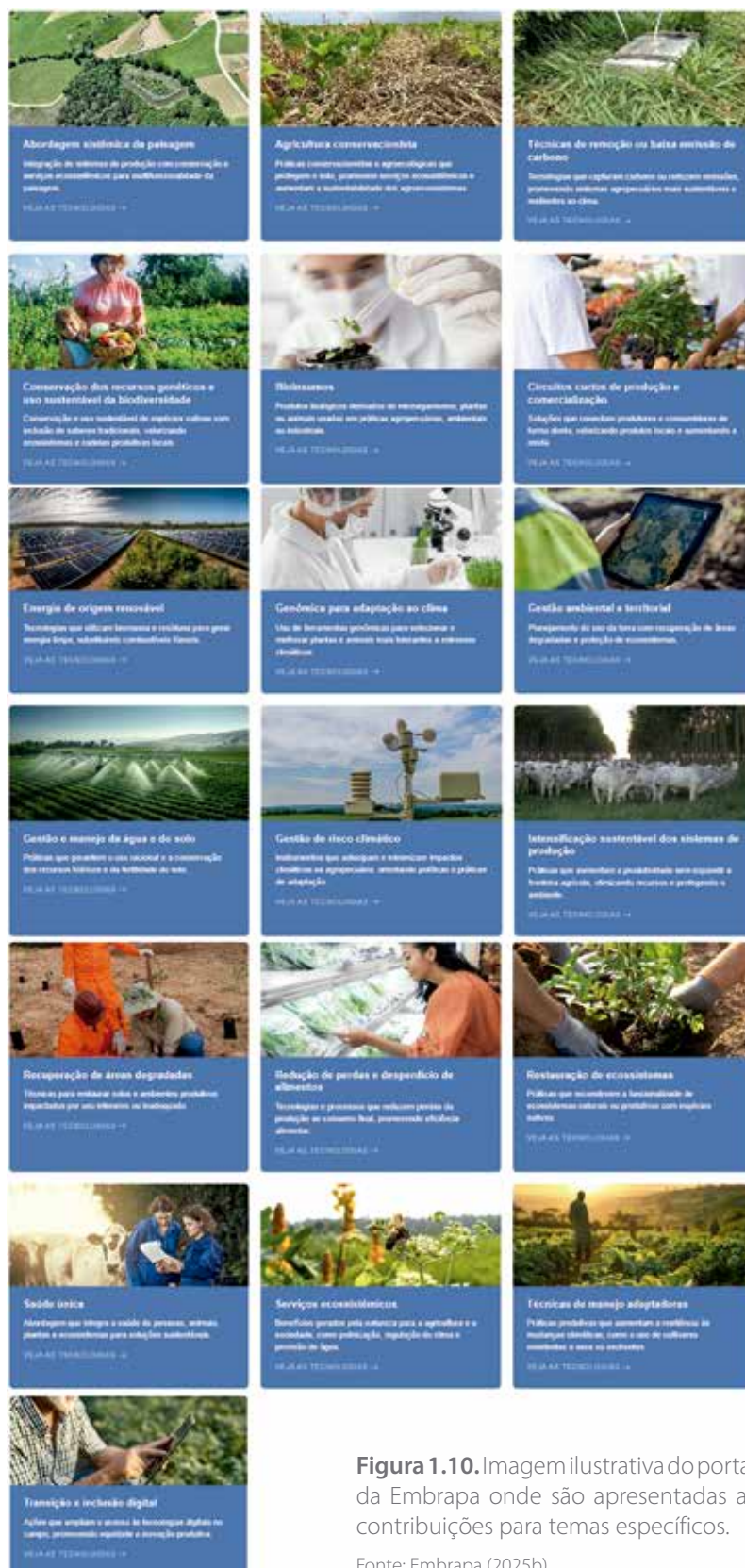


Figura 1.10. Imagem ilustrativa do portal da Embrapa onde são apresentadas as contribuições para temas específicos.

Fonte: Embrapa (2025b).

