

Eduardo Delgado Assad¹; Susian Christian Martins²

¹Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária; ²Coordenadora Técnica da Pangea Capital

1 - Introdução

O Brasil participa do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima - IPCC, desde 1988, ou seja, desde a sua primeira versão. Várias discussões têm sido feitas desde então sobre o assunto, tanto no nível científico como político. Logo no início a Universidade de São Paulo - USP, promoveu um encontro já em 1988, para discutir o assunto, que naquela época não estava muito claro, para diversos cientistas brasileiros. Defendiam-se então duas teses, uma de que a terra estava aquecendo, fortemente apoiada por grupos americanos e europeus, e outra de que estava esfriando, neste caso apoiada por grupos japoneses. Algumas instituições brasileiras começaram então a estudar mais profundamente o assunto, e dois grupos foram fortes protagonistas nesta ação, a saber, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP.

No ano de 1990 a Assembleia Geral das Nações Unidas estabeleceu o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima - CIN/UNFCCC com o objetivo de preparar a redação de um instrumento jurídico multilateral específico para esse tema. Reuniões de negociação ocorreram entre 1991 e 1992 tendo sido finalizadas em 9 de maio de 1992 com a adoção da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC, na Sede das Nações Unidas na cidade de Nova York. Este instrumento foi finalmente firmado na cidade do Rio de Janeiro em junho de 1992 durante a Cúpula da Terra.

Após a Cúpula da Terra, a Presidência da República, por meio do Decreto nº 1160 de 21 de junho de 1994, constitui a Comissão Interministerial de Desenvolvimento Sustentável – CIDES.

A CIDES estabeleceu as bases sobre as quais a política ambiental brasileira passou a ser conduzida após a reunião da Cúpula da Terra em 1992. Coube ao Ministério das Relações Exteriores - MRE, a coordenação e definição das posições brasileiras no âmbito das negociações internacionais, ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, a coordenação nacional dos compromissos resultantes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e

ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, a coordenação da Convenção sobre Diversidade Biológica e posteriormente também a Convenção sobre Desertificação.

Em 7 de julho de 1999, um Decreto Presidencial estabeleceu a Comissão Interministerial de Mudanças Globais do Clima – CIMGC, com a finalidade de articular as ações de governo decorrentes da Convenção Quadro da Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seus instrumentos subsidiários de que o Brasil seja parte.

Havendo então a necessidade de participar mais ativamente, e oficialmente das discussões mundiais, que iniciavam também os seus inventários de gases de efeito estufa, o MCTI, criou a Coordenação Geral de Mudanças Globais do Clima, que vem atuando fortemente nos assuntos referentes aos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL, inventário nacional de gases de efeito estufa, definição de políticas de mitigação e adaptação, dentre outras ações.

Uma ação governamental relevante vem do Ministério do Meio Ambiente - MMA. No seu organograma, existe uma figura chamada de Órgãos específicos singulares, onde se encontra a Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. A Secretaria é a responsável pela definição de estratégias e a proposição de políticas referentes à mitigação e à adaptação às mudanças do clima; e pela coordenação do Grupo Executivo do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - GEx, encarregado da elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Nos últimos 5 anos coordenou diversos estudos sobre o tema onde destacam-se: Plano Nacional Mudança do Clima, Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade, Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI, além de vários outros temas que abordam erosão costeira, vulnerabilidade ambiental, impactos das mudanças climáticas dentre outros. A sua extinção em 2019 representa um retrocesso nas ações positivas descritas até aqui para a implantação de uma economia de baixo carbono no país.

Outro importante papel do GEx foi de acompanhar a elaboração dos planos setoriais estabelecido pela lei das Mudanças Climáticas, sendo um dos mais importantes o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal - PPCDAM, trata da redução e monitoramento do desmatamento da Amazônia, hoje considerado uma política de sucesso, pois permitiu que o desmatamento saísse de 25.000 km² em 2015, para próximo de 7.000 km² em 2019. No entanto, vale ressaltar a alta nas taxas de desmatamento observadas para os anos entre 2018 e 2020 no bioma Amazônia. Outra política de sucesso foi a participação efetiva do MMA e do Fundo Clima na efetivação do Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, que atualmente conta com mais de 2 milhões de hectares implantados com os sistemas integrados.

Além dos planos setoriais, o governo brasileiro também considerou a adaptação como um elemento fundamental no esforço global para enfrentar as mudanças climáticas e seus efeitos. Desde 2012 encontrava-se em elaboração o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - PNA, liderado pelo Ministério do Meio Ambiente, estabelecido pela Portaria nº 150 de 10 de maio de 2016, publicada no Diário Oficial da União de 11 de maio de 2016. O PNA conta com diretrizes de ações de adaptação para diversas áreas, com a inclusão de capítulos específicos com estratégias para 11 setores, incluindo Agricultura e Biodiversidade & Ecossistema. Essas estratégias delinham as principais vulnerabilidades e déficits de gestão de cada setor, apresentando diretrizes para implementação de medidas adaptativas que visam o incremento da resiliência climática.

O terceiro pilar de ações governamentais é de responsabilidade da Casa Civil da Presidência da República, que coordena o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM.

Em novembro de 2007, foi então promulgado o Decreto Presidencial nº 6.263 de 2007, pelo qual o governo criou o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, com a função de elaborar a Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima. O CIM é coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, sendo composto por dezessete órgãos federais e o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas - FBMC.

A responsabilidade pela elaboração, implementação, monitoramento e avaliação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima ficou a cargo do Grupo Executivo sobre Mudança do Clima - GEx, no âmbito do CIM, que é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente. Como resultado do trabalho do GEx, sendo posteriormente referendado pelo CIM, encaminhou-se ao Poder Legislativo no dia 05 de junho de 2008 - Dia Internacional do Meio Ambiente – proposta da Política Nacional sobre Mudança do Clima, através do Projeto de Lei nº 3535/2008.

O Projeto de Lei nº 3535/2008, que propõe a Política Nacional sobre Mudança do Clima e fixa seus objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos, menciona que a mesma norteará a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, dos planos estaduais, bem como de outros planos, programas, projetos e ações no Brasil relacionados, direta ou indiretamente, à mudança do clima.

Dando continuidade as ações regulatórias, foram criadas a Lei nº 12.114 de 9 de dezembro de 2009 – Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), Lei nº 12.187 – Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Decreto nº 7.343 de 26 de outubro de 2010 – Regulamenta o FNMC e Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010 – Regulamenta a PNMC. Com essas ações, estava criado todo arcabouço legal para as ações de enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil, sendo que imediatamente após toda essa regulamentação partiu-se para a definição das políticas de mitigação e redução de emissões e mais recentemente o estabelecimento das políticas de adaptação às mudanças do clima

Duas outras importantes ações foram iniciadas pelo governo federal, uma no âmbito do MCTI, que foi a criação da Rede Clima, que é uma rede de pesquisa, que atua em 12 temas, a saber: energias renováveis, agricultura, saúde, biodiversidade e ecossistemas, recursos hídricos, desenvolvimento regional, cidades, modelagem, economia das mudanças climáticas, dimensões humanas, comunicação e zonas costeiras.

