



C.010/2015 – GP/FEA

Brasília, 13 de janeiro de 2015.

A Senhora
Priscilla Santos
Subsecretaria de Desenvolvimento Sustentável
Secretaria de Assuntos Estratégicos
Presidência da República

Referência: Projeto BRA 06/032 – PRIVADOS – C/C 96.518-9 Entrega do 4º Produto

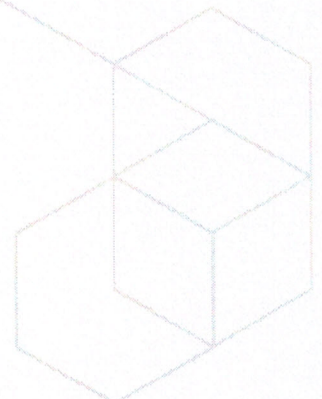
Prezada Senhora,

Em conformidade com a Carta de Acordo nº 25760/2014 na qual estabelece parceria entre o PNUD e a Fundação Eliseu Alves para elaboração de pesquisas, a condução de grupos de discussão e a elaboração de subsídios técnicos conclusivos relacionados à área temática de Adaptação às Mudanças do Clima, vimos pela presente oficializar a entrega do quarto produto enviado pelo Dr. Eduardo Monteiro com as alterações pertinentes - “Relatório da Simulação dos cenários para as Principais culturas brasileiras no período 2011 – 2040..”

Sem mais para o momento subscrevemo-nos ao inteiro dispor de Vossas Senhorias, para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários.

Atenciosamente,

Claudio Humberto Amancio
Gerente de Projetos





Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura

CARTA DE ACORDO Nº 25760/2014

Fundação Eliseu Alves

Relatório de análise comparativa das culturas nos cenários simulados para 2040

em relação à condição atual.

(Produto 4)

Equipe Executora e Autora:
(em ordem alfabética)

LMA / CNPTIA / Embrapa:

Alan Massaru Nakai

Aryeverton Fortes de Oliveira

Giampaolo Queiroz Pellegrino

Eduardo Delgado Assad

José Eduardo B. de A. Monteiro

Consultores:

Eduardo Pavão

Campinas - SP
Dezembro 2014

Sumário

1. CONTEXTO	3
2. ÁREA DE ALTO E BAIXO RISCO NOS CENÁRIOS AGRÍCOLAS FUTUROS	4
3. RESULTADOS	4
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
5. REFERÊNCIAS	27



1. CONTEXTO

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações serão realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de grande importância para o planejamento estratégico brasileiro. Para tanto, o projeto foca no tema da Adaptação às Mudanças Climáticas.

A agricultura tem um papel importante nesse contexto, pois é fortemente impactada pela mudança climática. Devido à enorme importância do setor agrícola na economia do País, é preciso melhor conhecer os efeitos e as opções de adaptação do setor agrícola às mudanças do clima no Brasil. Dessa forma, a SAE/PR propôs uma avaliação dos prováveis impactos de diferentes cenários climáticos para o Brasil, bem como as estratégias alternativas de adaptação em um horizonte de 30 anos (2010-2040). A fim de concretizar essa proposta, uma série de ações foram organizadas a fim de produzir os dados e informações necessárias, conforme listado na Tabela 1.

Este documento, em particular, se restringe à análise dos impactos da mudança climática traduzidos em variações de área agricultável de baixo e alto risco climático, na comparação do período de referência (1976-2005) com os cenários do período 2011-2040 (Produto 4).

Tabela 1. Ações em execução previstas na carta de acordo de cooperação técnica 25760/2014, “Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura”.

Ação / Produto	Produto esperado / Forma de entrega dos resultados
1	Linha de base de produção agropecuária e alocação de terra para o período 2010-2040.
2	Relatório referente à preparação do simulador de cenários de cultura para a utilização de modelos climáticos regionalizados.
3	Relatório da simulação dos cenários para as principais culturas brasileiras em 2040.
4	Relatório de análise comparativa das culturas nos cenários simulados para 2040 em relação à condição atual.
5	Relatório de análise de produção agropecuária e alocação de terra com mudança do clima, para 2040, a partir de modelo econômico.
6	Análise de Vulnerabilidade econômica do sistema de produção das principais culturas brasileiras.
7	Relatório de análise das possíveis medidas adaptativas identificadas.
8	Relatório final.

2. ÁREAS DE ALTO E BAIXO RISCO NOS CENÁRIOS AGRÍCOLAS FUTUROS

A metodologia utilizada para as estimativas de risco climático e zoneamento das áreas de alto e baixo risco foi detalhadamente descrita nos Produtos 2 e 3. As probabilidades estimadas para os vários pontos de grade, em termos de frequência em que se satisfaz as necessidades agroclimáticas das culturas, foram interpoladas pelo processo de Krigagem. Dessa forma, foi possível mapear as áreas de acordo com o risco climático estimado para a cultura, em cada data de plantio. Depois disso, os mapas gerados de risco foram processados em software GIS para definição das áreas agricultáveis, ou seja, excluindo reservas indígenas, reservas florestais, áreas de preservação permanente, corpos d'água, unidades de conservação e áreas com declividade superior a 18%.

Dessa forma, a partir desses resultados, sintetizados nos mapas de risco do Produto 3, a próxima etapa consistiu em sumarizar os valores municipais em totais de área legal agricultável (ALA) de baixo risco e estimar sua variação em relação ao período de referência. Os valores de área municipal foram totalizados para cada Estado brasileiro e, depois, totalizados nas cinco regiões geográficas e para todo o país. Dessa forma, é possível estimar as variações, positivas ou negativas, das áreas potenciais de baixo risco de cada Estado ou Região, conforme pode-se verificar nas tabelas apresentadas no item “3. Resultados”.

3. RESULTADOS

Foram organizadas as tabelas apresentadas para o país e suas regiões com os valores: (a) da área plantada de cada cultura, de acordo com os dados do IBGE de 2012 e que porcentagem ela representa da área legal agricultável (ALA); (b) do total de área agricultável de baixo risco climático para o período de referência, que vai de 1976 a 2005 e está centrado em 1990 (A90), e que porcentagem ela representa da ALA; (c) dos totais de área agricultável de baixo risco climático e da variação percentual em relação ao período de referência estimados, para os cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP¹ 4.5 e 8.5; (d) das diferenças de variação percentual de área entre os dois RCPs de cada modelo e entre os dois modelos.

¹ RCP, do inglês “Representative Concentration Pathways”. O RCP representa a evolução, ao longo do tempo, das emissões de gases do efeito estufa e seu acúmulo na atmosfera, que resultam numa força radiativa. Neste estudo, foram considerados os cenários que resultam em forças radiativas de $4,5w.m^{-2}$ e $8,5w.m^{-2}$

3.1. Principais áreas de risco climático no Brasil

As condições de risco climático dependem da cultura considerada e de sua fase de desenvolvimento, sendo influenciadas pelo solo e pelo manejo adotado. De acordo com Petr (1990) e Fageria (1992), citados por Hoogenboom (2000), ao redor de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo devem-se à variabilidade das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro, já que os agricultores não podem exercer nenhum controle sobre tais fenômenos naturais. Um dos fatores de risco são as temperaturas extremas que, quando muito baixas ou muito altas, podem provocar estresse fisiológico ou danos diretos em plantas e animais resultando em redução de produtividade. Danos diretos provocados por vento muito intenso e granizo também são um fator de risco, mas de ocorrência muito mais localizada e esporádica. Porém, no Brasil, o fator de risco climático mais importante deriva de das condições hídrica durante o cultivo. No Brasil, o suprimento hídrico para culturas agrícolas, inclusive pastagens, florestas e pomares, é proveniente quase que exclusivamente da chuva. Estima-se que cerca de 5% das áreas agrícolas nacionais sejam irrigadas (PAZ et al., 2000). Portanto, nas áreas não irrigadas, as culturas encontram-se sujeitas às grandes variações naturais da chuva, tanto em quantidade como em distribuição, com meses ou anos de maior ou menor oferta. Isto faz com que a variabilidade dos regimes de chuva seja o principal fator de risco climático para a agricultura no Brasil.