Agricultura conservacionista

Conjunto de práticas agrícolas que visa à produção sustentável, com preservação e restauração dos recursos naturais. Isso inclui técnicas como plantio direto, rotação de culturas, uso de coberturas do solo e manejo integrado de pragas e doenças, entre outras. Essas práticas têm como objetivo aumentar a produtividade a longo prazo, melhorar a saúde do solo, reduzir a erosão e conservar a água, além de considerar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. Foco no uso sustentável dos recursos naturais para garantir sua disponibilidade para as gerações futuras.

Bioinsumos

Insumo ou produto de origem animal, vegetal ou microbiana, destinado ao uso em prática, processo ou tecnologia, com aplicação agropecuária, ambiental e/ou industrial.

Circuitos curtos de produção e comercialização

Tecnologias que implicam em produção mais distribuída localmente, redução ou eliminação dos intermediários nas relações entre produtores e consumidores, assim como na diminuição dos locais de passagem interna de uma cadeia de valor, com a redução de etapas dentro de um processo, reconectando produtores e consumidores, socializando, valorizando o alimento e produtos não alimentares nas escalas local ou regional, e viabilizando melhoria na renda do agricultor e da qualidade de vida da população atendida.

Conservação dos recursos genéticos e uso sustentável da biodiversidade

A conservação dos recursos genéticos apresenta-se sob diferentes estratégias, como *ex situ* (fora dos ambientes naturais), *in situ* (em ambientes naturais) e *on farm* (conservação e manutenção, em geral, por agricultores familiares e povos e comunidades tradicionais). O uso sus-

tentável da biodiversidade está relacionado ao uso dos recursos naturais sem o comprometimento de sua diversidade genética e biológica, assegurando a manutenção das populações das espécies exploradas e as associadas, seus habitats e os mecanismos e processos ecológicos envolvidos. Possui relação direta com a inclusão socioprodutiva. Significa ainda conhecer, coletar, processar e agregar valor aos produtos advindos das espécies nativas da biodiversidade (fauna, flora e microrganismos), respeitando a capacidade de renovação dos ecossistemas, incluindo e valorizando o conhecimento tradicional nas cadeias de produção, praticando o manejo sustentável do solo, da água e respeitando o Código Florestal. Também são importantes nesse contexto o manejo integrado do fogo, transição agroecológica, uso racional da água, dentre outras práticas sustentáveis.

Energia de origem renovável

Energia obtida a partir de fontes eólicas, solares, hidráulicas, geotérmicas e de biomassas diversas, incluindo desde culturas agrícolas até resíduos urbanos. A inovação nesse campo envolvendo a agricultura está voltada à ampliação da produção de bioenergia e à implementação de tecnologias que substituem os combustíveis fósseis tradicionais. Além da geração hidroelétrica, queima direta de resíduos de biomassa e a geração de vapor, por exemplo, estão contemplados os biocombustíveis (etanol de primeira e segunda geração, biodiesel, biogás e combustíveis avançados).

Genômica para adaptação ao clima

Ferramentas e métodos de análises genéticas e de genomas, integração de dados e inteligência artificial para a compreensão e a manipulação de sistemas biológicos e identificação de genes, proteínas e rotas metabólicas com o objetivo de gerar ativos sustentáveis para a agropecuária e promover o melhoramento genético de plantas e animais para aumentar a produção, a tolerância a estresses bióticos (ameaças ao equilíbrio do ecos-

sistema apresentadas por quaisquer seres vivos) e abióticos (ameaças a equilíbrio de componentes ambientais não vivos, como solo, água, ar) e a resiliência às mudanças climáticas.

Gestão ambiental e territorial

Envolve o planejamento do uso da terra, a preservação de áreas protegidas e a recuperação de áreas degradadas, aumentando a eficiência do uso e a saúde do solo e contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola. Envolve também a análise do conjunto de informações sociais, econômicas e ambientais sobre o território, para seu adequado manejo e uso sustentável.

