

RISCOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL E LIMITES À ADAPTAÇÃO

Carlos A. Nobre, José A. Marengo, Wagner R. Soares,
Eduardo Assad, Roberto Schaeffer, Fabio R. Scarano,
Sandra S. Hacon

Apoio: **Embaixada do Reino Unido no Brasil**



Embaixada Britânica
Brasília



RISCOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL E LIMITES À ADAPTAÇÃO

Carlos A. Nobre, José A. Marengo, Wagner R. Soares,
Eduardo Assad, Roberto Schaeffer, Fabio R. Scarano,
Sandra S. Hacon

Apoio: **Embaixada do Reino Unido no Brasil**

SUMÁRIO EXECUTIVO

Vastas regiões do Brasil poderão se tornar perigosas para a população caso o aquecimento global ultrapasse o limite extremo de 4°C em relação à era pré-industrial. Nessas áreas, a temperatura média pode atingir os 30°C – o dobro da média do planeta hoje –, elevando o risco de mortalidade por calor, especialmente entre crianças e idosos. Temperaturas máximas superiores à capacidade de adaptação do organismo humano reduzirão a produtividade do trabalho em setores como a agricultura e a construção civil. Em algumas regiões, o calor e as mudanças no regime de chuvas farão crescer a incidência de doenças.

Além de impactos para a saúde humana, níveis altos de aquecimento podem aumentar o risco de eventos extremos e mesmo catastróficos, como a extinção de espécies; reduzir a disponibilidade de água e eletricidade para a população; e causar impactos sérios sobre a produção de alimentos, limitando a área de cultivo de arroz e feijão. Num cenário de alta emissão de gases de efeito estufa, o país tem probabilidade alta (maior que 70%) de sofrer um aquecimento superior a 4°C antes do fim deste século.

O objetivo deste estudo é mapear cenários de aumento extremo de temperatura no Brasil e seus impactos em quatro setores-chave: agricultura, saúde, biodiversidade e energia. Isso foi feito por meio de uma minuciosa revisão de literatura e projeções climáticas, incluindo estimativas dos riscos relativos. Este sumário, que resume o estado-da-arte do conhecimento sobre o tema, busca fornecer aos tomadores de decisão ferramentas para a análise de risco: eventos de baixa probabilidade de ocorrência, mas de consequências significativas, precisam ser compreendidos e incorporados ao planejamento de políticas públicas.

1. PROBABILIDADE DE AQUECIMENTO EXTREMO NO BRASIL NO SÉCULO XXI

A maioria das pesquisas relativas aos impactos das mudanças climáticas foca no que poderia acontecer em níveis mais baixos de aumento da temperatura, como o limite de 2°C preconizado como “seguro” pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Os impactos de aquecimento global muito acima de 2°C têm o potencial de gerar catástrofes mundiais, mas, como as probabilidades desses impactos – pelo menos no curto prazo – ainda são baixas, os tomadores de decisão acabam deixando-as de lado. O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima), no seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5), indica que ainda há uma chance de 40% de o aquecimento global ultrapassar o limite de 2°C, mesmo com redução das emissões. A continuarem os padrões correntes de emissões, a possibilidade evitar que o aquecimento ultrapasse os 2°C se encerraria em menos de 35 anos. Por outro lado, poucos estudos do IPCC analisaram impactos de um aquecimento entre 3°C e 4°C e quase nenhum examinou temperaturas ainda maiores.

Para o Brasil, este estudo usou as projeções de modelos globais de clima do IPCC-AR5 (Figura 1), as chamadas RCP (sigla em inglês para “Trajetórias Representativas de Concentração”) que analisam vários cenários de emissão e estimam temperaturas decorrentes de cada um. O AR5 utiliza quatro RCPs, numeradas de acordo com a influência das emissões no balanço de energia da Terra. A mais otimista é a RCP 2.6, compatível com a manutenção do limite de 2°C; a mais pessimista é a 8.5, que assume no futuro a mesma trajetória de emissões atual. A probabilidade de aquecimentos extremos no Brasil é mais alta e ocorre antes no tempo na RCP 8.5.

A Figura 2 mostra que a chance atingir um aquecimento maior que 4°C é elevada neste século. Aquecimentos ainda maiores, como 6°C ou 7°C, são verificados após 2100. A Figura 3 mostra probabilidades de aquecimentos mesmo para RCPs mais otimistas como 4.5 e 6.0 principalmente no fim do século.

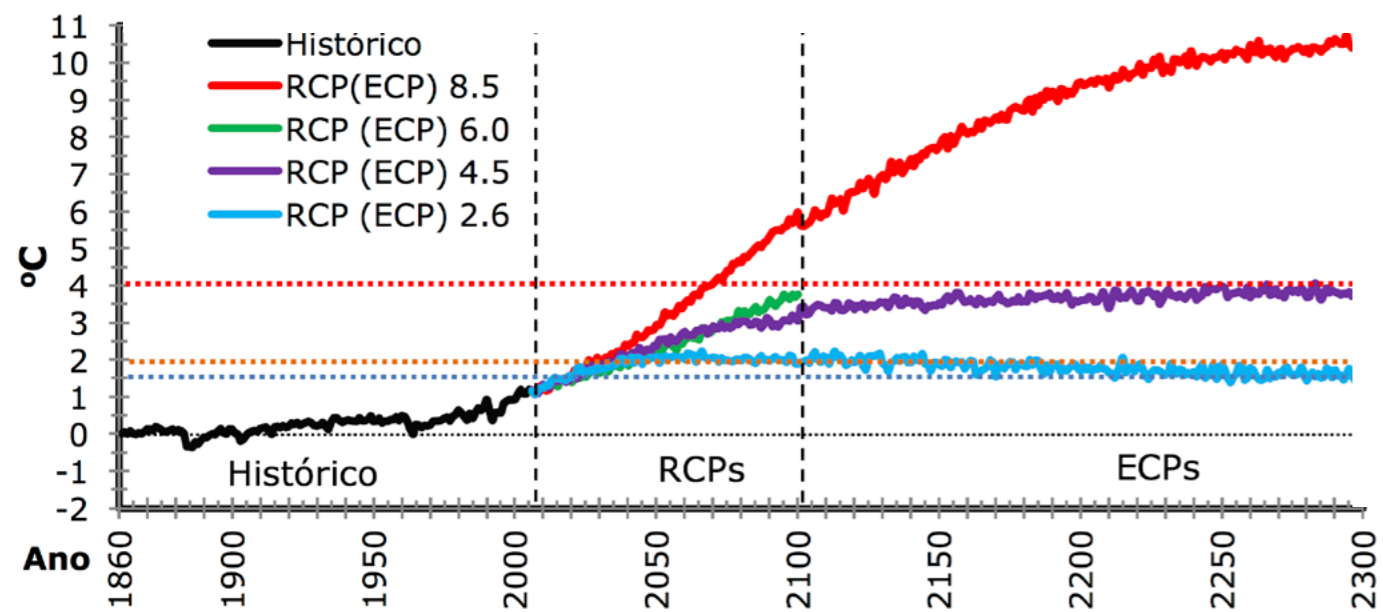


Figura 1. Séries temporais de mudanças temperatura média anual próxima da superfície (C) desde 1861 até 2300 em relação ao período Pré Industrial (1861-1890) para o Brasil. As linhas tracejadas azul e laranja representam os limites de estabilização de temperatura de 1,5°C e 2°C, definidos no Acordo de Paris. A linha vermelha é o limite de 4°C. (Seção 2, Figura 3).