A segunda ação governamental foi fruto de uma ação conjunta do MCTI e MMA, que propiciou a criação do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC. No Painel, pesquisadores de instituições públicas e privadas brasileiras foram incentivados a organizar e ampliar a produção científica sobre os impactos das mudanças do clima no território nacional. Além de analisar a produção científica, técnica e socioeconômica sobre mudanças climáticas em todos os seus aspectos, o Painel teve a tarefa de colocar esse conhecimento, organizado em forma de relatórios, à disposição da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas - UNFCCC, dos governos e de todas as instituições e pessoas interessadas no assunto.

O Plano Nacional de Mudança do Clima é então na verdade, o resultado da construção de todas essas ações, que começaram em 1988. Em termos globais, a política interna sobre mudanças do clima no Brasil é boa, apesar do esvaziamento deste e de outros temas ambientais na nova gestão do Governo Federal a partir de 2019, podendo num curto prazo responder as questões relevantes sobre o assunto.

2 - Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC do Brasil ao Acordo de Paris

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima incentiva o desenvolvimento das ações colaborativas ao esforço mundial de combate ao problema e criar as condições internas para o enfrentamento de suas consequências. O aquecimento do planeta pela interferência humana, apesar de incerto quanto à sua magnitude, tornou-se um fato aceito pela comunidade científica. Para isto contribuiu o Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática - IPCC, publicado em 2007, e mais recentemente o relatório conhecido como AR5, em 2014.

A mudança do clima é o resultado de um processo de acúmulo de Gases de Efeito Estufa na atmosfera - GEE, que está em curso desde a Revolução Industrial. Os países apresentam diferentes responsabilidades históricas pelo fenômeno, segundo os volumes de suas emissões antrópicas. Isto contribui para a definição, hoje, *de responsabilidades comuns, porém diferenciadas*, que norteiam, por um lado, as obrigações de países desenvolvidos e, por outro, de países em desenvolvimento no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Cabe ao Brasil harmonizar suas ações nesse campo com os processos de crescimento socioeconômico, no marco do desenvolvimento sustentável. Quais as reais possibilidades socioeconômicas das nações individualmente e qual sua

disposição para enfrentar as causas e consequências do problema, são questões que se impõem nos nossos dias. Cada país deve tentar equacionar suas respostas e organizar suas ações.

Mas, o que pretende o Brasil para o futuro próximo? São inúmeras as respostas e as possibilidades.

A mudança do clima é uma questão estratégica para o presente e o futuro do desenvolvimento nacional. Envolve-se aqui não só uma questão de escolhas produtivas e tecnológicas, mas também a preservação e, sempre que possível, o aumento da competitividade da economia e dos produtos brasileiros em um mundo globalizado. As escolhas são feitas à medida que a sociedade reconhece o problema, compreende a dinâmica das múltiplas forças que o provocam, defini-se como parte da solução e se vê como beneficiária das decisões tomadas. Pode-se assegurar, portanto, que a premissa dos esforços do Brasil é o seu compromisso em reduzir a desigualdade social e a aumentar sua renda buscando uma dinâmica econômica cuja trajetória de emissões não repita o modelo e os padrões dos países que já se industrializaram.

Duas são as vertentes principais que se apresentam: a difícil tarefa de equacionar a questão das mudanças do uso da terra com suas implicações de grande magnitude nas emissões brasileiras de gases de efeito estufa e a instigante tarefa de aumentar continuamente a eficiência no uso dos recursos naturais com os quais o País é aquinhoado. O enfrentamento destes desafios será calcado em esforços coordenados, concatenados, contínuos e sinérgicos, para os quais o Plano Nacional sobre Mudança do Clima foi concebido.

O PNMC define ações e medidas que visem à mitigação, bem como à adaptação à mudança do clima, sendo os seguintes os seus objetivos específicos:

I - Fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores produtivos na busca constante do alcance das melhores práticas.

A proposta é de aumentar os esforços em fomentar um nível de desempenho do setor produtivo, pautado nas melhores práticas em cada um dos setores específicos, sendo uma forma de se buscar reduzir o conteúdo de carbono do produto interno bruto brasileiro, aumentar a competitividade dos produtos brasileiros no mercado internacional, fazer crescer a renda e gerar excedentes econômicos que possam garantir maiores níveis de bem-estar social.

II - Buscar manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional.

As fontes renováveis seriam, biomassa, eólica e solar - e de fontes não convencionais como os resíduos sólidos e efluentes. Ademais, são necessários esforços na direção da eficiência energética e da conservação de energia, como forma de redução de consumo, evitando geração adicional e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

III - Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis.

Os biocombustíveis brasileiros como o etanol, e em menor escala o biodiesel, são fontes de riqueza inconteste para o País. Sua produção gera renda no campo e sua utilização desloca fontes fósseis que tanto impactam no clima, quanto na qualidade do ar que se respira.

IV - Buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento, em sua média quadrienal, em todos os biomas brasileiros, até que se atinja o desmatamento ilegal zero.

Inúmeras são as variáveis a serem controladas para que se reduza o desmatamento, o que dificulta o alcance dos objetivos pretendidos. Apesar dos constantes esforços de monitoramento e fiscalização, a demanda por produtos que ocupam os locais florestados e mesmo pela madeira produzida com a própria floresta oscila ao longo do tempo, fazendo com que tais esforços ora apresentem resultados bastante satisfatórios, ora se mostrem completamente insuficientes. O que se busca obter com a adoção das medidas previstas no Plano é lograr uma redução consistente das taxas de desmatamento em períodos quadrienais. Esta é uma tarefa desafiadora que exigirá do governo uma estratégia de ação para além das tradicionais ações de monitoramento e vigilância.

V - Eliminar a perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil, até 2020.

As florestas nativas têm um valor intrínseco acima dos serviços ambientais atualmente percebidos. As florestas plantadas sejam para fins de reconstituição de ecossistemas, sejam para utilização econômica, geram serviços ambientais de grande monta, pois preservam fluxos d'água, diminuem ou impedem o assoreamento dos rios e lagos, melhoram o micro clima e permitem a preservação de espécies nativas da fauna. Dentre as razões de toda ordem para se estabilizar a cobertura florestal em patamares elevados, ressalta-se o fato de que florestas – em seu lato sensu – são reservatórios ou sumidouros de carbono, cujo estoque na vegetação e no solo dá-se pela remoção de CO₂ da atmosfera por meio do processo de fotossíntese.