Gestão e manejo da água e do solo

Tecnologias que auxiliam no planejamento do uso da terra e do manejo do solo e da água, com a adoção de práticas e sistemas de produção que conservam e protegem esses recursos hídricos e edáficos, de forma a garantir a sustentabilidade ambiental, social e econômica. Inclui o fornecimento de água potável, a irrigação agrícola, o tratamento de águas residuais e a prevenção de inundações, práticas que minimizem o desperdício e a contaminação da água. Implica ainda em práticas que busquem a conservação e a manutenção da qualidade física, química e biológica do solo, promovendo sua fertilidade, evitando a degradação e melhorando a sua capacidade de suportar atividades produtivas de forma sustentável, sem comprometer os ecossistemas naturais.

Gestão de risco climático

Conjunto de ações coordenadas com o objetivo de reduzir probabilidades ou a magnitude dos impactos adversos de eventos climáticos a bens materiais, à sociedade, ao ecossistema e à atividade agropecuária. Envolve a identificação e a avaliação do risco, a prevenção, tratamento e transferência desse risco, além do monitoramento dos resultados na redução de perdas e danos, maximizando

os impactos benéficos e minimizando os efeitos negativos das respostas à mudança do clima.

Intensificação sustentável dos sistemas de produção

Estratégia para melhorar as práticas agrícolas, pecuárias e industriais e reduzir a pressão sobre áreas naturais, otimizando recursos e aumentando a produtividade sem expandir a fronteira agrícola. Compreende o uso de tecnologias, processos e produtos mais eficientes, focados em aumentar a produção por área e/ou produzir em menos tempo, com otimização/racionalização do uso dos insumos, emitindo menor quantidade de carbono equivalente por unidade de área, e/ou por um período de tempo menor.

Recuperação de áreas degradadas

Conjunto de técnicas e práticas aplicadas para restaurar áreas de terra que foram danificadas ou perdidas em sua capacidade produtiva devido a atividades agrícolas, pecuárias e de mineração. Essa degradação pode ser causada por diversos fatores, como erosão do solo, perda de matéria orgânica, compactação, salinização, contaminação por agrotóxicos e desmatamento.

Redução de perdas e desperdício de alimentos

Tecnologias e processos que visam minimizar perdas em todas as etapas da cadeia que vai desde a produção até o consumo final. Isso inclui a adoção de boas práticas agrícolas, melhorias no manuseio pós-colheita, armazenamento adequado, processamento eficiente, infraestrutura e logística adequadas, distribuição eficaz e conscientização sobre o desperdício.

Restauração de ecossistemas

Sistemas, processos ou práticas de recuperação de ecossistemas compostos por espécies nativas, em consórcio ou não com espécies exóticas,

que visem restabelecer ecossistemas naturais ou o uso econômico sustentável dos recursos naturais de imóvel rural. São exemplos os sistemas agroflorestais, os sistemas silvipastoris e a silvicultura de espécies nativas.

Saúde única

Abordagem integrada e unificadora que visa equilibrar e otimizar de forma sustentável a saúde de humanos, animais, plantas e ecossistemas. Reconhece que a saúde do ser humano, de animais domésticos e selvagens, plantas e ambiente e todos os ecossistemas estão intimamente ligados e são interdependentes.

Serviços ecossistêmicos

Benefícios que os ecossistemas naturais fornecem à humanidade, que são indispensáveis à sua sobrevivência e essenciais para o desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental. No contexto agrícola, esses serviços desempenham um papel crucial na sustentabilidade dos agroecossistemas, proporcionando suporte à produção sustentável, regulação no uso de recursos e preservação ambiental. São exemplos, serviços de suporte (manutenção da biodiversidade, formação do solo etc.), serviços de provisão (alimentos, recursos genéticos etc.), serviços de regulação (da qualidade do ar, do clima etc.) e serviços culturais (valores estéticos, turismo etc.).