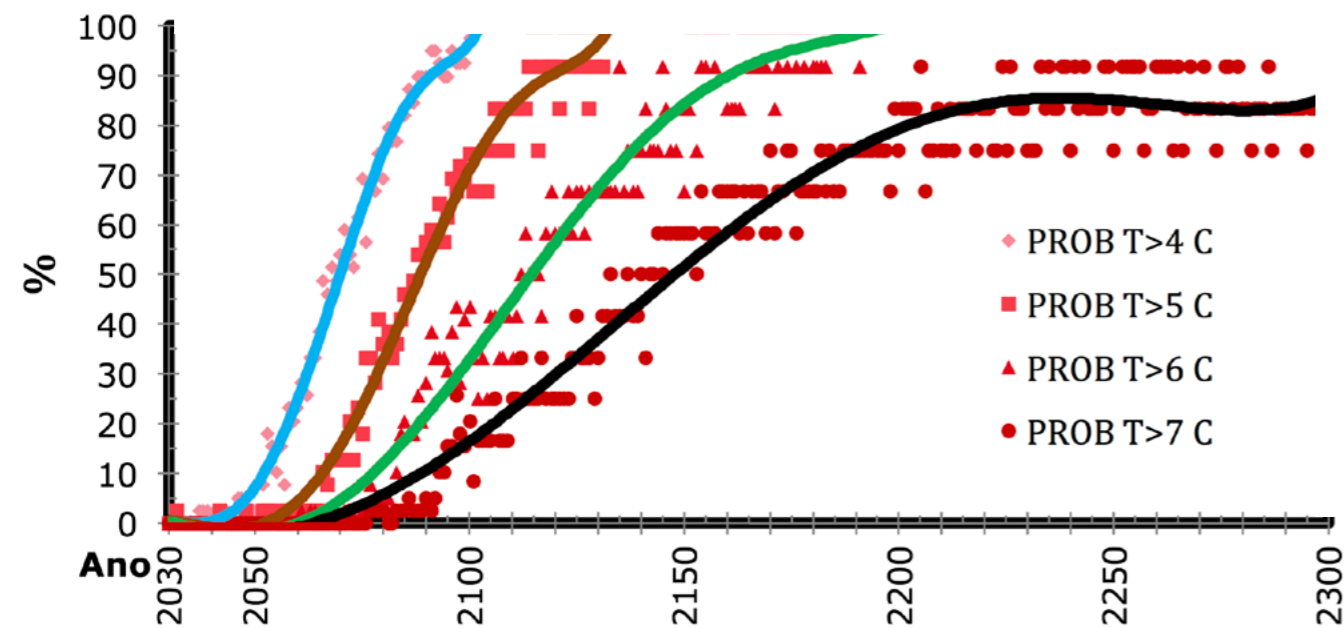
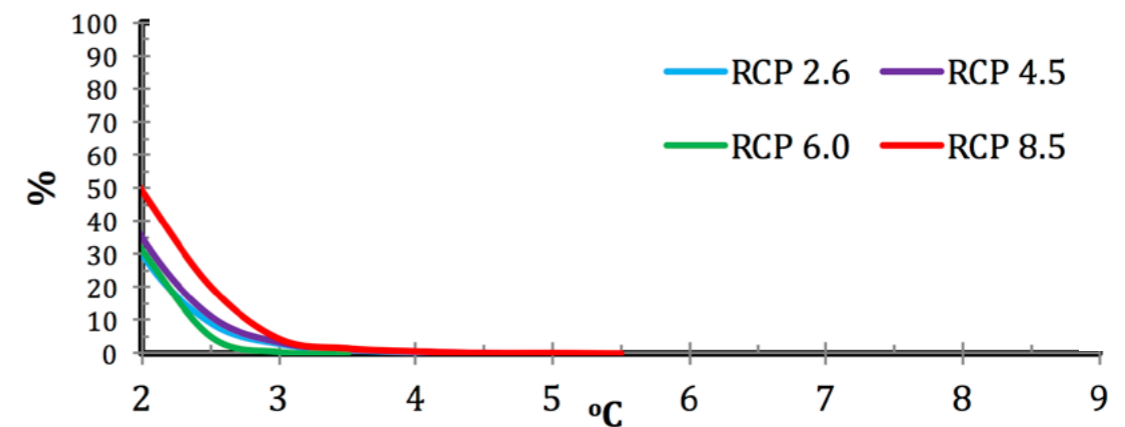
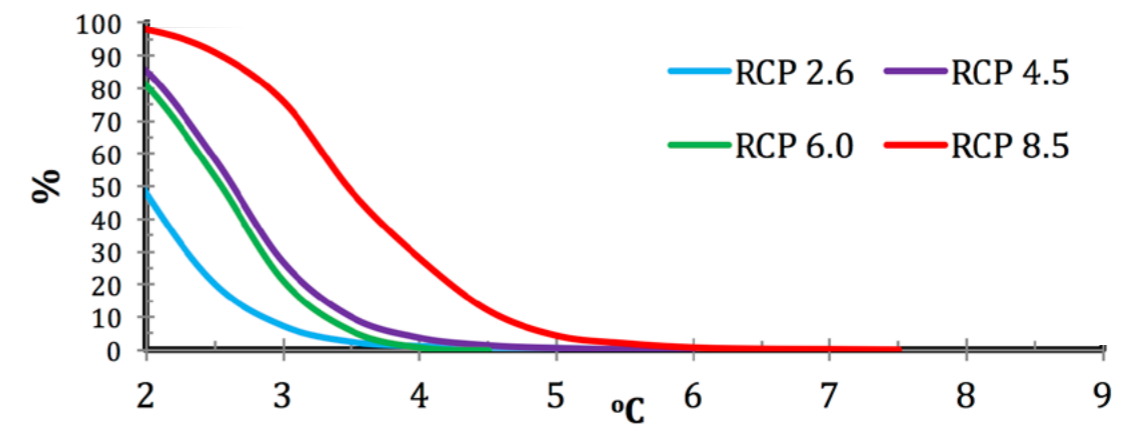


Figura 2. Probabilidades da temperatura média anual projetada pelo RCP 8.5 exceder: 4°C (linha azul), 5°C (linha laranja), 6°C (linha verde) e 7°C (linha preta). As probabilidades de aquecimentos foram obtidas a partir dos valores das anomalias de temperatura do conjunto de simulações do CMIP5. A unidade é %. (Seção 2, Figura 7).

AQUECIMENTO 2030s (a)



AQUECIMENTO 2060s (b)



AQUECIMENTO 2080s (c)

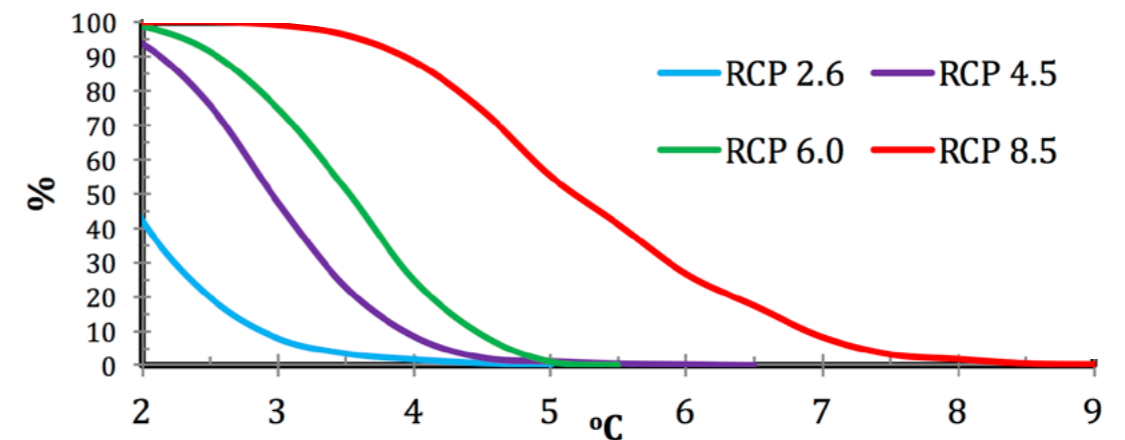


Figura 3. Probabilidade de aquecimento nos *timeslices* (fatias no tempo) em 2030s, 2060s e 2090s. As probabilidades de aquecimento foram obtidas a partir dos valores das anomalias do conjunto de projeções dos modelos usados pelo IPCC (CMIP5) em relação ao período pré-industrial. A unidade é % e a região é o Brasil. (Seção 2, Figura 8).