Os dados dos modelos climáticos HadGen2-Es e Miroc5, gerados para cenários futuros de mudança climática, indicam, invariavelmente, aumentos médios de temperatura em todo o território Nacional. Além disso, indicam, ainda, mudança dos padrões médios de precipitação, com predominância de redução dos totais mensais de precipitação. Em alguns casos menos frequentes, o modelo Miroc5 indica aumento médio nos totais de chuva em algumas áreas do país e durante alguns meses do ano. Assim, de forma geral, isso sugere agravamento das restrições hídricas para a produção de culturas agrícolas no futuro, tanto pelo aumento do consumo ou demanda hídrica, provocada pelo aumento das temperaturas, como pela redução da oferta hídrica, dada pela diminuição das chuvas.

Recorrendo-se aos mapas apresentados no produto 3 e de maneira geral para as culturas avaliadas, uma extensa área com alto risco encontra-se na região do semiárido brasileiro, se estendendo por terras de todos os Estados do Nordeste, exceto Maranhão, abrangendo o norte de Minas Gerais e do Espírito Santo. Nessa região, o alto risco deriva da condição média de poucos

meses de chuva durante o ano. Além disso, mesmo os meses mais chuvosos apresentam baixa pluviosidade se comparado a outras regiões do país. Os períodos mais secos ocorrem naturalmente associados a valores elevados de insolação – devido à baixa nebulosidade – e, conseqüentemente, valores também elevados de temperaturas, valores baixos de umidade do ar e altos de demanda hídrica.

Outra área de alto risco, que afeta algumas culturas, se estende pela maior parte do Rio Grande do Sul, oeste de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná. Nessa região, as condições meteorológicas que resultam na ocorrência de alto risco são um pouco diferentes que as do Nordeste. Em primeiro lugar porque a chuva ocorre de forma relativamente equilibrada em todos os meses do ano. Em segundo, a região passa por um inverno frio que impede o cultivo da maioria das culturas devido a temperaturas baixas limitantes. Em função disso, a produção de culturas anuais é alocada basicamente nos meses de primavera e verão, quando as temperaturas são mais quentes que as do outono e inverno. Nessa época, as perdas ou quebras de produtividade nessa região, ocorrem devido aos veranicos. No verão do Sul, onde os dias podem chegar a ser tão quentes quanto os do Nordeste em algumas situações, a ocorrência de períodos com mais do que seis dias consecutivos sem chuva são prejudiciais para a produtividade das culturas. Esses períodos secos, com vários dias consecutivos sem chuva, podem variar, por exemplo, de 6 a 20 dias, ou mais. Quanto maior a duração do veranico, menor sua frequência ou probabilidade de ocorrência, mas muito maior seu potencial de dano e redução de produtividade. Dessa forma, mesmo apresentando médias pluviométrica relativamente elevadas, o risco climático dessa porção territorial deriva da ocorrência relativamente frequente de veranicos.

Uma outra porção territorial que apresenta áreas significativas se alto risco é o sudoeste e sul do Mato Grosso do Sul. Essa região, principalmente nos cenários futuros de algumas culturas, se estende ao oeste paulista e noroeste do Paraná. Essa região, apresenta um período chuvoso e totais mensais de chuva maiores do que a região de alto risco descrita no Nordeste. No entanto, ao contrário do Sul, apresenta uma estação seca no ano, com uma distribuição de chuvas típica das regiões centrais do Brasil, típicas do Cerrado. No entanto, a estação chuvosa também é marcada pela ocorrência de veranicos, o que eleva o risco nessa área. Dessa forma, tanto esta área quanto as áreas da Região Sul apresentam alto risco não pela falta de precipitação mas pela distribuição irregular das chuvas.

Esta breve descrição apresenta um pouco das características climáticas dessas partes do

território brasileiro e por que elas implicam em maior ou menor risco climático à agricultura. Isso permite compreender as modificações observadas nos cenários futuros, resultantes do aumento da temperatura e da alteração nos totais de chuva. De um modo geral, o que se observa nos dois modelos é um consistente aumento da temperatura e uma diminuição das chuvas.

3.2. Risco climático no Brasil nos cenários futuros 2011-2040

A tabela 2 ilustra as variações de áreas agricultáveis potenciais de baixo risco climático comparando os cenários futuros (2011-2040) à condição atual ou período de referência (1976-2005) para soja, milho, milho safrinha, arroz, feijão, trigo, algodão, sorgo, cana e feijão caupi, de forma integrada para o Brasil. Nesse sentido, reduções de áreas potenciais de baixo risco são expressos com valores negativos e aumentos com valores positivos. Com base nesses resultados, é possível visualizar os aumentos e diminuições de áreas de baixo risco climático projetados para cada cenário futuro e para cada cultura. As tabelas são autoexplicativas e representam bem as variações das áreas de baixo risco climático no território brasileiro. Além disso, elas correspondem fielmente aos mapas já apresentados como parte do produto 3, referido na tabela 1.

Os resultados da Tabela 2 evidenciam uma tendência predominante de redução de áreas de baixo risco climático do Brasil, nos dois modelos estudados, ou seja, uma tendência geral e inequívoca de aumento do risco climático no período futuro 2011-2040. Os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES são mais severos, com redução de área para todas as culturas, variando de -2,7% a -36,3% no cenário com RCP 4.5 e de -3,8% a -39,3% no cenário com RCP 8.5%.

Os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5 indicam redução de áreas de baixo risco climático em seis das dez culturas analisadas. Para algumas culturas, ocorre aumento de área, ou seja, diminuição do risco climático, principalmente para o milho safrinha, devido ao aumento de chuvas nas regiões e épocas do ano em que o milho safrinha é cultivado.

Tabela 2 - Área plantada de cada cultura no Brasil, de acordo com os dados do IBGE de 2012 e porcentagem da área legal agricultável ALA; total de área agricultável de baixo risco climático para o

período de referência, centrado em 1990 (A90), e porcentagem da ALA; totais de área agricultável de baixo risco climático e da variação percentual para os cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5

Área legal agricultável - ALA (ha)	Cultura	Área de baixo risco em 1990 (ha)	% da ALA	Área Plantada (ha)	% da ALA
Brasil	Soja	187.604.230	79,5%	24.975.258	10,6%
235.865.565	Milho	223.575.351	94,8%	7.595.853	3,2%
	Milho safrinha	176.700.524	74,9%	7.468.878	3,2%
	Arroz	213.757.326	90,6%	2.412.987	1,0%
	Feijão	207.013.390	87,8%	3.182.515	1,3%
	Cana	200.959.701	85,2%	9.752.123	4,1%
	Algodão	228.209.965	96,8%	1.420.173	0,6%
	Trigo	203.636.134	86,3%	1.912.711	0,8%
	Sorgo	232.255.861	98,5%	727.839	0,3%
	Feijão Caupi	224.852.977	95,3%	Não disponível	-

Área legal agricultável - ALA (ha)	Cultura	Área de baixo risco (ha) HadGen RCP4.5	Variação da área de baixo risco	Área de baixo risco (ha) HadGen RCP8.5	Variação da área de baixo risco
Brasil	Soja	119.515.310	-36,3%	113.862.759	-39,3%
235.865.565	Milho	187.738.194	-16,0%	187.706.368	-16,0%
	Milho safrinha	131.657.041	-25,5%	127.113.627	-28,1%
	Arroz	168.121.540	-21,3%	162.499.427	-24,0%
	Feijão	160.674.936	-22,4%	153.865.164	-25,7%
	Cana	195.541.796	-2,7%	193.398.619	-3,8%
	Algodão	203.743.688	-10,7%	197.600.968	-13,4%
	Trigo	160.260.990	-21,3%	153.093.983	-24,8%
	Sorgo	215.398.079	-7,3%	210.916.737	-9,2%
	Feijão Caupi	192.774.213	-14,3%	192.382.517	-14,4%

Área legal agricultável - ALA (ha)	Cultura	Área de baixo risco (ha) MIROC RCP4.5	Variação da área de baixo risco	Área de baixo risco (ha) MIROC RCP8.5	Variação da área de baixo risco
Brasil	Soja	161.593.469	-13,9%	167.139.398	-10,9%
235.865.565	Milho	220.709.004	-1,3%	220.454.667	-1,4%
	Milho safrinha	190.599.670	7,9%	177.905.612	0,7%
	Arroz	187.070.790	-12,5%	192.085.531	-10,1%
	Feijão	210.118.011	1,5%	210.091.727	1,5%
	Cana	209.253.767	4,1%	211.297.363	5,1%
	Algodão	227.040.867	-0,5%	226.819.820	-0,6%
	Trigo	195.745.225	-3,9%	193.463.323	-5,0%
	Sorgo	232.212.575	0,0%	231.478.016	-0,3%
	Feijão Caupi	223.190.544	-0,7%	222.977.016	-0,8%

Essa diferença no risco climático estimado entre modelos decorre das maiores temperaturas projetadas pelo modelo HadGen2-ES em relação ao Miroc5. Por outro lado, o modelo Miroc5 além de projetar aumentos menores de temperatura, também projeta aumento de precipitação em algumas regiões. As diferenças entre os cenários RCP 4.5 e 8.5 são relativamente pequenas no período estudado de 2011 a 2040, mas se ampliam com o passar do tempo, devido ao

efeito cumulativo da liberação de gases do efeito estufa na atmosfera. Por isso, as diferenças projetadas são bem maiores nos períodos de 2041-2070 e 2071-2100 (IPCC, 2014), não utilizados neste estudo.