Técnicas de manejo adaptadoras

Ferramentas, métodos e práticas agropecuárias mais eficientes que permitem que os sistemas produtivos suportem eventos climáticos extremos com menor perda, mantendo ou mesmo aumentando sua produtividade. Abarcam um amplo leque de opções de manejo de sistemas produtivos cujo foco é em aumentar sua adaptação e resiliência aos efeitos da mudança climática. São exemplos: conservação da água e do solo, manutenção da cobertura do solo com matéria orgânica viva ou morta, rotação de culturas, uso eficiente e/ou

reúso da água, aumento da capacidade de infiltração do solo, diversificação da produção, cultivos protegidos e/ou sombreados, desenvolvimento e adoção de variedades e raças mais resistentes a ameaças biológicas ou do ambiente, entre outras.

Técnicas de remoção ou baixa emissão de carbono

As tecnologias de remoção de carbono do ambiente capturam e armazenam carbono da atmosfera, contrabalançando as emissões dos sistemas agropecuários, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. As tecnologias para baixa emissão de carbono visam produzir alimentos, fibras e energia minimizando a emissão líquida de gases de efeito estufa dos sistemas agrícolas.

Transição e inclusão digital

No contexto da agropecuária, a transição digital refere-se à incorporação de tecnologias digitais para transformar a produção agrícola, tornando-a mais eficiente, sustentável e competitiva. Para que essa transformação seja efetiva, é fundamental garantir a inclusão digital, democratizando o acesso dos produtores rurais a inovações. Esse processo exige uma abordagem ampla, que englobe infraestrutura, como a expansão da conectividade no campo; capacitação, por meio de treinamentos para o uso de tecnologias; soluções acessíveis, como aplicativos simplificados; e políticas públicas que reduzam desigualdades e promovam a digitalização do setor.

Soluções para todos os biomas brasileiros

Em cada bioma, tecnologias adaptadas à realidade local ajudam a tornar a produção agropecuária mais eficiente, resiliente e integrada à conservação ambiental. A riqueza das soluções desenvolvidas pela Embrapa reflete a diversidade do próprio Brasil (Figura 1.11). Em um país de dimensões continentais, com diferentes biomas, climas, solos,

Um olhar para o futuro

O contexto atual e um olhar para o futuro — onde se projeta a necessidade de produzir sob condições de mudança climática gradativamente mais severas e com maior frequência de eventos extremos, reduzindo a pressão sobre os biomas naturais que poderão amenizar os impactos sobre a própria agricultura ao mesmo tempo em que se precisa garantir a soberania alimentar e a segurança alimentar e nutricional — trazem desafios relevantes no que se refere a:

- **Continuar** aumentando a produtividade das culturas agrícolas.
- **Manter** a competitividade das cadeias produtivas.
- **Conhecer, gerir e reduzir** os riscos de produção, sobretudo o climático.
- **Promover** a resiliência e a adaptação dos sistemas de produção tropicais e nacionais aos efeitos da mudança climática.
- **Promover** a sustentabilidade dos sistemas de produção nas suas vertentes social, econômica, ambiental e institucional.
- **Contribuir** para o aumento da saudabilidade⁷ e para saúde única ou integral.
- **Promover** avanços tecnológicos rumo à independência de insumos importados e à produção de alimentos em quantidade e qualidade suficientes, em busca da soberania alimentar do país.

⁷ O conceito de saudabilidade se refere à qualidade de ser saudável ou benéfico para a saúde, ou a práticas que melhoram ou mantêm a saúde e a qualidade de vida. Está relacionada também ao conceito de saúde única ou integral, que busca promover a conexão entre a saúde animal, inclusive a humana, a vegetal e dos ecossistemas, ou seja, busca promover a saúde ambiental como um todo, em que se interconectam e se inter-relacionam os sistemas específicos de saúde dos elementos do sistema ambiental.

- **Contribuir** para o fornecimento de bioenergia, fibras e outros bioinsumos para processos de produção não alimentares e industriais.
- **Garantir** a inclusão socioprodutiva e digital na agricultura.