2. RISCOS E IMPACTOS POR SETOR

AGRICULTURA

Os impactos do clima sobre a agricultura são altamente dependentes do local. A correta compreensão dos riscos climáticos associados aos potenciais impactos sobre a agricultura e a segurança alimentar (vulnerabilidades e eficácia das opções de adaptação), formam uma evidência sólida para permitir a adaptação às alterações climáticas. Um aquecimento igual ou superior a 4°C pode gerar:

- Para o **arroz**, a Figura 4 apresenta o impacto na redução das áreas de baixo risco em comparação com 1990. No caso do cenário **RCP 8.5** a perda de área de baixo risco chega a mais de 13%. **O quadro de perdas se intensifica, limitando a produção de arroz às áreas irrigáveis e com boa oferta de chuva** (Goiás, Norte do Mato Grosso e Pará).
- Para o cenário **RCP 8.5** a situação da cultura do **feijão** fica mais crítica ainda, podendo chegar a perdas de áreas de baixo risco de 57%. **Em termos nacionais, a tendência é que a produção seja confinada aos Estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**, onde as temperaturas são mais amenas e o déficit hídrico, reduzido. Parte do sul de Minas Gerais também poderá se manter como área produtora.
- O **milho safrinha** normalmente é uma cultura de risco. Nos cenários de aquecimento global o risco aumenta substancialmente, em função do aumento da temperatura e da deficiência hídrica. Na região Sul a condição benéfica para produção é a redução das geadas, que o pode manter a produção. Para o cenário **RCP 8.5** (Figura 6) o aumento de temperatura é muito forte, provocando deficiência hídrica no momento em que o milho safrinha precisa de água. **Há restrições de produção em quase todo território nacional.**
- Para o cenário **RCP 8.5** a **soja** podendo chegar a uma perda de até 81% nas áreas de baixo risco (Figura 7). Em termos nacionais, a tendência é que as lavouras migrem para o norte do Estado de Mato Grosso, o que já está acontecendo. Entretanto, cultivares com alta tolerância à seca e deficiência hídrica serão lançadas no mercado e sistemas de produção mais equilibrados em manutenção da água no solo e sequestro de carbono serão adotados. Isso poderá minimizar os efeitos do aquecimento global.

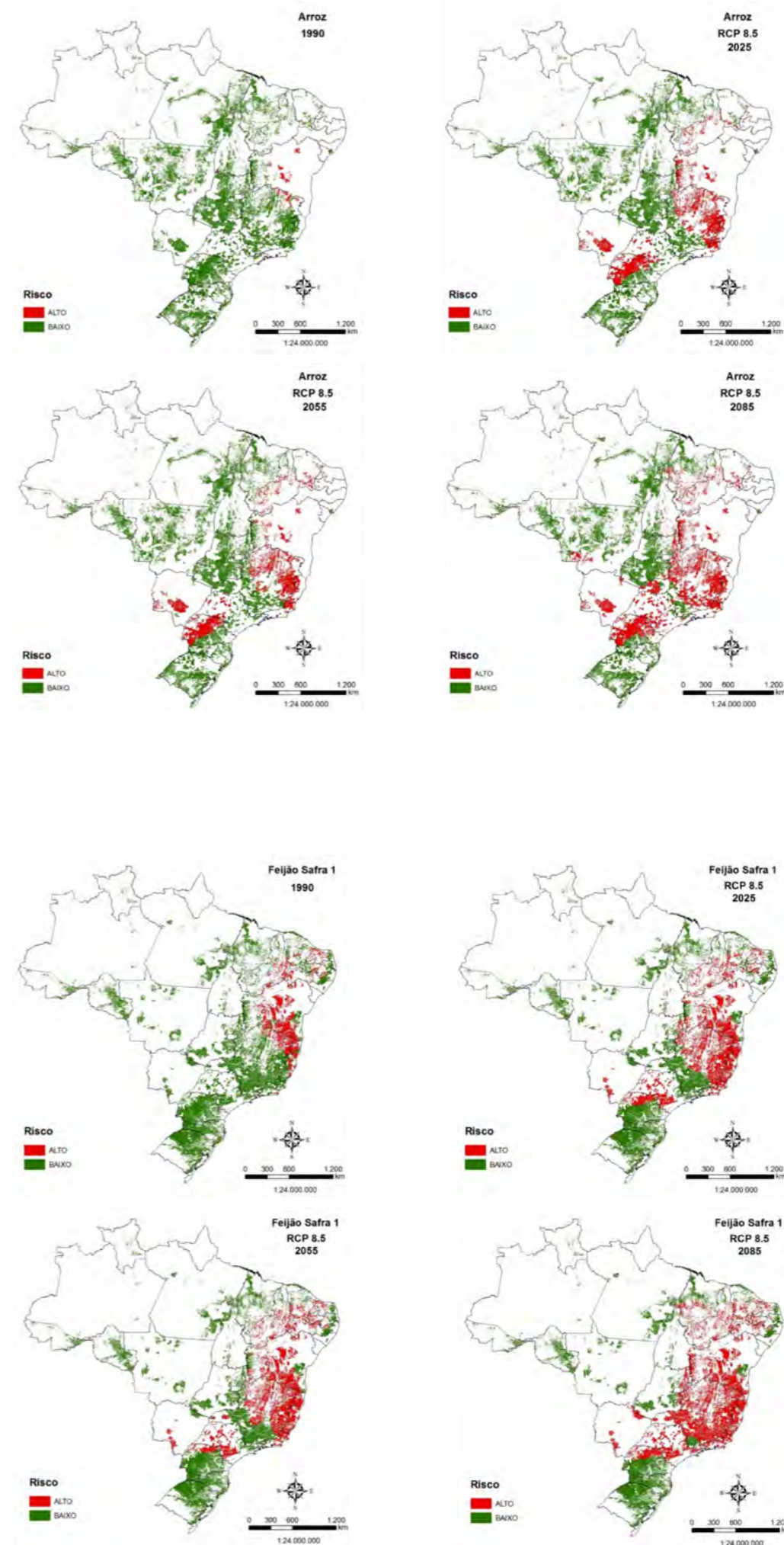


Figura 4 Impacto na redução das áreas de baixo risco no cultivo de arroz em comparação com 1990, no cenário RCP 8.5 (Assad et al., 2016). (Seção 3, Figura 20).