VI - Procurar identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos sócioeconômicos de adaptação do País.

Vários estudos são desenvolvidos no País (como mostra o Painel Brasileiro de Mudanças do Clima) buscando compreender a dinâmica regional do clima e os impactos ambientais, sociais e econômicos, nacionais e locais, que poderão ocorrer com as mudanças climáticas ao longo do século. São vários os esforços para

umentar a produção do conhecimento científico a respeito de todos os aspectos que se inter-relacionam com a problemática de modo a promover uma adaptação que minimize os custos do País às novas condições climáticas.

Em setembro de 2016, o país depositou o instrumento de ratificação do Acordo de Paris, no qual se compromete a adotar medidas para redução das emissões de GEE por meio de uma Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC. A NDC brasileira trata exclusivamente do compromisso de reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005 (tendo como referência as emissões reportadas na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC), em 2025, com possível esforço para chegar à redução de 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030, tendo como referência as emissões reportadas na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (MCTI, 2010) (Tabela 1). Além disso, em dezembro de 2017, o Brasil ratificou a Emenda Doha ao Protocolo de Quioto.

Tabela 1. Principais elementos da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris.

NDC	Informações
Contribuição	Reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025.
Contribuição indicativa	Reduzir as emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.
Tipo	Meta absoluta com relação a um ano-base.
Abrangência	Todo o território nacional, para o conjunto da economia, incluindo CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF ₆ .
Ponto de referência	2005.
Horizonte temporal	Meta para o ano de 2025; valores indicativos de 2030 apenas para referência.
Métrica	Potencial de Aquecimento Global em 100 anos (GWP-100) usando valores do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).
Abordagens metodológicas, inclusive para estimativa e contabilização de emissões antrópicas de gases de efeito de estufa e, conforme apropriado, remoções	Abordagem baseada em inventário para estimativa e contabilização das emissões antrópicas de gases de efeito estufa e, conforme apropriado, remoções, seguindo as diretrizes aplicáveis do IPCC. O compromisso leva em conta o papel das unidades de conservação e das terras indígenas como áreas de florestas manejadas, em conformidade com as diretrizes aplicáveis do IPCC para estimar remoções de gases de efeito estufa.
Utilização de mecanismos de mercado	O Brasil reserva sua posição quanto à possibilidade de utilizar quaisquer mecanismos de mercado que venham a ser estabelecidos sob o Acordo de Paris. O governo brasileiro enfatiza que quaisquer transferências de unidades provenientes de resultados de mitigação alcançados no território brasileiro serão sujeitas ao consentimento prévio e formal do governo federal. O Brasil não reconhecerá o uso por outras Partes de quaisquer unidades provenientes de resultados de mitigação alcançados no território brasileiro que forem adquiridas por meio de qualquer mecanismo, instrumento ou arranjo que não tenha sido estabelecido sob a Convenção, seu Protocolo de Quioto ou seu Acordo de Paris.

Fonte: MCTIC (2019)

3 - Outras Iniciativas relativas à mudança do Clima

3.1 - Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE

O Brasil instituiu, em outubro de 2017, por meio do Decreto nº 9.172/2017 o Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE, como ferramenta oficial do governo para disponibilização dos resultados de emissões antrópicas de gases de efeito estufa e tem o Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, como responsável pela implementação e pela manutenção do sistema, conforme o disposto no inciso XIII do caput do art. 6º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. A missão é conferir perenidade, acessibilidade, segurança e transparência ao processo de confecção do Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas, com as funções de estimar, para fins de quantificação e contabilização, as emissões de gases de efeito estufa, de acordo com as diretrizes de elaboração dos inventários nacionais previstas em decisão da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, e servir de insumo à tomada de decisão nas ações governamentais relativas à mudança do clima, no que tange a geração de conhecimento científico e adoção de medidas de mitigação. Considerado pelo governo brasileiro como um sistema de MRV - Mensuração, Relato e Verificação para as emissões em nível agregado, para os setores do inventário.

3.2 - Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa - Plataforma ABC

O Brasil tem investido na sustentabilidade de seu setor agropecuário. Neste contexto, considerando a criação do Plano ABC, por meio do Decreto nº 7.390, de 9 dezembro de 2010, bem como as diretrizes definidas pela Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, são instrumentos governamentais para aumentar a área sob sistemas agropecuários sustentáveis.

A Plataforma ABC, instalada na Embrapa Meio Ambiente, tem como missão articular ações multi-institucionais de monitoramento da redução das emissões de GEE dos setores da agropecuária, sobretudo as reduções derivadas das ações previstas e em execução pelo Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC.

O Plano ABC é um dos planos setoriais elaborados de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010, e tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis, selecionadas com o objetivo de responder aos compromissos nacionais de redução de emissão de GEE no setor agropecuário assumidos, entre 2010 a 2020.

A Plataforma ABC foi lançada em 21 de março de 2018, referendando o compromisso da Embrapa em coordenar o processo de monitoramento da redução das emissões de GEE neste setor.

4 - Emissões e inventários de GEE no Brasil

A divulgação do inventário de emissões de gases-estufa do Brasil, feita em dezembro 2004, revelou que o desmatamento e a agropecuária são os responsáveis pela maior parte das emissões brasileiras de gases que provocam o aquecimento anormal da atmosfera. Os resultados mostram que o Brasil sozinho responde por 3% de todas as emissões de GEE no mundo. O desmatamento, segundo os dados, é o principal responsável pela emissão de CO₂ (dióxido de carbono, ou gás carbônico), o principal gás causador do aquecimento.

No ano de 1994, o Brasil emitiu na atmosfera 1,03 bilhão de toneladas do gás. A agropecuária, especialmente a flatulência do rebanho bovino nacional, responde pela maioria das emissões de CH₄ (metano), que em 1994 chegaram a 12,3 milhões de toneladas (MCT, 2004), o outro importante emissor é o cultivo do arroz irrigado por inundação (MARENGO, 2006).

As emissões de dióxido de carbono no mundo derivado da queima de petróleo crescerão em 52% até 2030, se mantidas as tendências atuais do consumo de petróleo (AIE, 2005). Segundo o relatório, o consumo de energia crescerá o equivalente a 5,5 bilhões de toneladas de petróleo (50% a mais do que hoje) até 2030.

De acordo com os relatórios do MCTI sobre os inventários brasileiros de gases de efeito estufa (MCT, 1994; MCT, 2004 e MCT, 2009), “O Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal (Inventário) é a parte da Comunicação Nacional à Convenção Quadro da ONU sobre Mudança do Clima - UNFCCC.”