A despeito de toda a contribuição já oferecida pela Embrapa e parceiros, esses desafios se desdobram em oportunidades e ainda há muito a se desenvolver para promover a adaptação à mudança climática e a redução do aquecimento global. Há oportunidades para se avançar nos diversos temas e abordagens apresentados no item anterior, podendo se destacar, de forma não exaustiva, alguns tópicos específicos, como:

- Práticas conservacionistas.
- Manejo do solo e da água.
- Reservação, uso eficiente da água e da irrigação, reúso da água.
- Diversificação.
- Rotação de culturas.
- Cultivos protegidos, sombreados.
- Gestão de riscos de produção.
- Agricultura urbana e periurbana.
- Bioeconomia e economia circular.
- Redução de desmatamento e REDD+ (sigla para redução de emissões por desmatamento e degradação florestal).
- Restauração de ecossistemas.
- Biodiversidade, microbiomas e bioinsumos.
- Serviços ambientais ou ecossistêmicos.
- Conservação dos recursos naturais no agroecossistema.
- Intensificação sustentável da agricultura e agricultura regenerativa.
- Aprimoramento genético de cultivares e genômica avançada.

- Agrofloresta e sistemas integrados.
- Adaptação baseada nas comunidades e seus saberes.
- Produção de alimentos de forma mais distribuída e local, encurtando cadeias.
- Inclusão socioproductiva.
- Infraestrutura logística, armazenamento e estoques reguladores.
- Planejamento do espaço urbano e rural.
- Prontidão (*preparedness*) e sistemas de alerta.

Nova plataforma de pesquisa: estrutura, vertentes e enfoques

Para o planejamento desse avanço num futuro de médio e longo prazo, além da figura programática para a gestão da programação de pesquisa, o novo Portfólio Clima, Recursos Naturais e Transformação Ecológica (Portfólio EcoClima), a Embrapa lançou em 2024 a Iniciativa Integra Carbono Embrapa. Ela é composta por:

- Comitê Diretivo, focado nas questões de governança e estratégia corporativa, recursos e interação institucional.
- Comitê Permanente da Plataforma sobre Dinâmica de Carbono, Gases de Efeito Estufa e Adaptação na Agricultura (Plataforma CarbGEEAAg), que visa definir o planejamento das ações de pesquisa de forma mais integrada corporativamente, envolvendo suas redes de pesquisa no tema, reduzindo a pulverização e duplicidade de esforços, com um enfoque estruturante e de longo prazo, que permita o desenvolvimento de soluções integradas e completas de maior envergadura e impacto, num ambiente de colaboração e alianças interinstitucionais.
- Subcomitês temáticos, que têm foco no planejamento e implementação de ações corporativas com enfoques específicos.

- Redes de pesquisa envolvidas em projetos nos temas relacionados à adaptação e mitigação na agricultura, de acordo com as prioridades definidas conjuntamente aos Comitês e Subcomitês da Plataforma.

A Figura 1.13 representa a Iniciativa Integra Carbono Embrapa, o relacionamento entre seus comitês, a estrutura hierárquica da plataforma, e detalha os subcomitês e seus enfoques.

Sempre lastreada pelas suas redes de pesquisa, de comunicação e transferência de tecnologias e com um horizonte de longo prazo, a Plataforma CarbGEEAAg (Figura 1.13) possui quatro vertentes prioritárias para a sua governança voltadas à:

- Atualização de sua programação de pesquisa.
- Gestão da informação e conhecimento corporativo por meio de plataforma computacional no tema.
- Gestão da estrutura e de protocolos experimentais e analíticos para experimentos de longa duração.
- Desenvolvimento de métodos e técnicas de quantificação em diferentes escalas e propósitos.

Com essa concepção, a Embrapa planeja gerar soluções mais integradas e de impacto com os seguintes enfoques prioritizados:

- Monitoramento de risco, adaptação e sustentabilidade da agricultura nacional.
- Gestão da informação: bases de dados, funcionalidades e métricas sobre o balanço de carbono em sistemas agrícolas.
- Técnicas e instrumental acessíveis e escaláveis para monitoramento de dados de campo relativos a carbono e gases de efeito estufa.
- Balanço de carbono dos principais sistemas agrícolas nacionais, protocolos e representações.