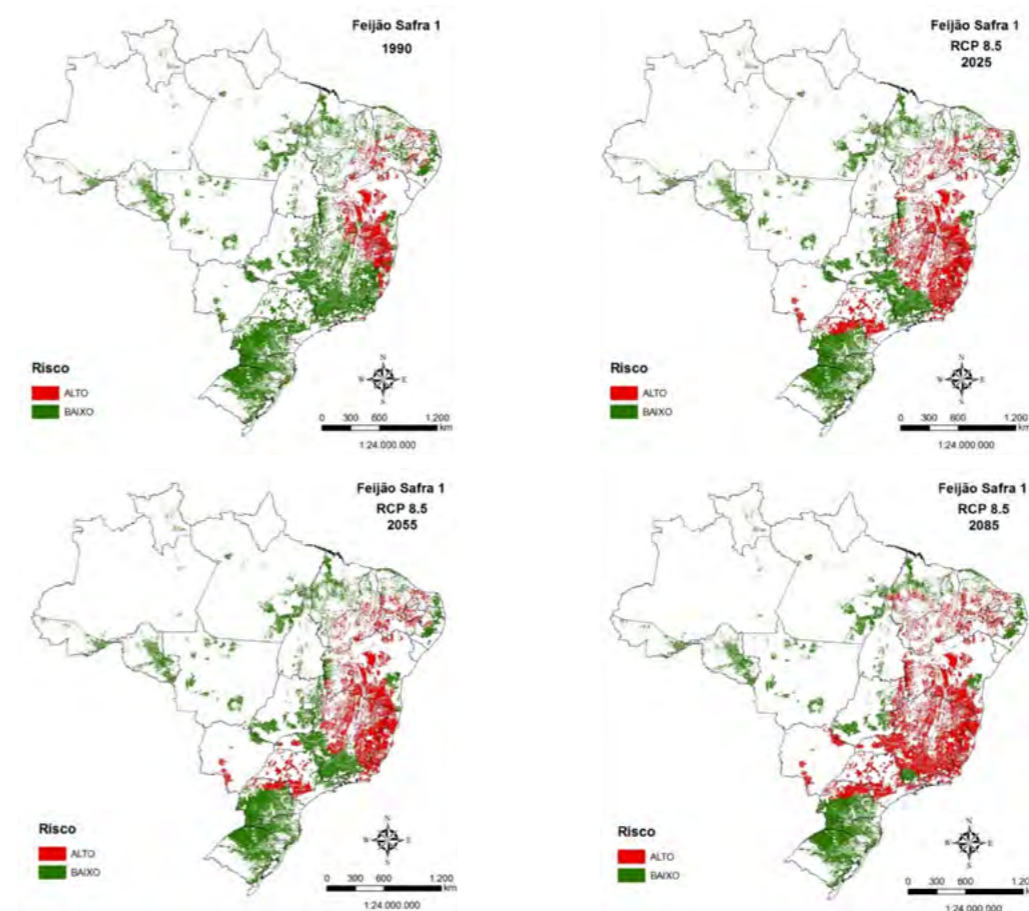


Figura 5 Impacto na redução das áreas de baixo risco no cultivo de feijão em comparação com 1990, no cenário RCP 8.5 (Assad et al., 2016). (Seção 3, Figura 23).

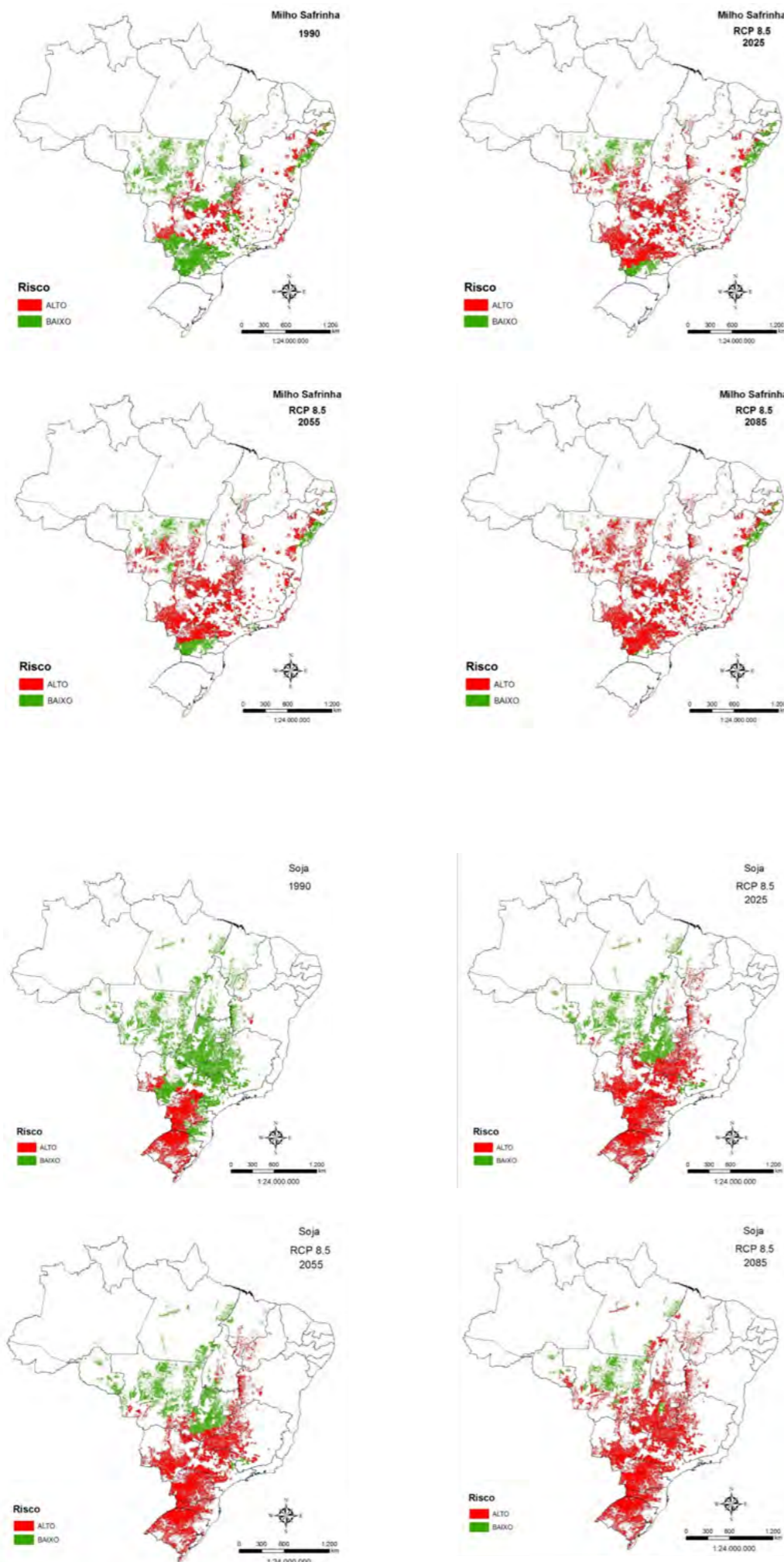


Figura 6 Impacto na redução das áreas de baixo risco no cultivo de milho safrinha em comparação com 1990, no cenário RCP 8.5 (Assad et al., 2016). (Seção 3, Figura 26).

Figura 7 Impacto na redução das áreas de baixo risco no cultivo de milho safrinha em comparação com 1990, no cenário RCP 8.5 (Assad et al., 2016). (Seção 3, Figura 26).

SAÚDE

Os impactos de um aquecimento extremo neste setor são diretos e indiretos, e compõem-se com problemas de desenvolvimento já existentes no país. O efeito direto mais grave é o estresse por calor: temperaturas máximas contínuas acima de 37°C e com alta umidade do ar impedem o organismo humano de perder calor por transpiração, podendo causar a morte em caso de exposição prolongada. Em algumas regiões, a incidência de insetos transmissores de doenças, como o *Aedes aegypti*, deve aumentar. Parte do país, porém, pode atingir temperaturas médias tão altas que prejudicariam a própria reprodução do mosquito.

- A maior parte do território brasileiro apresentará muito forte ou extremo **estresse por calor**. Isso poderá gerar uma perda de produtividade laboral, reduzindo em até 268 horas anuais de trabalho em áreas como agricultura, indústria e construção civil.
- Com aumento acima de 4°C os municípios das regiões Norte e Centro Oeste e dos Estados do Maranhão e Piauí no Nordeste, poderão apresentar condições climáticas consideradas de **alto risco para mortalidade, com temperatura média maior ou igual a 30°C**. A população infantil exposta a uma temperatura acima desse nível será maior que 35% em alguns municípios dos Estados do Acre, Amazonas e Pará. Entre os grupos mais vulneráveis, a taxa de mortalidade em idosos pode ser até 7,5 vezes maior (Figura 8).