Para elaboração do quantitativo de emissões de Gases de Efeito Estufa, são inventariados os seguintes setores:

a) Setor de Energia

- Queima de combustíveis
- Emissões fugitivas - Nesse setor são incluídas as emissões de gases de efeito estufa durante o processo de mineração, estocagem, processamento e transporte de carvão mineral e durante o processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural. As emissões associadas ao carvão mineral incluem a emissão de CH₄ durante o processo de mineração e beneficiamento e as emissões de CO₂ por combustão espontânea em pilhas de rejeito. As emissões associadas ao petróleo e ao gás natural incluem as fugas de CH₄ durante a extração de petróleo e gás natural (*venting*), durante o transporte e distribuição em dutos e navios e durante seu processamento nas refinarias. São também consideradas as

emissões de CO₂ por combustão não útil (*flaring*) nas plataformas de extração de petróleo e gás natural e nas unidades de refinaria (MCT, 2009)

b) Setor de processos industriais

- Produtos minerais
- Indústria química
- Indústria metalúrgica
- Produção e uso de HFC - Hidrofluorcarbono e SF6 - Hexafluoreto de enxofre

c) Setor de agropecuária

- Fermentação entérica
- Manejo de dejetos de animais
- Cultivo de arroz
- Queima de resíduos agrícolas
- Emissões de N₂O provenientes de solos agrícolas

d) Setor de mudança no uso da terra e florestas

e) Setor de tratamento de resíduos

- Disposição de resíduos sólidos
- Tratamento de esgotos

Fazer o inventário no Brasil é uma tarefa árdua e difícil, uma vez que em vários setores, os valores emitidos são estimados. Ao mesmo tempo na falta de referências nacionais e tropicais é necessário então seguir as indicações do IPCC (Tiers 1) que vem sendo ao longo dos últimos anos, atualizadas para as condições brasileiras na medida que novos resultados de pesquisa e medições em condições reais vem sendo realizadas. Já no inventário de 2010, importantes avanços foram feitos no sentido de, a partir de resultados de pesquisa da rede clima, utilizar os fatores de emissões tropicais (Tiers 2), o que deu maior precisão ao novo inventário.

Em termos de contribuição das emissões, a distribuição resultante é apresentada conforme a Tabela 2 (MCTI, 2016).

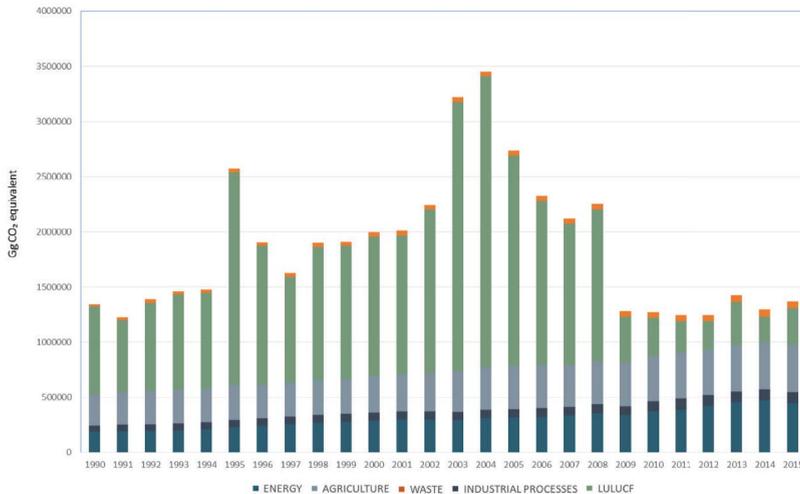
Tabela 2 - Emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de GEE em CO₂e convertidas por meio da métrica GWP

GWP (AR5)	1994	2000	2010	2012	2015
Energia	213.677	289.825	378.344	425.303	452.675
Processos Industriais	61.970	73.313	90.842	97.962	96.407
Agropecuária	364.908	385.027	472.736	480.469	496.142
Mudança de Uso da Terra e Florestas	868.265	1.276.261	355.006	257.538	337.690
Tratamento de Resíduos	41.810	52.255	69.356	74.669	82.373
TOTAL	1.550.630	2.076.681	1.366.283	1.335.940	1.465.287

Fonte: MCTIC (2019)

Conforme já relatado em diversos trabalhos brasileiros, a maior contribuição das emissões nos anos anteriores à terceira comunicação nacional vinham do setor mudança de uso da terra e florestas. Isso indica que ações de mitigação, ou redução das emissões brutas nacionais, podem ser feitas de maneira eficiente, sem ser necessário mudar drasticamente a matriz industrial ou energética. Ações de redução de desmatamento e recuperação de áreas degradadas deram uma importante contribuição na redução da emissão de CO₂ no Brasil, uma vez que seu peso nas emissões era da ordem de 60% a 70% em 2000. Com a redução do desmatamento, o item mudança do uso da terra e floresta ficou responsável por 23% das emissões enquanto que agropecuária ficou com 34%.

É importante ressaltar que entre os anos 2005 e 2010, as emissões brasileiras, saíram de 2,1 bilhões de tCO₂e, para 1,3 bilhões de t CO₂e. A principal causa dessa redução foi a queda muito forte na taxa de desmatamento anual. Na Figura 1 está representada a evolução das emissões por setor, e em verde verifica-se a forte redução das emissões por desmatamento.



Fonte: MCTIC (2019)

Figura 1 - Evolução das emissões líquidas de CO₂e por setor

5 - Cenários climáticos futuros para o Brasil

Desde 1988 os cenários futuros para o Brasil vêm sendo estudados. Em função da resolução dos modelos do IPCC, e mais recentemente com o IPCC TAR, os estudos foram enriquecidos e muitas indicações podem ser feitas. Trabalhos de Ambrizzi (2007), Nobre; Salazar; Oyama (2007), Marengo *et al.* (2007), Artaxo *et al.* (2002), Dias *et al.* (1999) dentre outros, tem mostrado de maneira muito clara as tendências futuras para o clima no Brasil.