As Figuras 1 e 2 ilustram a variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático apresentados na Tabela 2.

Os resultados das estimativas de impacto das mudanças climáticas são bastante distintos de acordo com a cultura estudada, pois dependem da profundidade do sistema radicular, da duração do ciclo, do coeficiente de cultura e da sensibilidade à deficiência hídrica. Dessa forma, a dinâmica espacial das alterações das áreas de baixo e alto risco diferem de uma cultura para outra, devido as particularidades e necessidades específicas de cada uma. Apesar dessas variações entre culturas, os impactos verificados indicam predominância de aumento do risco climático e diminuição de áreas de baixo risco para todas as culturas analisadas com cenários HadGen2-ES e para a maioria das culturas nos cenários Miroc5.

Uma questão importante a ser considerada na interpretação destes resultados é que os municípios são considerados de baixo risco quando apresentam, pelo menos, um decêndio de plantio de baixo risco. Em regiões em que o período de cultivo favorável é curto, tem vantagem as culturas de ciclo mais curto pois culturas de ciclo mais longo correm o risco de ter parte do seu ciclo (inicial ou final) fora do período ou estação favorável, inviabilizando a cultura naquele local. Um exemplo que ilustra este caso são as diferenças observadas entre arroz e feijão nos cenários do modelo Miroc5, em que o arroz apresenta redução de até 12% enquanto o feijão apresenta aumento de até 1% de áreas. Apesar do feijão ser uma cultura normalmente mais suscetível à deficiência hídrica que o arroz, seu ciclo mais curto acaba viabilizando seu cultivo em regiões de período favorável curto, insuficientes para o arroz.

Com isso, tem-se um intervalo relativamente abrangente de situações que podem vir a se concretizar no futuro, de forma que as recomendações de adaptação devem ser planejadas e dimensionadas com base nesses cenários possíveis.

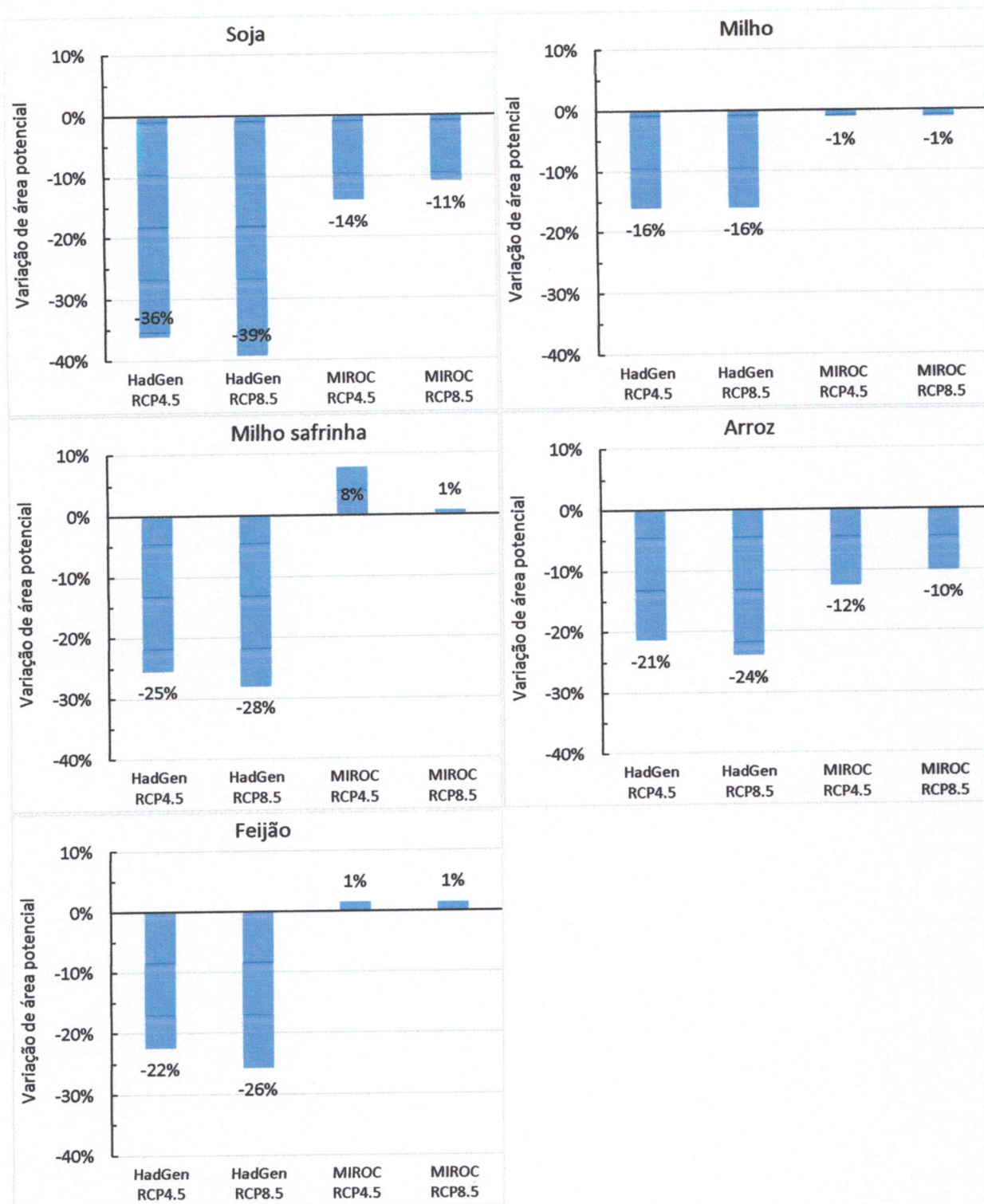


Figura 1. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático no Brasil, para soja, milho, milho safrinha, arroz e feijão, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

A Soja é a cultura mais afetada nos cenários futuros, tanto para o HaGen2ES, quanto para o Miroc5. Comparando-se ao período de referência, nota-se claramente a variação das áreas de

baixo risco climático para essa cultura, observando-se uma redução geral no Brasil de cerca de 36% no rcp4.5 e 39% no rcp8.5, ambos para o modelo HadGen2ES. Para o modelo Miroc5, essa redução é menor, ficando em torno de 14% para o rcp4.5 e 11% para o rcp8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sul (Figura 7) do Brasil, com variações de -99% no RCP4.5 e -99% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Sul, com variações de -59% no RCP4.5 e -32% no RCP8.5. Na região nordeste, a fronteira oeste da área de alto risco se expande da região central do Piauí para o extremo oeste do Estado e adentrando na fronteira próxima com o Maranhão. Na Bahia, se expande ao oeste até a divisa com Tocantins e Goiás. Em Minas Gerais, aumenta do extremo norte do Estado para até quase a divisa com São Paulo. Passa englobar todo o Espírito Santo e partes do Rio de Janeiro. Na Região Sul, a área de alto risco se espalham por todo o Sul, cobrindo quase que completamente o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e o Paraná. Além disso, passam a cobrir também a quase totalidade do Mato Grosso do Sul e do Estado de São Paulo, chegando ao Sul do Mato Grosso e também no Triângulo Mineiro. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