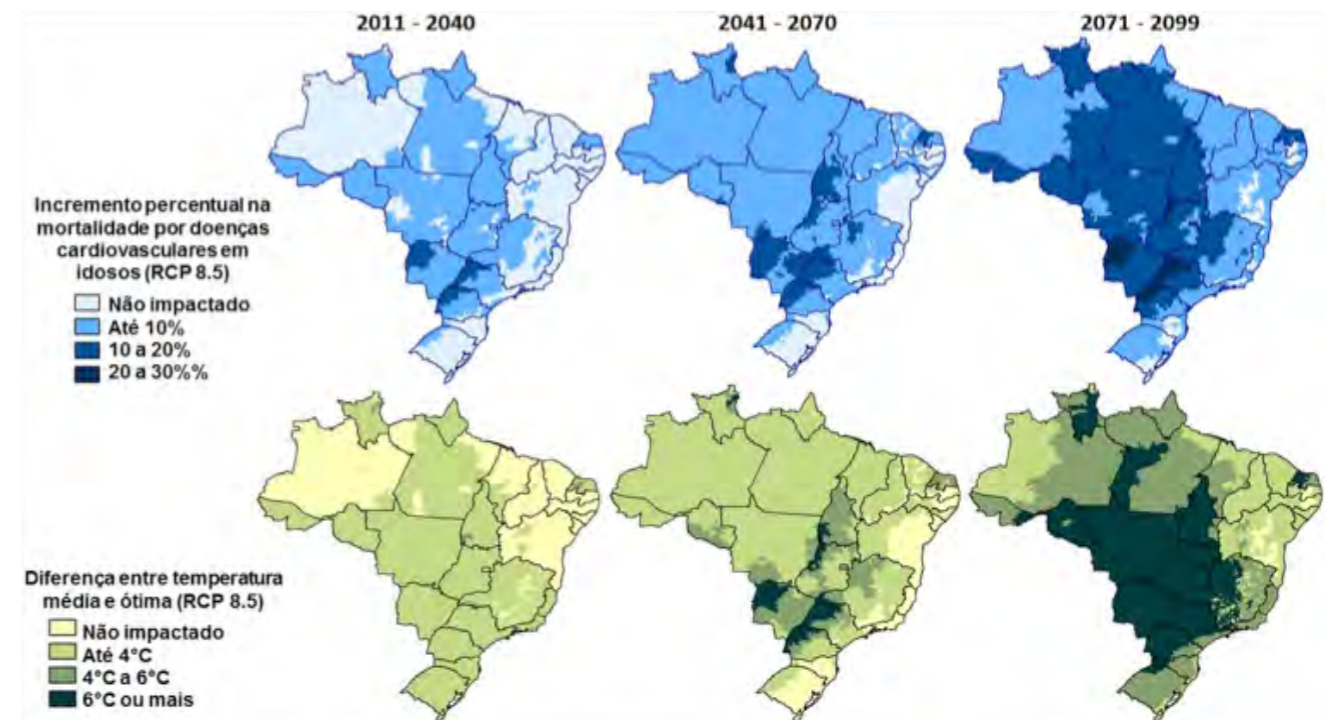


Figura 8 Projeção do incremento percentual na mortalidade por doenças do aparelho circulatório em idosos (+65 anos) e a diferença entre a temperatura média e ótima para cenário RCP 8.5 no período de 2071-2099, nos municípios do Brasil (Seção 4, Figura 21).

- Um aumento nos **desastres naturais** em municípios com maior risco e vulnerabilidade para **inundações e secas prolongadas** pode impactar os municípios do Nordeste, registrando principalmente efeitos relacionados à indisponibilidade de água tratada, contaminação de alimentos e falta de higiene pessoal, como as gastroenterites e hepatites.
- No período entre 2071 e 2099, os municípios da região Norte, Nordeste, Sudeste e Sul apresentarão condições **térmicas ainda mais favoráveis para a disseminação do *Aedes aegypti*, vetor de doenças como dengue, chikungunya e zika**. Para os Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, com um aumento na temperatura média projetado para 4,6°C e 5,1°C, **prevê-se um aumento do potencial de epidemia da dengue para 2071-2090** (Figura 9).

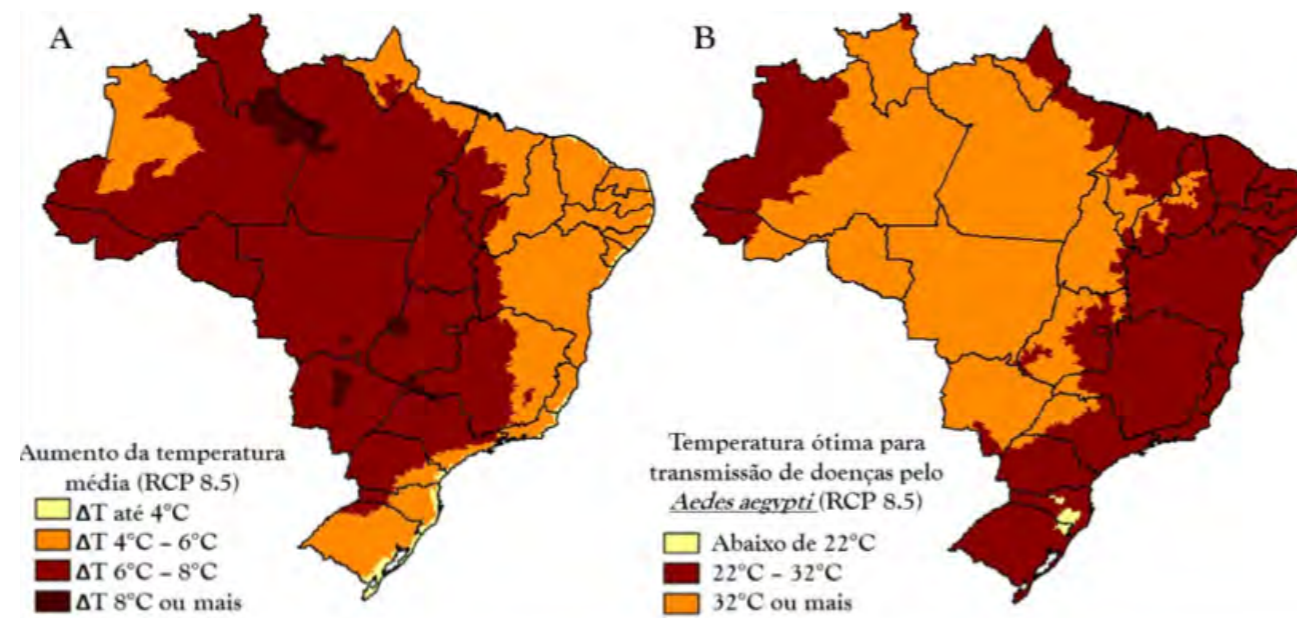


Figura 6 Municípios com temperatura favorável para transmissão da dengue, zika e chikungunya. Figura A: Aumento da temperatura média para RCP 8.5 no período de 2071 – 2099, comparado ao período baseline (1961-1990). Figura B: Temperatura ótima ou favorável para desenvolvimento do vetor *Aedes aegypti* para o cenário RCP 8.5 no período de 2071 – 2099 (Seção 4, Figura 24)

- Os municípios do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina poderão experimentar um **aumento de mais de 150% nos casos de leptospirose, decorrentes do aumento das chuvas**. Municípios com alto risco e vulnerabilidade para inundações poderão apresentar aumento de casos da doença (Figura 10).