Neste capítulo, que não pretende-se dar uma visão exaustiva do assunto, selecionou-se o trabalho de Marengo *et al.* (2007) referente à “*Caracterização do clima atual e definições das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*”, completado pelos resultados do volume 1 do PBMC (2014), para mostrar os possíveis cenários futuros a partir dos resultados de análises e simulações dos modelos do IPCC TAR e AR4. As principais indicações, transcritas a seguir são baseados no *downscaling* do modelo HadAM3P do Hadley Centre de UK e dos modelos regionais de clima desenvolvidos no CPTEC/INPE e IAG/USP. As projeções feitas para a segunda metade do Século XXI (período 2071-2100) consideram os cenários extremos de altas emissões (A2) e de baixas emissões (B2):

1. *As projeções de aumento da temperatura média no ar à superfície para o Brasil indicam que os valores podem chegar até 4°C acima da média climatológica (1961-90) para 2100, dependendo no cenário de emissão de gases de efeito estufa e dos modelos climáticos globais do IPCC TAR e AR4. Os aumentos de temperatura projetados apresentam considerável variação regional. Por exemplo, na Amazônia o aquecimento poderá chegar até 8°C no cenário mais pessimista.*

2. *As projeções de mudança nos regimes e distribuição de chuva, derivadas dos modelos globais de IPCC TAR e AR4, para climas mais quentes no futuro não são conclusivas, e as incertezas ainda são grandes, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas. Na Amazônia e Nordeste, ainda que alguns modelos climáticos globais apresentem reduções drásticas de precipitações, outros modelos apresentam aumento. A média de todos os modelos, por outro lado, é indicativa de maior probabilidade de redução de chuva nestas regiões como consequência do aquecimento global. As regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste não mostram mudanças perceptíveis, ou certo aumento até finais do século XX, mas as chuvas poderiam ser mais intensas.*

3. *Existem incertezas nas tendências observadas da variabilidade de extremos de clima no Brasil, excetuando talvez a região Sul, devido fundamentalmente à falta de informação confiável de longo prazo ou ao acesso restrito a este tipo de informação para grandes regiões, como por exemplo, Amazônia e Pantanal. As projeções de extremos para a segunda metade do Século XXI mostram, em geral, aumentos nos extremos de temperatura, como noites mais quentes, ondas de calor, e nos indicadores de eventos extremos de chuva.*

4. *Projeções climáticas para a segunda metade do Século XXI, para os cenários extremos de emissão de IPCC A2 e B2 fornecem mais detalhes sobre a distribuição e intensidade nas mudanças da temperatura e precipitação no Brasil e América do Sul. As incertezas ainda são grandes, pois, a diferença com as análises dos modelos globais de IPCC TAR e AR4, foi usado somente um modelo global e três modelos regionais para o downscaling dos cenários climáticos futuros (Tabela 2).*

Tabela 3. Aumento de temperatura do ar (°C) em 2100 representado pela média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR para dois cenários de emissão (A2 – pessimista e B2- otimista) e para cada região do país considerada no estudo

Região	Cenário A2 (°C)	Cenário B2 (°C)
Amazônia	+ 5,3	+ 3,0
Nordeste	+ 4,0	+ 2,2
Pantanal	+ 4,6	+ 3,4
Sul (Bacia do Prata)	+ 3,5	+ 2,3

5. *Em relação ao fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), as projeções climáticas mostram poucas evidências de mudanças na amplitude do fenômeno nos próximos 100 anos. Porém, há possibilidades de uma intensificação dos extremos de secas e enchentes que ocorrem durante eventos quentes de El Niño.*

6. *Estudos utilizando simulações do balanço hídrico para as regiões do Brasil, considerando as projeções de temperatura e chuva dos cenários futuros de clima gerados pelo projeto, sugerem no cenário de maiores emissões, uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano para o Nordeste, a qual, no presente, acontece durante os meses de estiagem, isto é, tendência a "aridização" da região semi-árida até final do Século XXI. Para a Amazônia, o período de excesso de água observado no clima atual, durante a estação chuvosa, pode reduzir significativamente em climas futuros mais quentes, associados a um aumento de temperatura e de evaporação e uma redução das chuvas.*

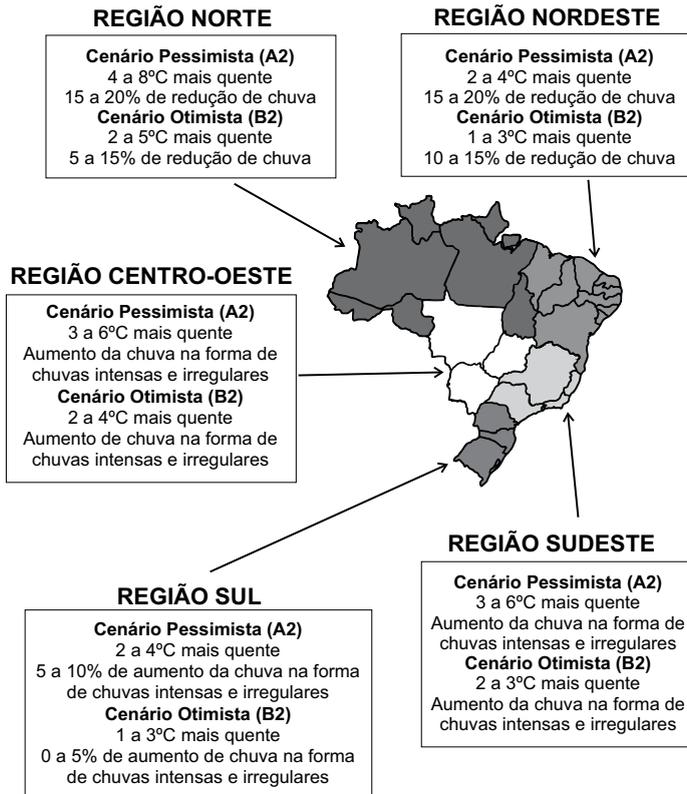
7. *Existem incertezas na possibilidade de ter mais furacões como o Catarina no Atlântico Sul devido ao aquecimento global.*

8. *No Brasil, poucos estudos foram feitos sobre o reflexo das mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto et al. (1989; 2001), onde foram simulados os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café para os Estados de São Paulo e Goiás. Observou-se uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção de café nestas regiões.*

A Figura 2 sumariza as expectativas de aquecimento para o Brasil até o final do século.

Essas projeções feitas no período 2005-2007, continuam atualizadas. É muito impressionante o fato que, com relação ao item 5, referente ao fenômeno El Niño, como os fenômenos corridos no verão de 2010, 2014 e 2016 comprovam o estudado. Em São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Aracaju, chuvas intensas resultaram em eventos catastróficos de dimensões não observadas com frequência

que se abateram sobre estas cidades provocando um grande número de óbitos e mostrando claramente como nossas cidades não estão adaptadas aos eventos extremos projetados com pelo menos 5 anos de antecedência. Ao mesmo tempo o País viveu nos últimos 3 anos a maior crise hídrica da sua história.



Fonte: Marengo *et al.* (2014)

Figura 2 - Cenários do clima futuro para o Brasil até o final do século XXI

Avanços significativos também ocorreram no setor agrícola onde estudos mais detalhados foram feitos para as culturas de soja, milho, arroz, feijão, mandioca, cana de açúcar, café, girassol, algodão e canola, mostrando o custo da inação (ASSAD *et al.*, 2008). Ou seja, se nada for feito em termos de adaptação, as perdas na agricultura brasileira poderão chegar a mais de 5 bilhões de reais/ano, considerando o cenário A2 (Pessimista), já no ano de 2020. Outro fato importante é que contrariamente ao que se projetou nos anos 1990, nem toda agricultura tropical será atingida negativamente. Poderá haver uma expansão das lavouras de cana-de-açúcar e mandioca e uma retração das lavouras de soja, milho, arroz e feijão¹.