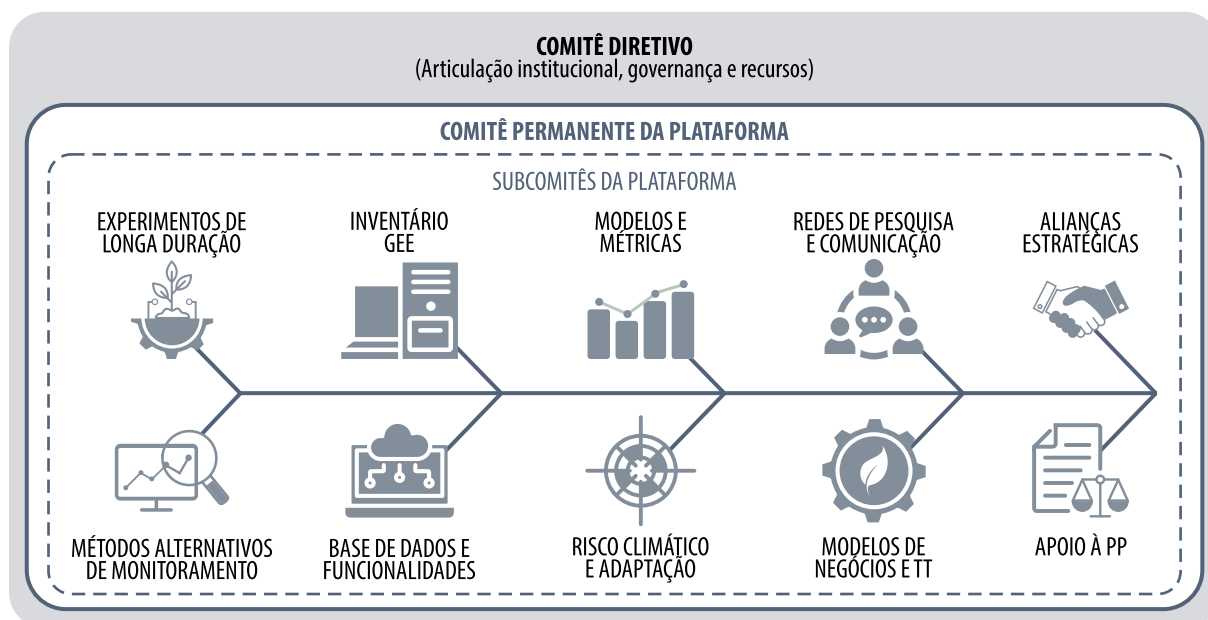


Figura 1.13. Relacionamento entre o Comitê Diretivo, o Comitê Permanente e os Subcomitês da Plataforma da Embrapa sobre Dinâmica de Carbono, Gases de Efeito Estufa e Adaptação na Agricultura (Plataforma CarbGEEAa), na lógica da Iniciativa Integra Carbono Embrapa. Ao lado, em quatro níveis, a estrutura hierárquica da governança da Iniciativa Integra Carbono Embrapa.



- Contabilidade de carbono e avaliação de ciclo de vida de produtos agropecuários brasileiros.
- Monitoramento e inventário agrícola no Acordo de Paris, desafios no médio e longo prazo.

Esses enfoques priorizados correspondem aos temas específicos analisados com mais detalhe nos capítulos deste livro, que sempre apresentam em sua estrutura uma introdução e descrevem o panorama atual dos seus respectivos temas. Apresentam ainda as Soluções de Inovação já oferecidas pela Embrapa e parceiros e as perspectivas futuras específicas para cada um deles.