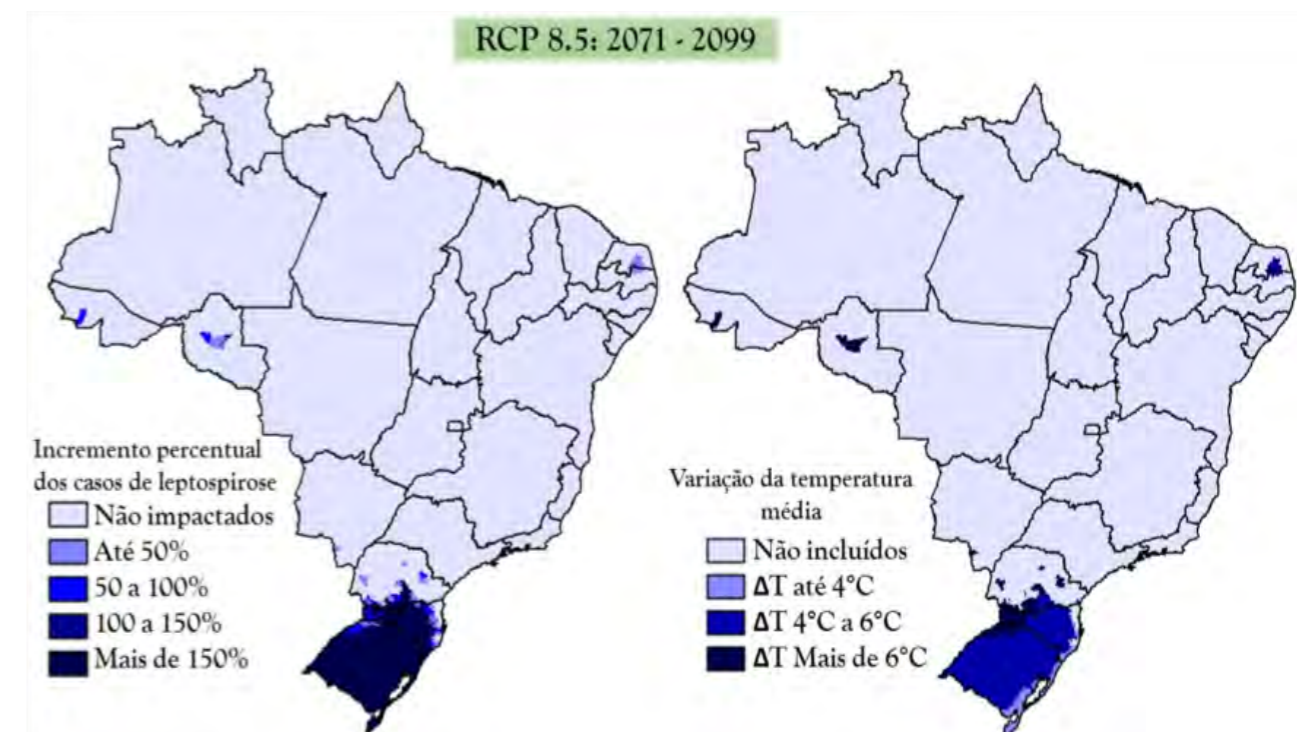


Figura 10 Projeções para o incremento percentual da incidência de casos de leptospirose para aumento da precipitação para cenário RCP 8.5 no período de 2071-2099 e a variação da temperatura média para cenário RCP 8.5, comparando os períodos 2071-2099 em comparação com o período-base (1961-1990) (Seção 4, Figura 33).

- Em geral, os casos de diarreia são altamente dependentes das condições sócio-demográficas, de saneamento e serviços de atenção básica à saúde. **Cerca de 34% dos municípios e 64% da população infantil da região Norte poderá apresentar aumento de 50% nos casos de diarreia até 2099** (Figura 11)

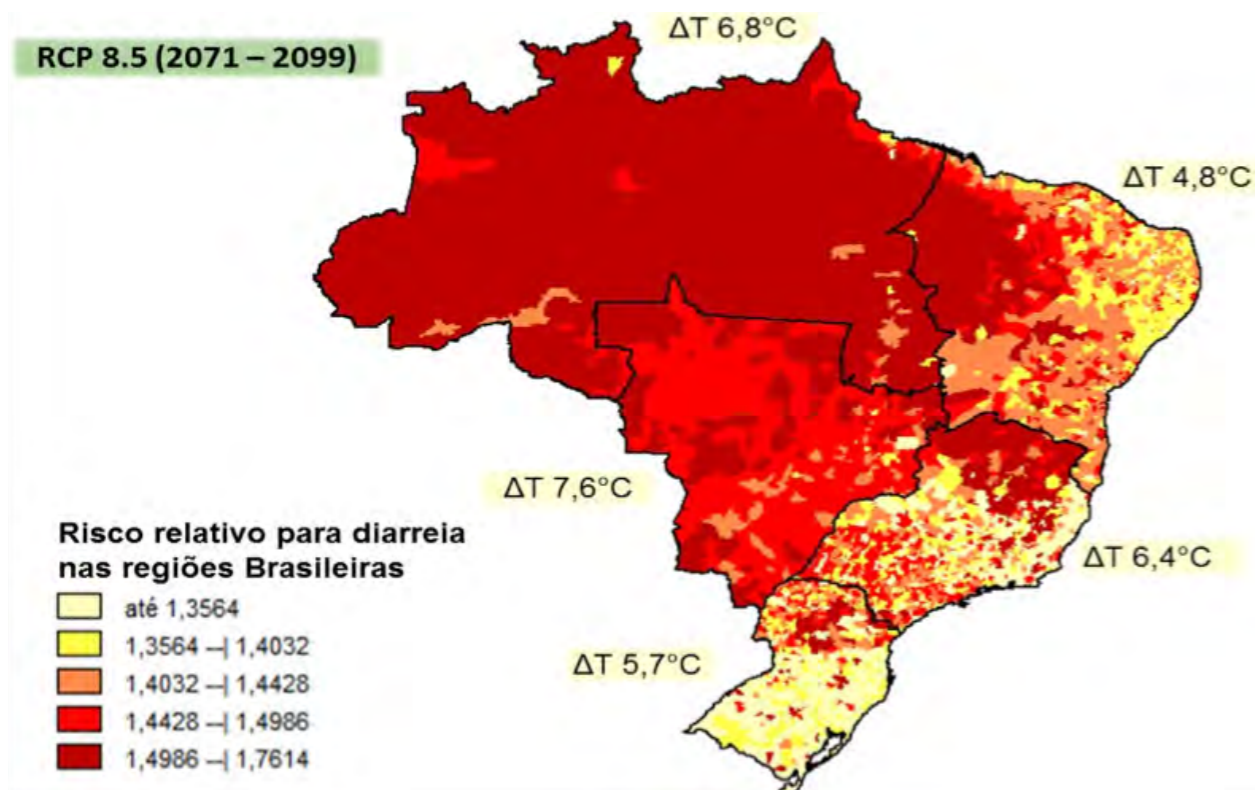


Figura 11 Projeções para estimativas de risco para ocorrência de diarreia no municípios do Brasil, de acordo com o aumento da temperatura usando o cenário RCP 8.5 no período de (2071 – 2099) (Seção 4, Figura 35).

- Nas regiões Norte e Nordeste, aproximadamente 80% dos municípios apresentam vulnerabilidade muito alta para condições de saúde, representando cerca de 40% da população infantil e idosa da região, que poderão estar expostas a um aumento médio de 5°C na região Nordeste e 7°C na região Norte no cenário RCP 8.5 no período de 2071-2099.

BIODIVERSIDADE

Um aumento igual ou superior a 4°C na temperatura média pode levar, no Brasil, a um aumento de 15,7% no risco extinção de espécies, que na América do Sul já é o mais alto do mundo. Entre as vítimas estariam espécies de grande importância socioeconômica, como as abelhas da Mata Atlântica, as plantas comestíveis do cerrado e espécies do litoral. A produtividade agrícola poderá ter queda significativa, com prejuízos econômicos e sociais.

- Para o cenário de emissões mais altas, há risco de **savanização** e empobrecimento de florestas nas décadas finais do século (Figura 12).