1 - Maiores discussões sobre os aspectos de uma nova geografia de produção do Brasil podem ser encontradas no site www.climaeagricultura.org.br.

Simultaneamente a estes estudos de vulnerabilidade na agricultura em função das alterações provocadas pelo aquecimento global, Ghini; Hamada; Bettiol (2008) vêm estudando os efeitos das mudanças climáticas nas doenças de plantas. Neste caso específico, são analisados os efeitos do clima futuro (efeitos na maioria dos casos são negativos), do aumento da temperatura sobre as culturas da batata, tomate, pimentão, melão, arroz, cereais de inverno no sul, milho, soja, banana, cana-de-açúcar, café, seringueira, eucalipto, dentre outras.

Um estudo detalhado sobre os cenários climáticos futuros para o Brasil, com forte viés para a agricultura, foi feito por Hamada *et al.* (2008) diferenciando para várias regiões, a possível variação de temperatura em função dos resultados dos modelos do IPCC, assim como foi feito no PBMC (2014).

Assim, depois do IPCC (2007), muitos trabalhos começaram a avançar no país, no sentido de melhor entender, principalmente, os efeitos do aquecimento na agricultura, que é um dos componentes principais no setor alteração do uso do solo, responsável pelas emissões de GEE. A agricultura está muito vulnerável aos efeitos do aquecimento global, sendo uma das maiores responsáveis pelo fenômeno, mas mantidas as condições de inação defendidas por diversos setores mais conservadores, será também umas das atividades mais atingidas devido a sua alta vulnerabilidade, tanto em termos de risco de produção com estabilidade quanto em termos de intensidade de doenças que poderão a ocorrer ameaçando o abastecimento de alimentos no futuro.

6 - Impactos na agricultura

A agricultura é um dos setores mais afetados por eventos naturais extremos. Com a mudança do clima, os riscos para a segurança alimentar e nutricional são multiplicados pelo esperado aumento na frequência e intensidade de extremos e desastres relacionados com o clima (FAO, 2015). O aumento da temperatura média também implica em alterações na precipitação, vento, dentre outros fatores.

As projeções dos efeitos das mudanças climáticas para 2050 no Brasil referentes à agricultura indicam que haveria perdas expressivas neste setor da economia. As regiões mais vulneráveis à mudança do clima no Brasil seriam a Amazônia e o Nordeste. Na Amazônia, o aquecimento pode chegar a 8°C em 2100, onde alguns modelos indicam a possibilidade de alteração da floresta Amazônica (chamada "savanização"). Haveria perdas expressivas para a agricultura em todos os estados, com exceção dos mais frios, no Sul-Sudeste, que passariam a ter temperaturas mais amenas.

Com exceção da cana-de-açúcar, todas as culturas sofreriam redução das áreas com baixo risco de produção, em especial soja (-34% a -30%), milho (-15%) e café (-17% a -18%) (Tabela 4). A produtividade cairia em particular nas culturas de subsistência no Nordeste (MARGULIS; DUBEUX, 2010).

Tabela 4. Perdas acarretadas pela mudança no clima na agricultura do Brasil (em Reais de 2008)

Tipo de cultura	Variação % da área de baixo risco (2050)	Impacto na produtividade média por região (%)		Perda econômica anual (R\$ milhões/ano)
		Centro-Oeste	Sul	
Arroz	- 12	- 12	44	530
Algodão	- 14	-	-	408
Café	- 17	-	-	1.597
Feijão	- 10	- 8	37	363
Soja	- 34	- 0,7	21	6.308
Milho	- 15	- 27	- 10	1.511
Cana de açúcar	139	66	34	-

Fonte: Adaptado de Margulis; Dubeux (2010)

A redução da área de baixo risco para a agricultura deve promover fortes perdas produção, sendo que o aumento de temperatura implica que, todas as culturas analisadas neste trabalho sofrerão impactos negativos (com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca), apresentando uma diminuição de produção, que pode ser dramática em algumas regiões (PINTO *et al.*, 2008).

Considerando as condições esperadas para os próximos anos e dependendo das espécies, as respostas fisiológicas de culturas sugerem a dinâmica de crescimento será acentuada, com ligeiras modificações em desenvolvimento, tais como a floração e a frutificação (Da MATTÁ *et al.*, 2010). Além disso, destaca-se que as variações na qualidade dos alimentos num ambiente mais quente, com alta concentração de CO₂, espera-se por exemplo, a diminuição das concentrações de proteína e de nutrientes minerais, bem como a composição lipídica alterada (Da MATTÁ *et al.*, 2010).

Um estudo de modelagem climática (modelo HadCM3 usando o cenário de emissões A2) para as projeções de mudança de temperatura na agricultura brasileira para o ano de 2040, indica que existem alguns impactos positivos devido a mudanças de temperatura em função de aumentos de temperatura mínima, enquanto impactos negativos surgem a partir do estresse hídrico devido a aumento da evapotranspiração (SILVA *et al.*, 2014).

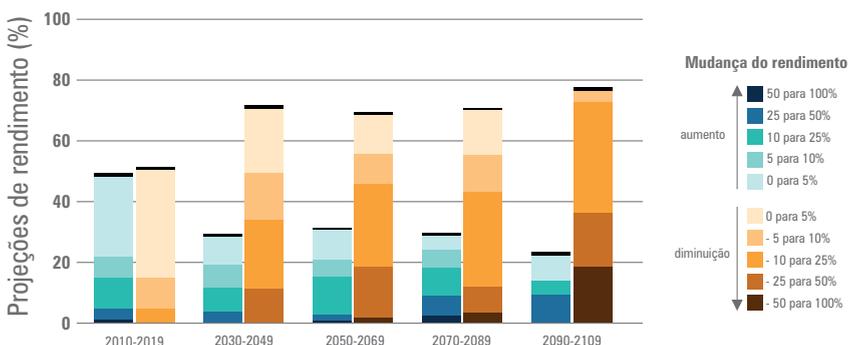
A metodologia utilizada na modelagem para se estimar as mudanças na temperatura pode ter impacto nos estudos de vulnerabilidade agrícola no Brasil. Estudos mostram que a temperatura estimada pela Modelo PRECIS-Br, sem a correção do filtro de *Kalman* terá um impacto sobre a determinação de evapotranspiração das culturas cultivadas nos meses de janeiro a março, menor do que a estimada com a correção feita pelo filtro (PORTO de CARVALHO; ASSAD; PINTO, 2011).