Para a cultura do Milho de safra normal, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 16% para os cenários do modelo HadGen2-ES e de até 1% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -33% no RCP4.5 e -40% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste (Figura 4), com variações de -5% no RCP4.5 e -7% no RCP8.5. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

Para a cultura do Milho safrinha, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 28% para os cenários do modelo HadGen2-ES e aumento de até 8% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -88% no RCP4.5 e -87% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada também seria o Sudeste (Figura 6), com variações de +9% no RCP4.5 e -18% no RCP8.5. Ainda considerando o modelo Miroc5, no Centro-Oeste

estima-se variações de +14% no RCP4.5 e +6% no RCP8.5. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos. Comparando-se o milho safrinha com o milho de safra normal, observa-se que o milho safrinha é bastante mais afetado nos cenários HadGen2-ES pois, ao se procurar aproveitar os últimos meses com disponibilidade de temperatura e, principalmente, de água para o desenvolvimento da safra, nos cenários futuros essa disponibilidade é reduzida, impactando significativamente essa segunda safra. Por outro lado, o mesmo milho safrinha apresenta valores positivos no modelo Miroc5, ou seja, aumento da área de baixo risco. Isso ocorre devido a alterações no padrão de chuvas do final da estação chuvosa do modelo Miroc5, com aumento de pluviosidade, particularmente no Mato Grosso do Sul e oeste paulista no período de abril a julho. Por isso mesmo, as maiores mudanças no risco ocorrem nessas áreas, como demonstrado nos mapas da Figura 6 do Produto 3. Essa “inversão” de sinal (positivo x negativo) ocorreu em todas as regiões (NE, SE, CO e Sul), sendo mais positiva no RCP4.5 e menos no RCP8.5, exceto no Norte onde permaneceu sem alterações e no Sudeste, onde o RCP8.5 é negativo.

Para a cultura do Arroz, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 24% para os cenários do modelo HadGen2-ES e redução de 12% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -43% no RCP4.5 e -51% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste (Figura 4), com variações de -22% no RCP4.5 e -23% no RCP8.5. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

Para a cultura do Feijão, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 26% para os cenários do modelo HadGen2-ES e aumento de até 1% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -50% no RCP4.5 e -61% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste (Figura 4), com variações de +10% no RCP4.5 e +7% no RCP8.5. Em algumas porções do Nordeste, onde ocorrem períodos favoráveis de chuva muito curtos (ex. 2 meses), o aumento da pluviosidade em alguns meses ampliaria o período favorável (ex. 3 ou 4 meses), resultando em menor risco climático para culturas de ciclo

muito curto (ex. 90 dias), como o feijão. Porém, o mesmo não ocorreria para culturas de ciclos mais longos como milho, soja ou arroz (ex. 130 dias).

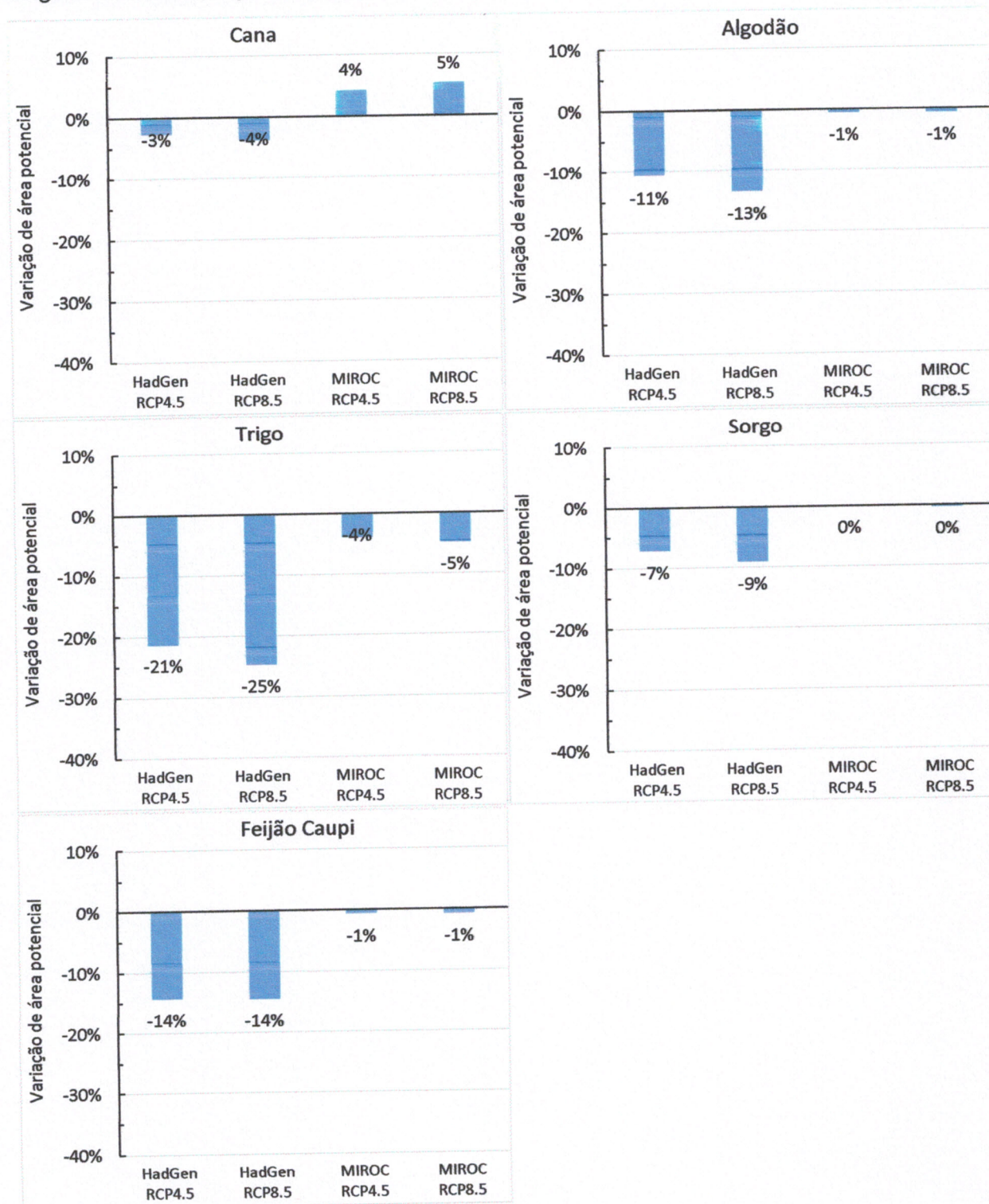


Figura 2. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático no Brasil, para cana, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

Essa alteração positiva para o feijão ocorreria principalmente na fronteira oeste e sul da

zona de alto risco do Nordeste, como mostra a Figura 10 no relatório do Produto 3. Por outro lado, a região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

No outro extremo, isto é, o das culturas menos afetadas, encontram-se a cana-de-açúcar. Para a cultura da cana, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 4% para os cenários do modelo HadGen2-ES e aumento de até 5% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sul (Figura 7) do Brasil, com variações de +151% no RCP4.5 e +183% no RCP8.5. Por outro lado, o Nordeste (Figura 4) apresentou as maiores reduções de área, com variações de -23% no RCP4.5 e no RCP8.5. O ganho de áreas na Região Sul devido ao aumento da temperatura não seria suficiente para compensar, em termos nacionais, a perda de áreas no sudeste e no nordeste por deficiência hídrica. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada também seria o Sul, com variações de +55% no RCP4.5 e +95% no RCP8.5. E, neste caso, os totais nacionais ainda seriam positivos pois a redução no Nordeste seria mínima e, mesmo no Sudeste, haveria ganhos de área por melhora nas condições hídricas. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos. A expansão da cultura da cana que poderá ocorrer no Sul do país se deve ao aumento da temperatura. A região Sul do Brasil apresenta, atualmente, limitações devido a baixas temperaturas nos meses mais frios do ano, inclusive com ocorrência de geadas. Essa limitação é contornada, na prática pelos agricultores, ao utilizarem um período de plantio que não abrange o ano todo, mas que se restringe a uma época que não implica em coincidência de nenhuma fase do ciclo de cultivo nos meses mais frios dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Porém, no caso da cana de açúcar, seu ciclo de 360 dias ou mais, resulta em partes da planta com metabolismo sensível ao frio em todos os meses do ano, inclusive nos meses frios, independente da data de início do ciclo. Assim, nas regiões onde a ocorrência de temperaturas baixas é frequente, seu cultivo se torna inviável. Por isso, nos critérios de análise da cultura da cana, foram consideradas de alto risco todas as áreas em que qualquer mês do ano apresente temperaturas mínimas médias menores que 11°C. Sinclair et al. (2004), ao estudar o efeito das temperaturas mínimas ideais para o desenvolvimento da cana de açúcar, observou uma temperatura base para desenvolvimento em torno de 10 °C. Dessa forma, foi possível delimitar com boa precisão os limites das áreas atuais em que a cana pode ser cultivada e o quanto esses limites poderão se expandir para o sul a medida que as temperaturas aumentarem.