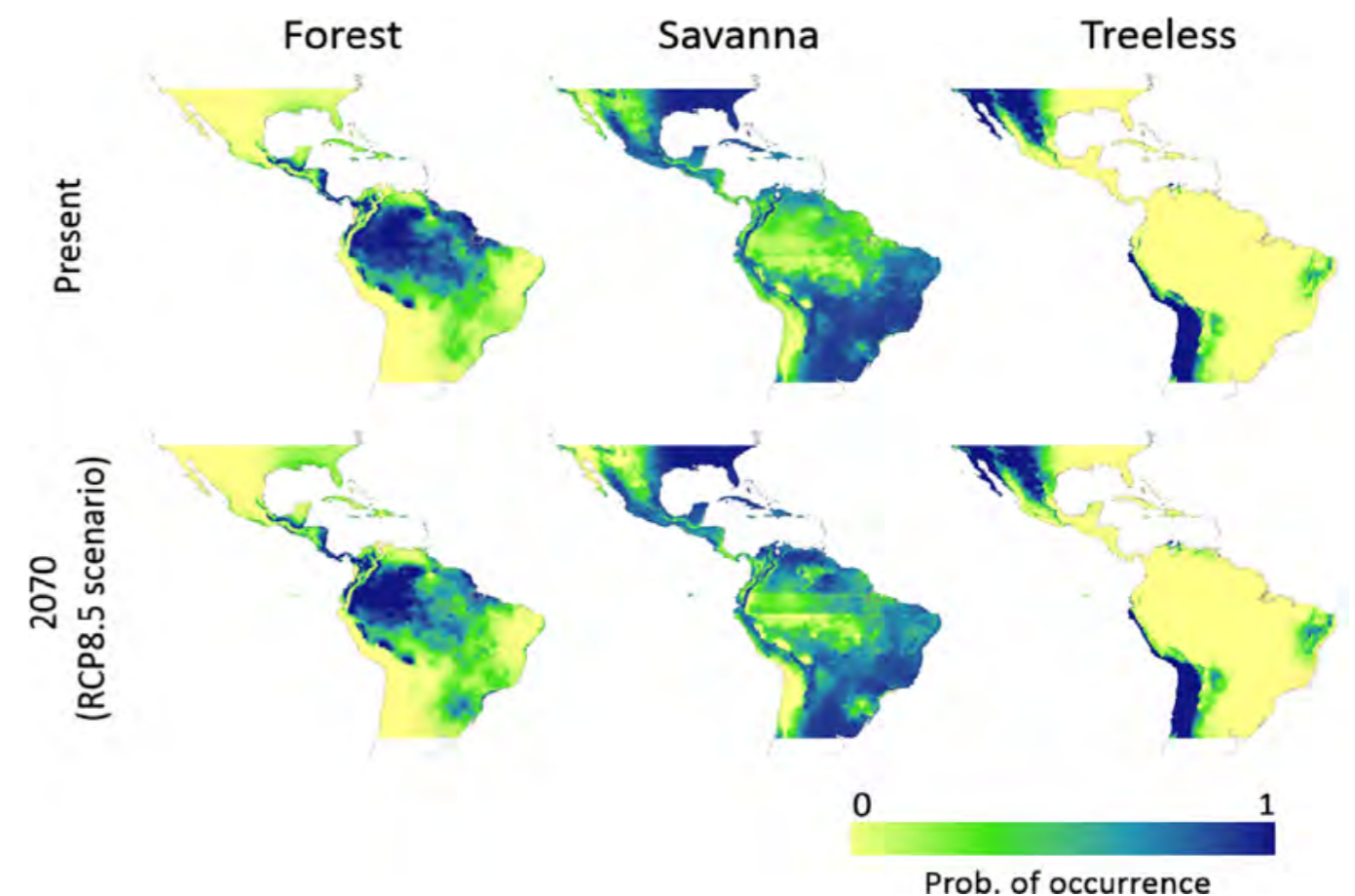


Figura 12 Projeção espacial de três estados alternativos (floresta, savanna e sem árvores) para o tempo presente (1950–2000) e para o ano 2070 no cenário RCP8.5 para a América tropical e subtropical. Em 2070, a probabilidade da temperatura no Brasil ter aumentado entre 2°C e 3°C é de 90% (Seção 5, Figura 1).

- Aumento no percentual de **risco de extinção de espécies de até 15,7%**, sendo a América do Sul o continente mais suscetível à extinção (Figura 13).

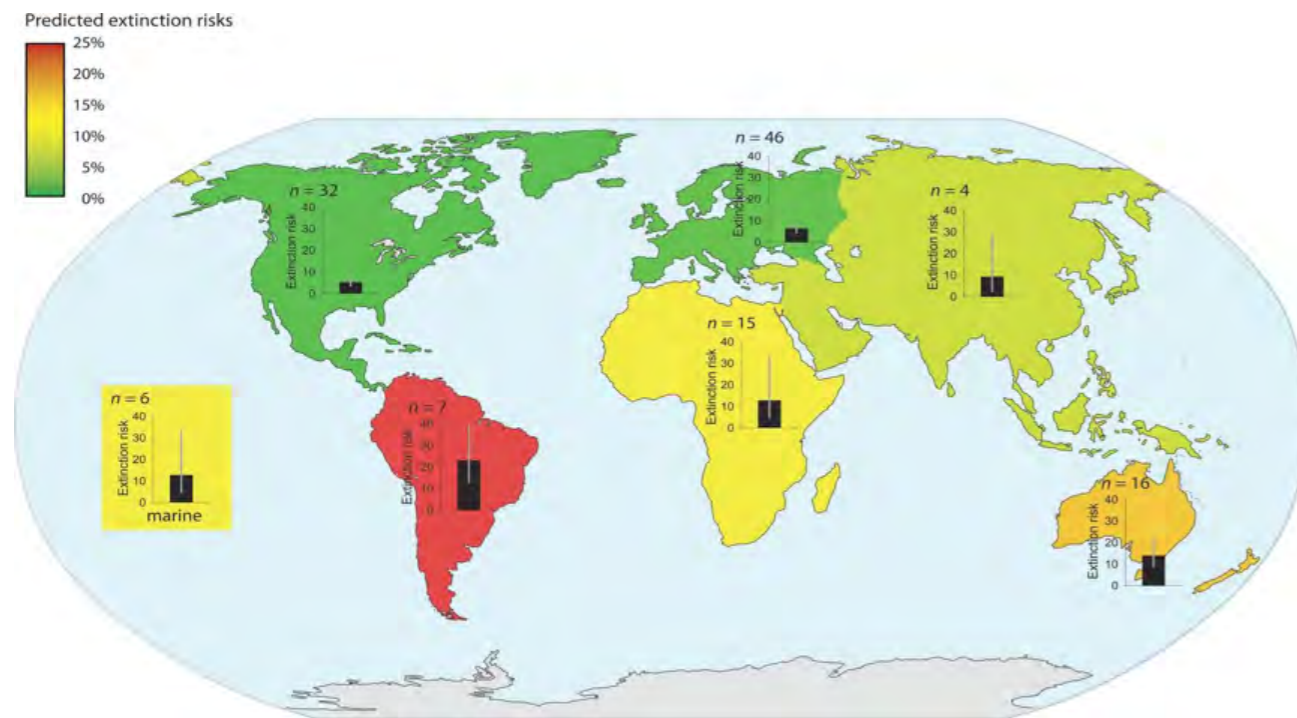


Figura 13 Os riscos previstos de extinção de espécies devidos às mudanças climáticas variam por região. A América do Sul possui o maior risco (23%), seguido de Oceania (16%) e África (15%). O risco é menor na América do Norte e Europa (5 a 6%). Barras são valores médios com intervalo de confiança de 95% e n é o número de estudos (Seção 5, Figura 3).