Uma análise do efeito das mudanças climáticas (com base no terceiro relatório do IPCC para 2040 a 2070 e 2070 a 2100) sobre os níveis de produção agrícola do milho, cana-de-açúcar e mandioca nos estados da região Nordeste do Brasil, indica que os níveis de produção das três culturas poderão ser superiores àqueles que poderiam vigorar caso não houvesse mudanças no clima.

Nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco poderão apresentar perdas de produção nas três culturas, tanto no médio quanto no longo prazo. Mesmo num cenário otimista, verificou-se que as mudanças climáticas impactarão negativamente os níveis de produção dos municípios do sul e do centro-sul da Bahia.

Para os níveis de temperatura estimados, até 2100, a região Nordeste brasileira poderá apresentar aumentos de temperatura de até 3,4°C, sendo que a temperatura média futura está compreendida no intervalo de 28,37°C a 28,63°C. Com base nessas estimativas, nota-se que culturas como a mandioca, cujo plantio acontece em temperaturas médias entre 20°C e 27°C, estará muito suscetível ao clima, o que, diretamente, refletem em impactos econômicos para os estados produtores do Nordeste. Vale observar que em média, o nível de precipitação da Região Nordeste poderá se reduzir em cerca de 10%. Como a mudança climática avança ao longo do tempo, seu efeito sobre o rendimento das culturas é projetado para tornar-se cada vez mais negativa, sendo altamente incerta a magnitude deste efeito (PORTER *et al.*, 2014).

Esta progressão das mudanças e sua incerteza no cultivo de alimentos são ilustradas pela Figura 3. Sendo que depois de 2050, o risco de impactos mais graves no rendimento agrícola aumenta e depende do nível de aquecimento (IPCC, 2014).



Fonte: IPCC (2014)

Figura 3 - Projeção da mudança do rendimento das culturas devido às alterações climáticas ao longo do século XXI. (O valor considera diferentes cenários de emissões, para regiões tropicais e temperadas e para os casos de adaptação e não adaptação combinados, durante cinco intervalos de tempo no eixo. As alterações no rendimento das culturas são em relação aos níveis do final do século XX. Os dados para cada período de tempo somam 100%)

Observa-se uma grande variedade de projeções relacionando o aumento de temperatura maior que 3°C e produtividade para uma dada cultura em uma determinada região. Sendo que diferentes estudos para uma mesma região e cultura apresentam resultados de diferentes impactos (aumento e diminuição de produção). É arriscado, fazer uma análise com dados agregados, onde a gama de possíveis resultados não é claramente visível. Perdas de produtividade devido à alta temperatura que induzem abortamento de flores é uma questão importante a considerar, especialmente para o café e feijão. As temperaturas iguais ou superiores a 30°C - 34°C no momento da floração pode inibir a produção de pólen e formação do grão resultando em rendimentos instáveis de ano para ano, para o milho e soja (PORTER *et al.*, 2014).

Um aspecto importante no estudo da capacidade de adaptação agrícola (Tabela 5) é a identificação do limite de temperatura para cada cultura. Resultados do aumento da temperatura durante a floração, com estudos de caso feitos em outros países, indicam que tanto o aumento da temperatura local como global tem forte efeito na capacidade de adaptação. A maioria dos estudos utiliza temperatura local como a variável independente (PORTER *et al.*, 2014).

Tabela 5. Potenciais de adaptação para o setor na agricultura

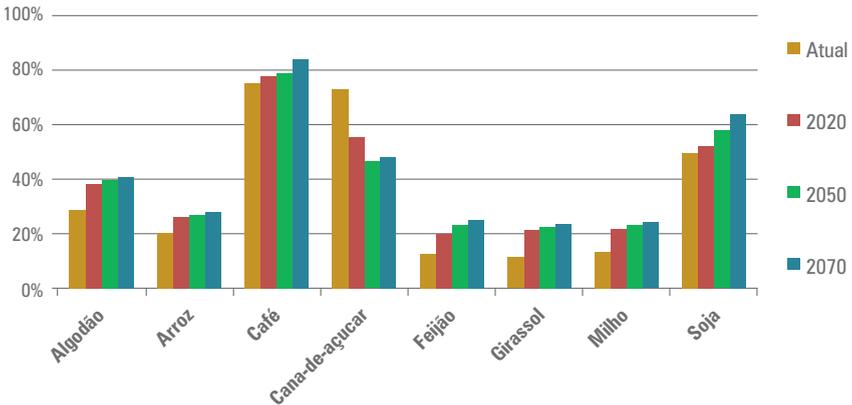
Adaptação	Opção de adaptação	Real ou percebida
Tolerância a seca e a resistência às pragas; aumentar os rendimentos.	Biotecnologia e culturas geneticamente modificadas.	Percepção do risco para a saúde e segurança públicas; riscos ecológicos associados à introdução de novas variáveis genéticas para ambientes naturais.
Fornecer uma rede de segurança financeira para os agricultores a assegurar a continuidade de empresas agrícolas.	Subsídio as perdas por seca seguro agrícola.	Cria o risco moral e as desigualdades distributivas se não for administrado corretamente.
Manter ou aumentar a produtividade das culturas; controlar pragas agrícolas oportunistas e espécies invasoras.	Aumento do uso de fertilizantes químicos e pesticidas.	O aumento do uso de nutrientes e poluição ao meio ambiente; impactos adversos da utilização de pesticidas sobre as espécies; aumento das emissões de gases de efeito estufa; aumento da exposição humana a poluentes.

Fonte: Adaptado do IPCC - AR5 WGII (2014)

A análise do risco de perda de produção² com probabilidade maior de 20%, foi feita para diferentes culturas (algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol,

2 - Estudo realizado com modelo PRECIS para o cenário A2.

milho e soja) para um cenário atual (base 1976-2005), em 2020, 2050 e 2070 numa situação de aquecimento médio igual ou superior a 4°C para todos os municípios do Brasil. Os resultados indicam o impacto das alterações climáticas para cultura da cana-de-açúcar que diminui o risco de perda de produtividade: 72% dos municípios brasileiros possuem probabilidade maior de 20% de perda de produção num cenário atual, passando para 55% em 2020, 46% em 2050 e 48% em 2070 (Figura 4).



Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2008)

Figura 4 - Distintos cenários para o risco de perda de produtividade de diferentes culturas no Brasil

O aumento de temperatura pode ter diferentes impactos em função dos estágios de desenvolvimento da planta ou lavoura. Sendo a sua identificação necessária para um melhor diagnóstico das consequências e recomendações apropriadas.