Para a cultura do Algodão, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 13% para os cenários do modelo HadGen2-ES e redução de até 1% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco foi o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -19% no RCP4.5 e -28% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste (Figura 4), com variações de -1% no RCP4.5 e -3% no RCP8.5. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) ou o Centro Oeste do Brasil, ambas sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

Para a cultura do Trigo, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 25% para os cenários do modelo HadGen2-ES e redução de até 5% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -50% no RCP4.5 e -61% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste (Figura 4), com variações de -12% no RCP4.5 e -13% no RCP8.5. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

Dentre as culturas menos afetadas, encontram-se o sorgo. Para a cultura do Sorgo as estimativas indicam redução de área da ordem de até 9% para os cenários do modelo HadGen2-ES e redução de até 0,3% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Nordeste (Figura 4) do Brasil, com variações de -19% no RCP4.5 e -18% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo Miroc5, a região mais afetada seria também o Nordeste (Figura 4), com variações de -0,1% no RCP4.5 e -2% no RCP8.5. As regiões menos alteradas seriam o Norte (Figura 3), o Centro Oeste e o Sul do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.

O feijão caupi é uma cultura importante no contexto do Nordeste brasileiro. Para a cultura do feijão caupi, as estimativas indicam redução de área da ordem de até 14% para os cenários do modelo HadGen2-ES e redução de até 1% para os do modelo Miroc5, para o Brasil como um todo. Considerando os resultados obtidos a partir do modelo HadGen2-ES de forma regionalizada, a região mais afetada quanto às áreas de baixo risco seria o Sudeste (Figura 6) do Brasil, com variações de -29% no RCP4.5 e -37% no RCP8.5. Considerando os resultados obtidos a partir do

modelo Miroc5, a região mais afetada seria o Nordeste (Figura 4), com variações de -3% no RCP4.5 e -4% no RCP8.5. A região menos alterada seria o Norte (Figura 3) do Brasil, sem variações no total de áreas de baixo risco, nos dois modelos.



Tabela 3 (a) - Área plantada de cada cultura nas Regiões Norte, Nordeste e Sudeste do país, de acordo com os dados do IBGE de 2012 e porcentagem da área legal agricultável ALA; total de área agricultável de baixo risco climático para o período de referência, centrado em 1990 (A90), e porcentagem da ALA; totais de área agricultável de baixo risco climático e da variação percentual para os cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5

		REGIÕES											
		Área Plantada(ha)	% da ALA	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp4.5	% da A90	HadGen rcp8.5	% da A90	Miroc rcp4.5	% da A90	Miroc rcp8.5	% da A90
Norte	Área Legal Agricultável - ALA (ha)			25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Cultura	686,513	2.67%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Soja	498,977	1.94%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Milho	42,480	0.17%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Milho safrinha	333,539	1.30%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Arroz	155,533	0.60%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Feijão	52,964	0.21%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Cana	7,500	0.03%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Algodão	0	0.00%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
	Trigo	17,320	0.07%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%
Sorgo	0	0.00%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	
Feijão Caupi	0	0.00%	25,742,165	100.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	25,742,165	0.0%	
Nordeste	Área Legal Agricultável - ALA (ha)			25,254,103	49.4%	21,989,940	-12.9%	22,140,058	-12.3%	21,533,040	-14.7%	21,308,650	-15.6%
	Cultura	2,114,806	4.14%	25,254,103	49.4%	21,989,940	-12.9%	22,140,058	-12.3%	21,533,040	-14.7%	21,308,650	-15.6%
	Soja	2,034,965	3.98%	38,823,503	76.0%	30,650,074	-21.1%	32,542,333	-16.2%	36,957,258	-4.8%	36,048,599	-7.1%
	Milho	426,317	0.83%	28,787,281	56.3%	25,245,483	-12.3%	26,893,116	-6.6%	30,923,447	7.4%	30,748,093	6.8%
	Milho safrinha	581,172	1.14%	31,683,445	62.0%	27,825,029	-12.2%	26,580,384	-16.1%	24,567,225	-22.5%	24,543,871	-22.5%
	Arroz	1,470,737	2.88%	28,433,148	55.6%	25,913,204	-8.9%	26,043,300	-8.4%	31,161,802	9.6%	30,340,038	6.7%
	Feijão	1,216,910	2.38%	47,681,331	93.3%	36,790,950	-22.8%	36,630,105	-23.2%	42,977,942	-1.4%	42,207,605	-3.2%
	Cana	476,102	0.93%	27,756,562	54.3%	25,343,084	-8.7%	24,769,986	-10.8%	24,513,964	-11.7%	24,135,783	-13.0%
	Algodão	0	0.00%	47,497,923	93.0%	38,242,042	-19.5%	38,768,623	-18.4%	47,454,636	-0.1%	46,720,078	-1.6%
	Trigo	95,632	0.19%	40,098,757	78.5%	32,060,200	-20.0%	33,919,466	-15.4%	39,086,557	-2.5%	38,311,468	-4.5%
Sorgo	0	0.00%	40,098,757	78.5%	32,060,200	-20.0%	33,919,466	-15.4%	39,086,557	-2.5%	38,311,468	-4.5%	
Feijão Caupi	0	0.00%	40,098,757	78.5%	32,060,200	-20.0%	33,919,466	-15.4%	39,086,557	-2.5%	38,311,468	-4.5%	
Sudeste	Área Legal Agricultável - ALA (ha)			50,671,376	88.6%	17,639,650	-65.2%	13,179,785	-74.0%	45,826,510	-9.6%	44,444,865	-12.3%
	Cultura	1,590,988	2.78%	50,671,376	88.6%	17,639,650	-65.2%	13,179,785	-74.0%	45,826,510	-9.6%	44,444,865	-12.3%
	Soja	1,767,191	3.09%	57,205,039	100.0%	38,573,449	-32.6%	34,188,307	-40.2%	56,293,235	-1.6%	56,863,010	-0.6%
	Milho	382,351	0.67%	29,898,918	52.3%	3,547,313	-88.1%	3,768,120	-87.4%	32,709,902	9.4%	24,636,220	-17.6%
	Milho safrinha	59,217	0.10%	54,530,823	95.3%	31,138,018	-42.9%	26,699,301	-51.0%	46,703,164	-14.4%	46,302,003	-15.1%
	Arroz	552,606	0.97%	51,994,794	90.9%	25,903,826	-50.2%	20,335,687	-60.9%	51,904,689	-0.2%	53,103,884	2.1%
	Feijão	6,246,586	10.2%	52,724,324	92.2%	47,293,292	-10.3%	43,070,577	-18.3%	57,211,128	8.5%	57,150,984	8.4%
	Cana	48,054	0.08%	57,211,128	100.0%	46,426,014	-18.9%	41,423,545	-27.6%	57,211,128	0.0%	57,211,128	0.0%
	Algodão	66,295	0.12%	52,094,971	91.1%	26,056,385	-50.0%	20,404,607	-62.0%	47,868,235	-8.1%	47,317,764	-9.2%
	Trigo	150,690	0.26%	57,211,128	100.0%	49,609,226	-13.3%	44,601,304	-22.8%	57,211,128	0.0%	57,211,128	0.0%
Sorgo	0	0.00%	57,207,410	100.0%	40,416,967	-29.4%	36,108,664	-36.9%	56,560,929	-1.1%	57,122,491	-0.1%	
Feijão Caupi	0	0.00%	57,207,410	100.0%	40,416,967	-29.4%	36,108,664	-36.9%	56,560,929	-1.1%	57,122,491	-0.1%	