A implementação de ações e de geração de resultados impactantes, partindo das soluções já desenvolvidas e disponibilizadas e apresentando o olhar para o futuro nesses respectivos enfoques ou temas, baseia-se numa lógica de evolução contínua e acumulativa da Plataforma CarbGEEAa, porém sempre com uma visão de entregas frequentes ao longo dessa evolução e que atendam a demandas específicas do setor agrícola. Na Figura 1.14 observa-se que uma gradativa evolução da plataforma ampliando e integrando conjuntos de bases de dados e funcionalidades (indicadores, métodos, modelos...) que permitam a geração de entregáveis que atendam a demandas da sociedade, fortalecendo e garantindo a sustentabilidade do processo e sua estruturação evolutiva ao longo dos anos.

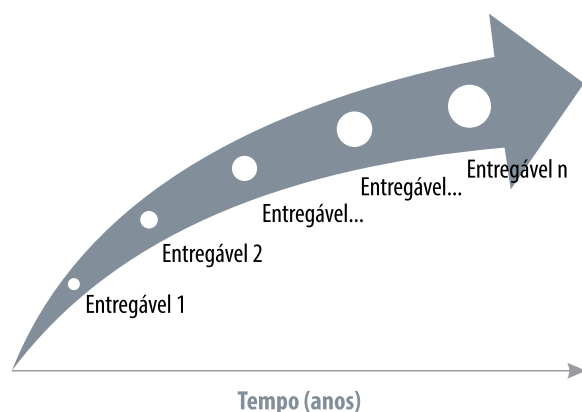


Figura 1.14. Representação da lógica evolutiva e integradora da Plataforma CarGEEAAg com a geração de entregáveis ao longo do tempo.

Com essa visão de futuro de médio e longo prazo, prevê-se uma abordagem corporativa mais integradora de esforços, estruturante, de longo prazo e que traga mais eficiência e impacto por meio de soluções inovadoras mais integradas e consistentes diante dos grandes desafios no tema da mudança climática e agricultura, apresentados ao longo deste capítulo.

A síntese de tudo

Caso se quisesse sintetizar em uma só frase a principal mensagem que este capítulo pretende passar — talvez este livro como um todo — seria algo como: o modelo de desenvolvimento, baseado em fontes fósseis de energia, provocou a mudança climática e a humanidade precisa urgentemente de alternativas baseadas em ciência para adotar um modelo sustentável — inclusive de agricultura — que permita reverter esse processo e que ela esteja adaptada aos cenários atuais e futuros que já se vislumbram como inevitáveis, garantindo a segurança alimentar, hídrica, energética e a saúde integral do planeta.

Sim, uma frase longa, provavelmente incompleta, para uma questão bastante complexa. Mas ela pode sintetizar a linha lógica que se traçou ao longo deste capítulo, abordando a discussão sobre: a fonte de energia natural que sustentou a vida na terra

ao longo das eras geológicas; como a descoberta humana da energia fóssil e o modelo de desenvolvimento de nossa sociedade global alterou esse balanço provocando a mudança do clima; como a agricultura e a segurança alimentar são afetadas por essa mudança; quais os nexos entre a agricultura e os demais setores afetados; como se dá a negociação internacional de acordos e de regras de estimativas comparáveis para o monitoramento do problema e como são internalizados pelos países; e, por fim, quais as soluções científicas já disponíveis e quais ainda se precisam encontrar para garantir a sustentabilidade e a saúde integral do planeta.

É preciso avançar como uma sociedade que produz conhecimento e que se apropria dele com sabedoria para promover a transição para um modelo de desenvolvimento em que haja real equilíbrio entre as vertentes econômica, social e ambiental, em que os recursos financeiros não suplantem em importância os recursos naturais ou os humanos e sociais. Sabedoria para resolver com responsabilidade e sinceridade os problemas que afligem a humanidade. Claro que ainda há muito a se fazer, mas em sendo capaz de dar maior adoção às soluções das quais se dispõe, já se dariam passos significativos na redução do problema, tanto no que se refere à adaptação quanto à mitigação.

Como reforça este capítulo, soluções há. Só resta algo que se pode sintetizar em uma única palavra: agir!