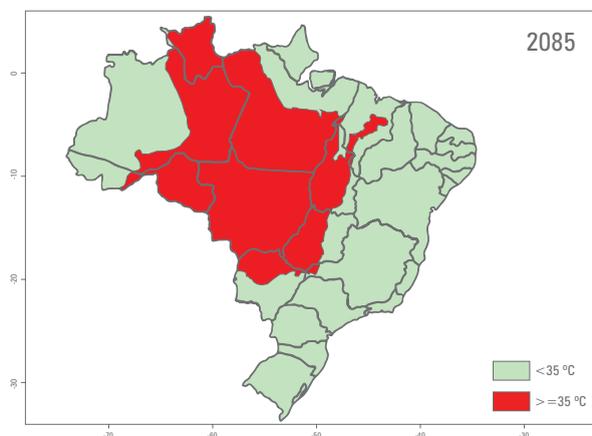
A temperatura limite média das culturas analisadas é de 37°C, sendo que o limite para temperatura máxima para o café é de 34°C e o arroz e o milho 45°C (Tabela 6).

Tabela 6 - Limites máximos de temperatura (°C) para culturas agrícolas

Limites máximos de temperatura (°C)			
Cana de açúcar	35	Feijão	35
Algodão	40	Girassol	40
Arroz	45	Milho	45
Batata	35	Soja	35
Café	34	Trigo	30

Fonte: Monteiro (2009)

A Figura 5 ilustra as regiões do Brasil com temperatura superior a 35°C no cenário RCP 8.5 para 2085, esse limite de temperatura atinge o limite de várias culturas.



Fonte: Assad; Ribeiro; Nakai (2016)

Figura 5 - Mapa do Brasil com o corte de temperatura acima de 35°C para o ano de 2085

Considerando um cenário de aumento de 4°C na temperatura nos próximos anos, poderá então ocorrer abortamento de flores de café, feijão, laranja, morte em frangos, abortamentos de prenhez em porcas e redução da produção de leite. Estima-se uma redução de mais de 90% na produção de milho safrinha e 80% na produção de soja na área de baixo risco (base 1990) (ASSAD; RIBEIRO; NAKAI 2016).

7 - Conclusões

O Brasil, do ponto de vista de marcos regulatórios e legislações, no que diz respeito ao aquecimento global, continua sendo um protagonista internacional. Várias leis, decretos, e planos setoriais estão em andamento e mostrando que é possível controlar o desmatamento, reduzindo as emissões de GEE, promovendo a intensificação da agropecuária, em praticamente todo o território brasileiro. Nos últimos anos houve uma substancial redução das emissões de gases de efeito estufa, principalmente devido a redução do desmatamento. Saímos de 2,1 bilhões de toneladas de CO₂e emitidos no inventário de 2005, para 1,3 milhões de toneladas no inventário de 2010. É um caminho correto. Mesmo não sendo discutido no texto, as metas previstas pelo INDC e comprometidas na COP 21 em Paris, já estão em andamento, principalmente no que diz respeito ao plano ABC (Agricultura de baixa emissão de carbono). Mas a questão principal é que o país está vulnerável, e caso não se consiga reduzir as emissões que hoje são responsáveis pela concentração de 410 ppm de CO₂ na atmosfera, poderemos nos próximos 20 anos atingir patamares superiores a 1,5°C, que foi o estabelecido em Paris. As consequências disso, seriam ameaça a segurança alimentar, e em alguns caso mais críticos, aumento da crise hídrica no País. O fato é que possuímos leis, planos, programas, recursos, estudos etc, mas pouca implementação. É preciso ficar claro que o problema das mudanças do clima tem efeito global, mas as soluções são locais. É preciso agir rápido para minimizar o aquecimento global nas próximas décadas.

Referências

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L.; FERNANDEZ, J. P. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI**: projeções de clima usando três modelos regionais (Relatório 3). Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2007.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, p. 96-117, 2008.

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A.F.; NAKAI, A.M.; PAVÃO, E.; PELLEGRINO, G.; MONTEIRO, J.E. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. In: _____. **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: MCTI, cap.4, p. 127-187. 2016.

ASSAD, E.D.; RIBEIRO, R. R. R.; NAKAI, A.M. Assessments and how an increase in temperature may have an impact on agriculture in Brazil and mapping of the current and futures situations. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (Ed.) **Climate Change Risks in Brazil**. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. chapter 3. p. 31-65. 2019.

ARTAXO, P. J. V.; MARTINS, M. A.; YAMASOE, A. S.; PROCOPIO, T. M.; PAULIQUEVIS, M. O.; ANDREAE, P. G.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, **Amazônia**, 107, 8081, 2002.

Da MATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Res Intern.**, n. 43, p. 1814-1823. 2010.

DIAS, P. L. S.; TURC, B.; DIAS, M. A. F. S.; BRACONNOT, P.; JORGETTI, T. Mid-Holocene climate of tropical South America: a Model-Data approach. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F.; KHODRI, M. (Eds.). **Past climate variability in South America and surrounding regions**. Berlin: Springer, p. 259-281. 2009.

FAO. **The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition**. Rome, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4434e.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agrícola**, n. 65, p. 98 - 107. 2008. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 27-73. 2008.

IPCC. **Climate change 2007: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (eds.) Geneva: IPCC, 2007. 104 p.

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. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.) Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no Século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC (Relatório 1)**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2006.

MARENGO, J. A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais (Relatório 5)**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2007.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo: IBEP, 2010.

MCT, Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal**. Brasília: MCT, 1994.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa não controladas pelo Protocolo de Montreal: comunicação inicial do Brasil, parte II**. Brasília: MCT, 2004.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Informações gerais e valores preliminares. Brasília: MCT, 2009.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira comunicação nacional**. Brasília: MCT, 2004. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

MCTIC, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação. **Brazil's Third Biennial Update Report to United Nations Framework Convention on Climate Change** – UNFCCC. Brasil. 2019. Disponível em: <https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2019/05/31/20180228_BRABUR3_ENG_FINAL.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, INMET, 2009.

NOBRE, C. A.; SALAZAR, L. F.; OYAMA, M. E. **Mudanças climáticas e alterações nos biomas da América do Sul até 2100** (Relatório 6). Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2007.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. In: AMBRIZZI, T., ARAUJO, M. (eds.). Rio de Janeiro: COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. 464 p.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JR, J.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; AVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; MACEDO JR, C.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. O papel do agronegócio da economia brasileira. In: DECONTO, J. G. (Org.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 2 ed. Campinas: Embrapa, 2008.

PORTER, J.R.; XIE, L.; CHALLINOR, A.J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S.M.; IQBAL, M.M.; LOBELL, D.B.; TRAVASSO, M.I. Food security and food production systems. In: FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; Mac CRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. (eds.). **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, chapter 7, p. 485-53. 2014.

PORTO de CARVALHO, J. R.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Kalman filter and correction of the temperatures estimated by PRECIS model. **Atmospheric Research**, v. 102, n. 1 - 2, p. 218-226, 2011.

SILVA, V. P. da; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, n. 28, p. 84 – 97, 2014.