Tabela 3 (b) - Área plantada de cada cultura nas Regiões Sul e Centro-Oeste do país, de acordo com os dados do IBGE de 2012 e porcentagem da área legal agricultável ALA; total de área agricultável de baixo risco climático para o período de referência, centrado em 1990 (A90), e porcentagem da ALA; totais de área agricultável de baixo risco climático e da variação percentual para os cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

		REGIÕES											
		Sul				Centro-Oeste				Total			
Área Legal Agricultável - ALA (ha)	Cultura	Área Plantada(ha)	% da ALA	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp4.5	% da A90	HadGen rcp8.5	% da A90	Miroc rcp4.5	% da A90	Miroc rcp8.5	% da A90
34,196,315	Soja	9,064,349	26.51%	19,721,014	57.7%	245,405	-98.8%	251,474	-98.7%	8,063,893	-59.1%	13,326,218	-32.4%
	Milho	2,616,966	7.65%	34,192,477	100.0%	30,709,067	-10.2%	30,894,103	-9.6%	34,107,931	-0.2%	34,192,477	0.0%
	Milho safrinha	2,039,241	5.96%	33,235,992	97.2%	29,189,505	-12.2%	27,241,573	-18.0%	34,192,477	2.9%	34,192,477	2.9%
	Arroz	1,222,129	3.57%	34,192,477	100.0%	24,423,565	-28.6%	24,613,144	-28.0%	26,176,470	-23.4%	30,681,766	-10.3%
	Feijão	645,395	1.89%	34,192,477	100.0%	27,579,166	-19.3%	26,540,426	-22.4%	34,192,477	0.0%	34,192,477	0.0%
	Cana	697,114	2.04%	7,199,713	21.1%	18,103,222	151.4%	20,343,604	182.6%	11,160,750	55.0%	14,026,373	94.8%
	Algodão	1,233	0.00%	34,046,755	99.6%	29,426,626	-13.6%	27,044,533	-20.6%	33,497,464	-1.6%	34,046,755	0.0%
	Trigo	1,821,031	5.33%	31,391,631	91.8%	27,365,342	-12.8%	26,409,639	-15.9%	32,153,491	2.4%	30,695,263	-2.2%
	Sorgo	17,987	0.05%	34,192,477	100.0%	34,192,477	0.0%	34,192,477	0.0%	34,192,477	0.0%	34,192,477	0.0%
	Feijão Caupi	0	0.00%	34,192,477	100.0%	31,602,310	-7.6%	31,324,704	-8.4%	34,192,477	0.0%	34,192,477	0.0%
67,612,168	Cultura	11,518,602	17.04%	66,215,571	97.9%	53,898,151	-18.6%	52,736,477	-20.4%	60,427,861	-8.7%	62,317,499	-5.9%
	Soja	677,754	1.00%	67,612,168	100.0%	62,063,440	-8.2%	64,339,461	-4.8%	67,608,416	0.0%	67,608,416	0.0%
	Milho	4,576,489	6.77%	59,036,168	87.3%	47,932,575	-18.8%	43,547,510	-26.2%	67,031,679	13.5%	62,586,656	6.0%
	Milho safrinha	216,930	0.32%	67,608,416	100.0%	58,992,764	-12.7%	58,864,433	-12.9%	63,881,766	-5.5%	64,815,725	-4.1%
	Arroz	358,244	0.53%	66,650,805	98.6%	55,536,574	-16.7%	55,203,586	-17.2%	67,116,877	0.7%	66,713,163	0.1%
	Feijão	1,538,549	2.28%	67,612,168	100.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%
	Cana	887,284	1.31%	67,612,168	100.0%	67,608,416	0.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%
	Algodão	25,385	0.04%	66,650,805	98.6%	55,754,015	-16.3%	55,767,586	-16.3%	65,467,370	-1.8%	65,572,347	-1.6%
	Trigo	446,210	0.66%	67,612,168	100.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%	67,612,168	0.0%
	Sorgo	0	0.00%	67,612,168	100.0%	62,952,571	-6.9%	65,287,518	-3.4%	67,608,416	0.0%	67,608,416	0.0%

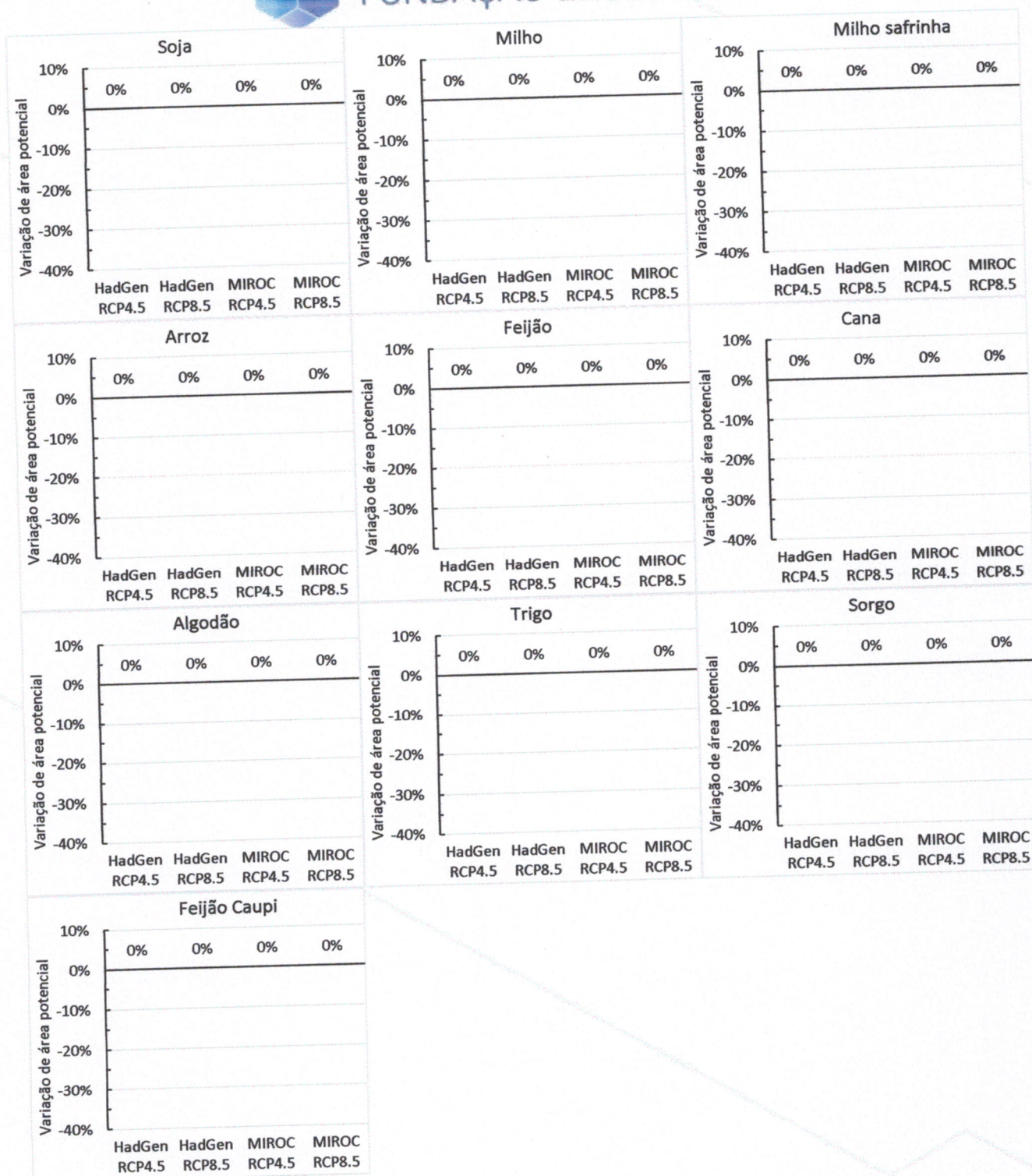


Figura 3. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático, na Região Norte do Brasil, para soja, milho, milho safrinha, arroz, feijão, cana, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