- **Extinção e mudanças no padrão de distribuição de espécies nativas** de valor comestível e cultural no cerrado, causariam problemas socioeconômicos em 2080.
- Impactos socioeconômicos também ocorreriam, por exemplo: a **redução nas populações de espécie de abelhas nativas** da Mata Atlântica, é essencial à polinização tanto de espécies agrícolas como de espécies nativas, esse impacto já se verificaria em 2030 e se agravaria até à extinção em 2050 e 2080.
- Em 2100, o Brasil **perderia 200 dias por ano para o crescimento de plantas**, causando impactos de grande magnitude tanto para a biodiversidade, a produtividade de ecossistemas e economia.
- Em 2100, a **perda de biodiversidade nas costas tropicais**, inclusive brasileira será significativa, gerando impactos sobre a alimentação e economia.

ENERGIA

A vulnerabilidade do setor elétrico brasileiro frente aos cenários de temperaturas extremas dependerá da própria trajetória de evolução desse sistema no futuro. De ponto de vista qualitativo e partindo de um impacto negativo quantificado sobre as hidrelétricas brasileiras para um cenário de aquecimento maior de 4oC para em 2100, os impactos projetados neste setor seriam:

- O **déficit no atendimento da demanda elétrica** no país se torna praticamente inevitável em um cenário de clima extremo até 2040.
- Temperaturas maiores podem, também, **estressar o sistema elétrico pelo lado da demanda**, dada a maior demanda por eletricidade para lidar com temperaturas ambientes mais elevadas.
- Em cenários de mitigação, **fontes renováveis, como eólica e solar, tornam-se mais importantes**, além de fontes fósseis acopladas a captura e armazenamento de carbono. Independentemente do cenário, em um horizonte até 2050, a hidroeletricidade continua a fonte mais importante de geração elétrica no país, apesar de perder participação relativa (Figura 14).

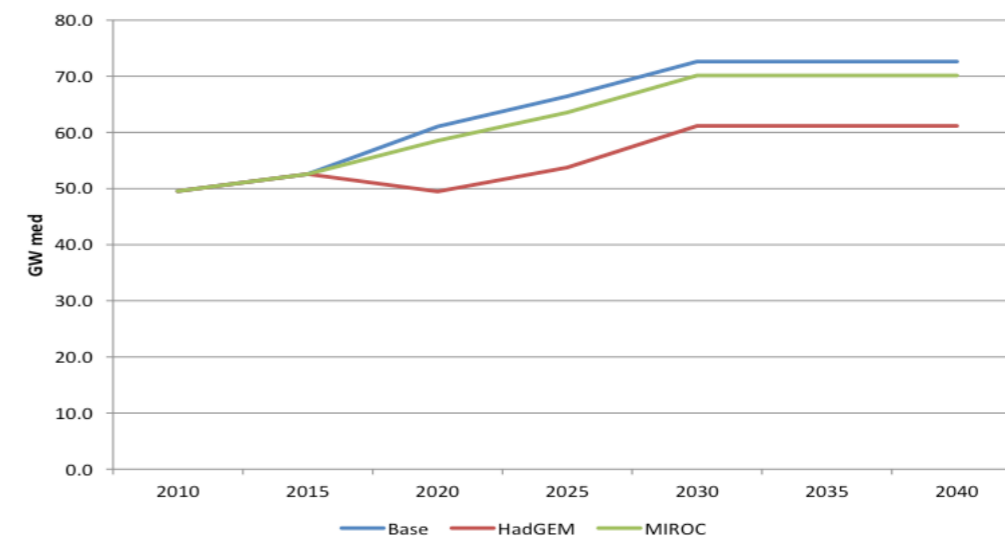


Figura 14 Geração hidroelétrica total nos cenários RCP 4.5 com e sem impactos (Seção 6, Figura 10).

- No que diz respeito às **demais fontes renováveis de energia, todas estariam, em graus variáveis, vulneráveis às mudanças climáticas**. A energia da biomassa também seria impactada por climas extremos, reduzindo ainda mais os recursos energéticos brasileiros renováveis.
- Em cenários de clima extremo, pode-se esperar, portanto, um ciclo vicioso, em que os **impactos climáticos gerados levariam a que se recorresse a fontes energéticas que agravariam ainda mais o problema das mudanças climáticas**.

3. RECOMENDAÇÕES

- Para este projeto, os pesquisadores avaliaram estudos já publicados recentemente sobre impactos do aquecimento no Brasil. Em geral todos os setores apontam a reduzida literatura existente acerca do impacto de um aumento igual ou superior a 4oC de temperatura média no país.
- No setor de energia, a partir do exposto, torna-se fundamental começar a se incorporar a questão da vulnerabilidade climática do parque gerador brasileiro no próprio planejamento do setor elétrico nacional.
- A análise das consequências atuais e futuras de elevação da temperatura em 4°C é um aspecto importante para a agricultura brasileira, por ser esta uma atividade diretamente afetada pelo aumento da concentração de CO2, aumento de temperatura e aumento da frequência da ocorrência de fenômenos extremos. Dessa forma, estudos dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira são de fundamental importância.
- A soja, o milho, o café e o feijão, são alimentos já apresentam queda de produtividade em função das mudanças climáticas. O impacto das mudanças climáticas na agricultura traz novos desafios: onde é melhor plantar? Quais são as estratégias para não perder produtividade?
- O Brasil possui uma grande produção de alimentos e pode continuar ocupando essa posição mundial utilizando técnicas como a produção de sementes mais resistentes à seca e a agricultura de baixa emissão de carbono.
- A avaliação dos efeitos sobre a saúde humana precisa de uma abordagem interdisciplinar dos profissionais de saúde, climatologistas, cientistas sociais, biólogos, físicos, químicos, epidemiologistas, dentre outros, para analisar as relações entre os sistemas sociais, econômicos, biológicos, ecológicos e físicos e suas relações com as alterações climáticas extremas.
- Faz-se necessária a implementação de ações e programas intersetoriais para redução de vulnerabilidades sociodemográficas, econômicas e de acesso aos serviços de saúde, que poderão reduzir também os impactos do aumento extremo da temperatura, especialmente para doenças transmitidas por água e alimentos contaminados.
- São necessárias ferramentas de priorização de áreas para conservação (especialmente na Amazônia Ocidental, Pantanal e Cerrado) e restauração (especialmente na Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa), que são utilizadas na orientação de políticas públicas como o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e do Novo Código Florestal, e que devem incorporar nas suas análises a componente climática, com cenários de aumento de temperatura acima de 4oC.

REDUÇÃO E AVALIAÇÃO DE RISCOS

Uma avaliação dos riscos destina-se fundamentalmente a favorecer a nossa compreensão quanto aos problemas que enfrentamos; e ao mesmo tempo, ela pode fornecer alguns elementos sobre a natureza das soluções.

A avaliação de riscos deve ser feita sistematicamente e atualizada regularmente, e tem a finalidade de alcançar as esferas mais altas dos governos. Enquanto isso, minimizar riscos significa influenciar a formulação de políticas que deem prioridade a mitigação das emissões.

As mudanças climáticas precisam ser compreendidas pelos formuladores de políticas como uma questão de gestão de riscos. Minimizar os riscos significa influenciar de forma rígida e urgente a formulação de políticas que priorizem a mitigação.

Usualmente as projeções de impactos setoriais e condições para o Brasil é produzida pela extrapolação de estudos internacionais, o que pode gerar inúmeras incertezas e imprecisões. Assim, o aprofundamento analítico e crítico dos riscos extremos do aumento da temperatura, considerando os diferentes setores chaves e biomas no Brasil é uma necessidade para o País.

Em razão da complexidade de se avaliar os impactos nos setores de energia, agricultura, saúde e biodiversidade associados a eventos climáticos extremos, e a um aquecimento maior de 4oC, recomenda-se um investimento científico na busca novas abordagens metodológicas e tecnológicas, com inclusão de extensas séries temporais de dados e a adoção de áreas sentinelas representativas dos biomas e áreas urbanas no Brasil, para uma análise mais refinada de situações particulares de impactos.



Embaixada Britânica
Brasília