Referências

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Relatório do inventário nacional das emissões antrópicas por fontes e das remoções por sumidouros de gases de efeito estufa do Brasil: primeiro relatório bienal de transparência à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. Brasília, DF, 2024. 640 p.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Brasil 2040:** resumo executivo. Brasília, DF, 2015. 58 p. Disponível em: [https://www.agroicone.com.br/\\$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf](https://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf). Acesso em: 27 jun. 2025.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do agronegócio brasileiro**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 27 jun. 2025.

CONVENÇÃO SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, 1992, Nova York. [Brasília, DF]: Ministério da Ciência e Tecnologia, 1992. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/08/convencaomudancadoclima.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

DECONTO, J. G. (coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. [Brasília, DF]: Embrapa, 2008. 82 p.

EMBRAPA. **Jornada pelo clima**: vitrine de tecnologias pelo clima: ciência e agricultura são partes da resposta à mudança climática. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cop30/tecnologias/abordagens>. Acesso em: 3 set. 2025a.

EMBRAPA. **Jornada pelo clima**: vitrine de tecnologias pelo clima: como a Embrapa enfrenta a mudança do clima. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cop30/tecnologias/contribuicoes>. Acesso em: 3 set. 2025b.

EMBRAPA. **Jornada pelo clima**: vitrine de tecnologias pelo clima: tecnologias para todos os biomas brasileiros. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cop30/tecnologias/biomas>. Acesso em: 3 set. 2025c.

EMBRAPA. **Plano diretor da Embrapa**: 2024-2030. Brasília, DF, 2024. 45 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1163372/1/PDE-2024-2030.pdf>. Acesso em: 3 set. 2025.

EMBRAPA. **VI Plano diretor da Embrapa**: 2014-2034. Brasília, DF, 2015. 24 p.

EMBRAPA. **VII Plano diretor da Embrapa**: 2020-2030. Brasília, DF, 2020.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018. 212 p.

FRIEDRICH, J.; GE, M.; PICKENS, A.; VIGNA, L. **This interactive chart shows changes in the world's top 10 emitters**. Washington, DC: World Resources Institute, 2023. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>. Acesso em: 1º jul. 2025.

GE, M.; FRIEDRICH, J.; VIGNA, L. **Where do emissions come from?** 4 charts explain greenhouse gas emissions by sector. Washington, DC: World Resources Institute, 2024. Disponível

em: <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>. Acesso em: 1º jul. 2025.

GLOBAL CLIMATE HIGHLIGHTS. **The 2024 annual climate summary**. 17 jan. 2025. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/GCH-2024/GCH2024-PDF-1.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva, 2006.

IPCC. **2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Genebra, 2019.

IPCC. **Climate change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2014. 151 p.

IPCC. **Climate change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2023. 184 p. DOI: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647).

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva, 1996.

MONTEIRO, J. E. B. A.; BENDER, F.; BLIKSTAD, N. M. D.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; FARIAS, J. R. B.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, P. M.; EVANGELISTA, B. A.; CUADRA, S. V.; ANDRADE, C. L. T. A.; FLUMIGNAN, D. L.; BRAGA, M.; SILVA, F. A. M.; OLIVEIRA, A. F.; MOURA, M. S. B.; VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G.; CUNHA, G. R. **Gestão de riscos climáticos na agricultura**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2024. 67 p. (Embrapa Agricultura Digital. Documentos, 192). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1172189>. Acesso em: 11 jul. 2025.

PELLEGRINO, G. Q.; MATSUURA, M. I. S. F.; NASCIMENTO, A. F.; LIMA, C. E. P.; SANTI, A.; ZANATTA, J. A.; MADARI, B. E.; ZACHARIAS, A. O.; GUARDA, V. D. A. **Contexto de atuação do portfólio de mudanças climáticas da Embrapa**: oportunidades e desafios de inovação. [Brasília, DF: Embrapa, 2018]. 31 p. Disponível em: <file:///C:/Users/m335688/Downloads/Estado%20da%20arte%20e%20an%C3%A1lise%20t%C3%A9cnica%20-%20Portf%C3%B3lio%20MudClim.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

THE ROYAL SOCIETY. **Science and diplomacy**. London, 2010.