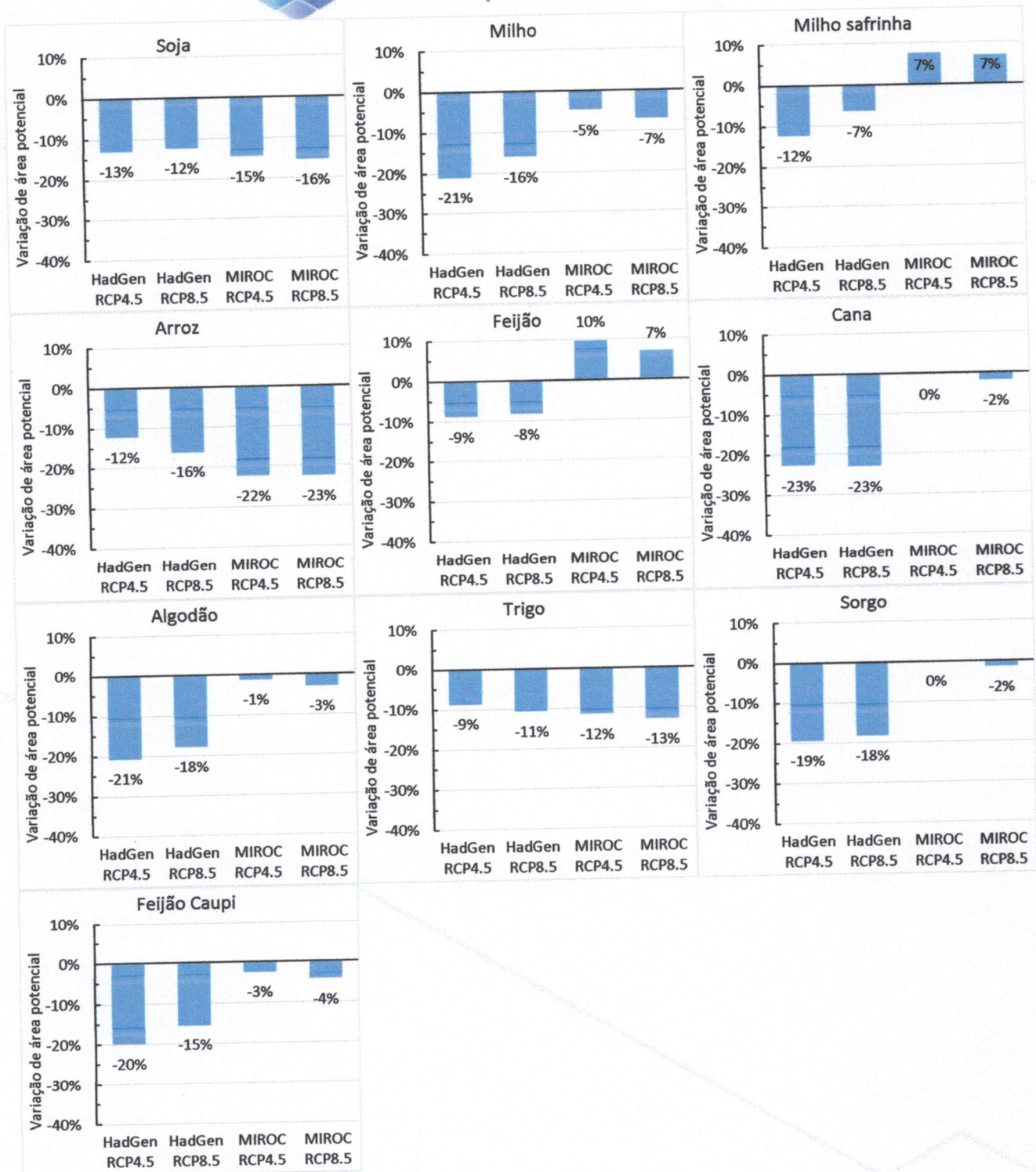


Figura 4. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático, na Região Nordeste do Brasil, para soja, milho, milho safrinha, arroz, feijão, cana, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

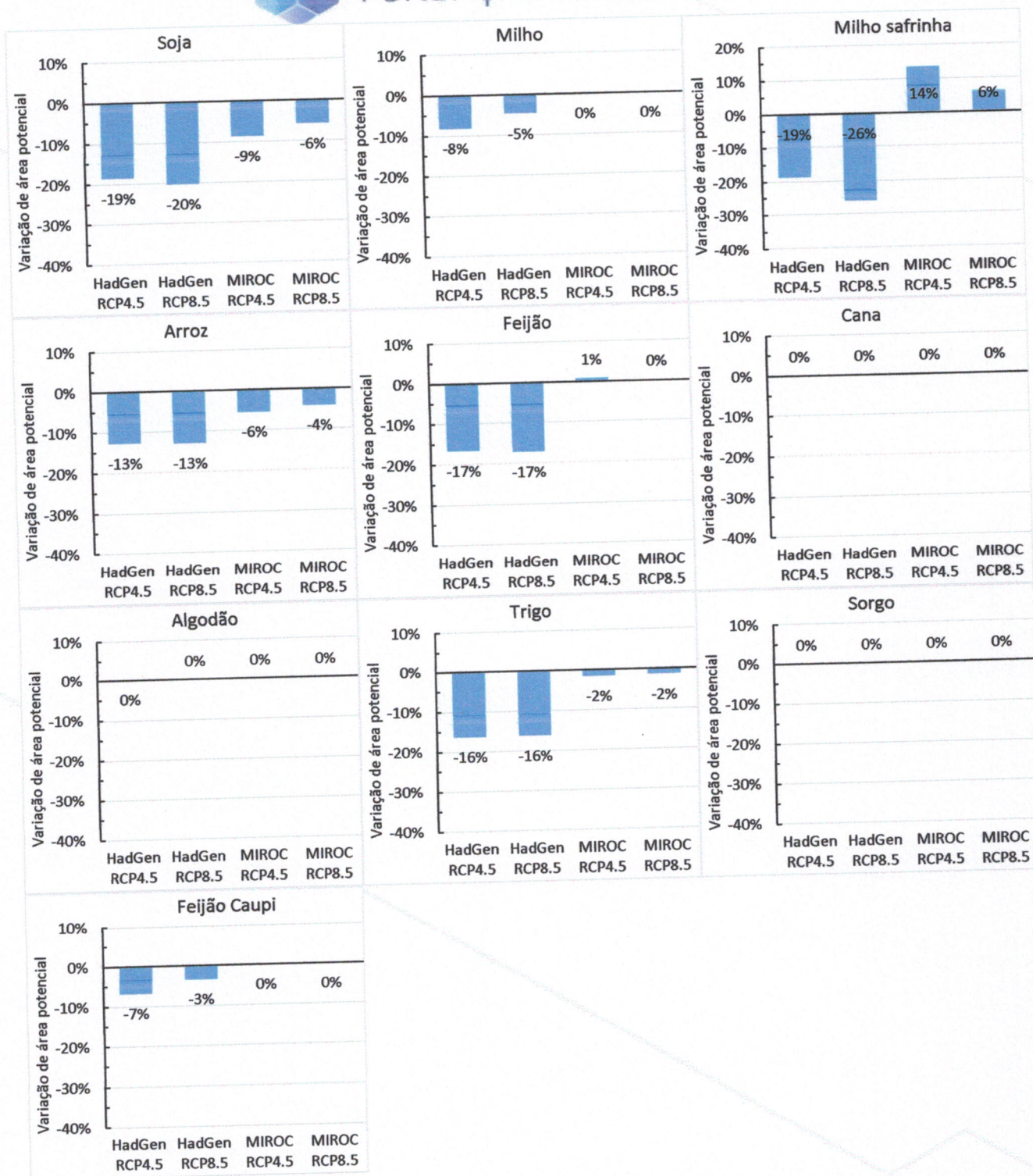


Figura 5. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático, na Região Centro-Oeste do Brasil, para soja, milho, milho safrinha, arroz, feijão, cana, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

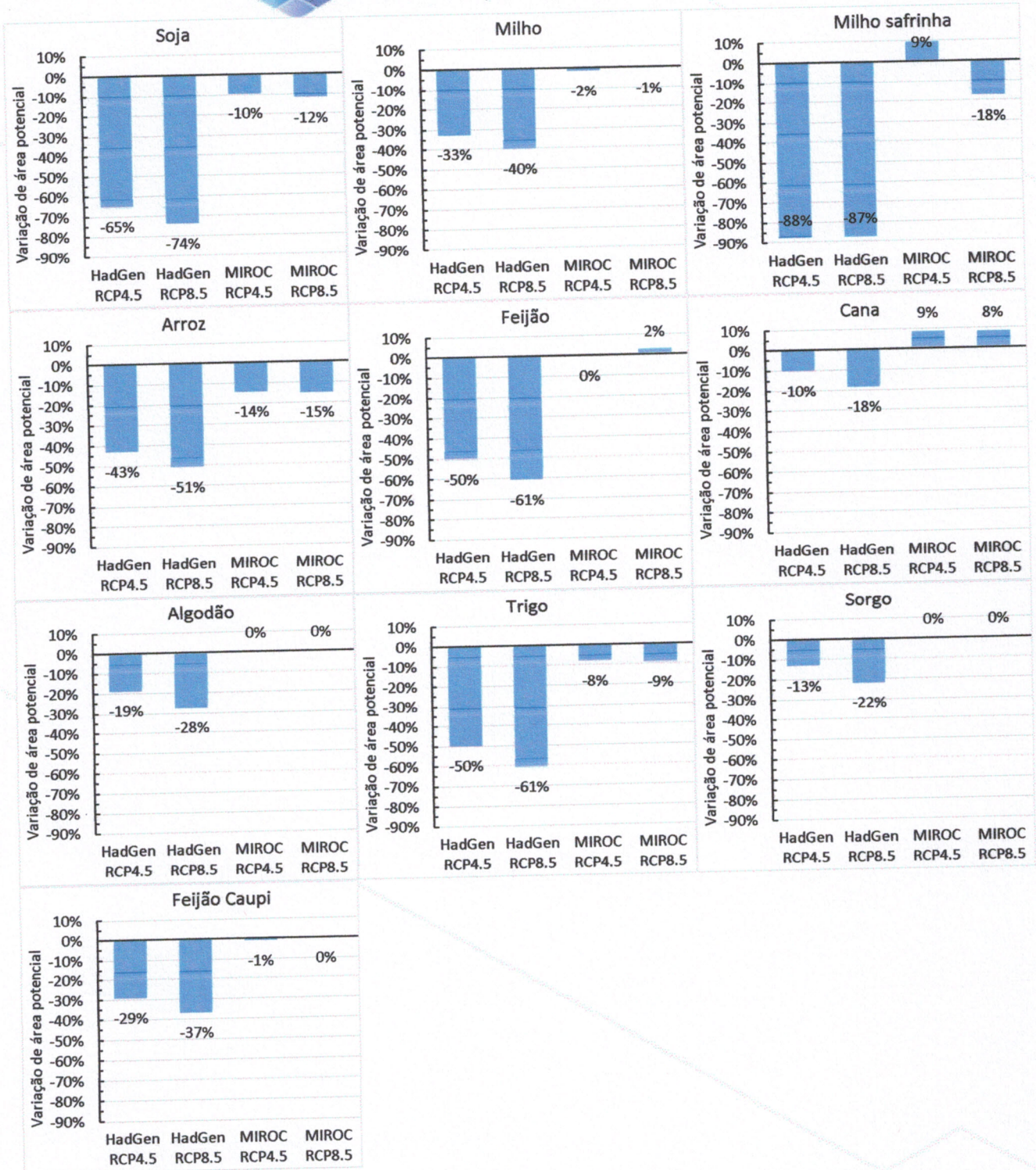


Figura 6. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático, na Região Sudeste do Brasil, para soja, milho, milho safrinha, arroz, feijão, cana, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.

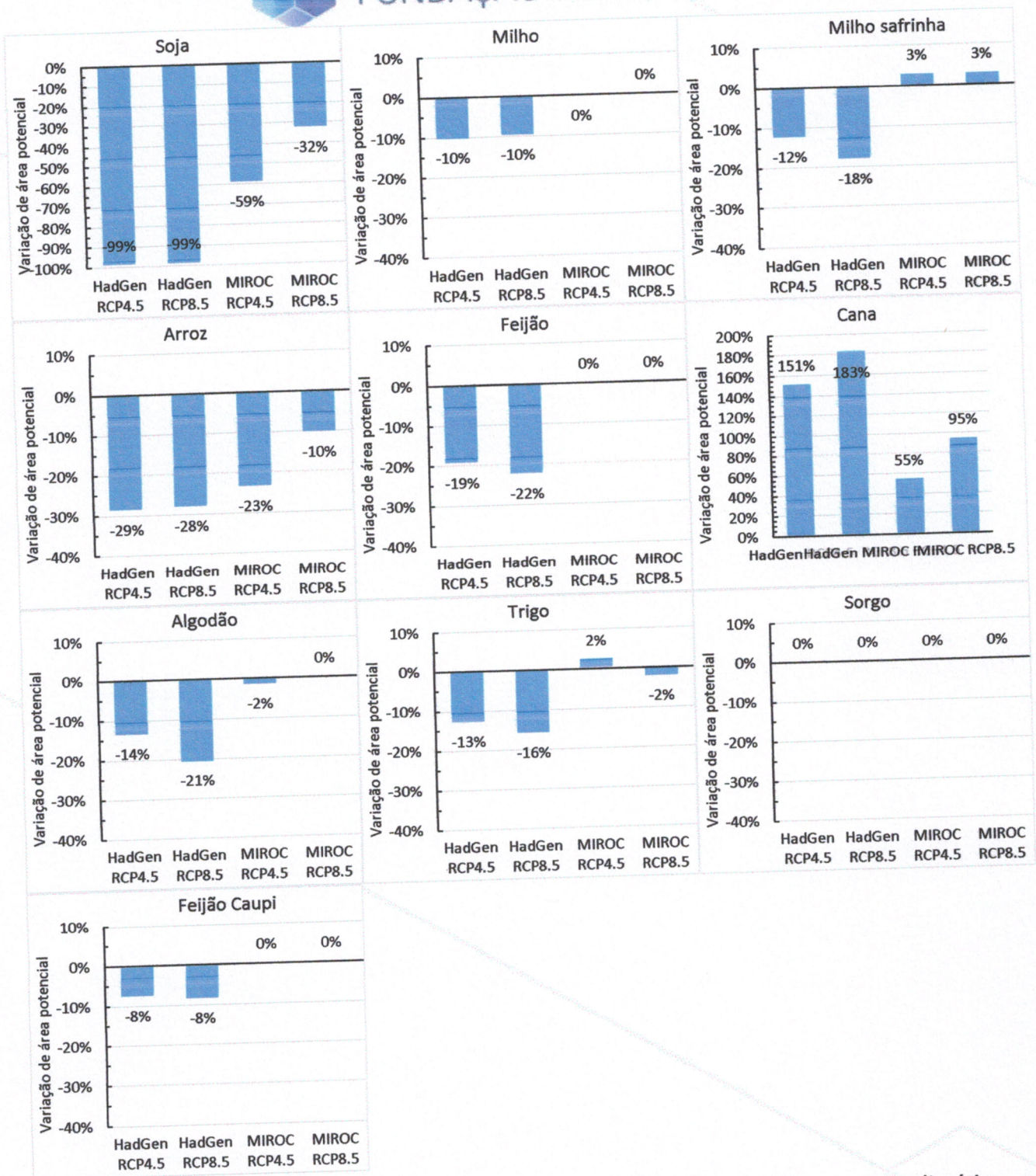


Figura 7. Variação percentual da área legal agricultável (potencial) de baixo risco climático, na Região Sul do Brasil, para soja, milho, milho safrinha, arroz, feijão, cana, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, nos cenários futuros (2011-2040) dos modelos HadGen2-ES e MIROC5, RCP 4.5 e 8.5.



Como pode-se observar nas tabelas 4 e 5, o rcp8.5 do HadGen2-ES apresenta consistentemente de 2% a 3% de redução de área em relação ao rcp4.5, ou seja, o rcp8.5 sempre redundou em maior risco para as culturas analisadas do que o rcp4.5. No caso do Miroc5, essa variação é menos estável indo de aumentos de mais de 7% a reduções de áreas de baixo risco de cerca de 3%, o que significa que ele tem tanto reduções quanto aumento de áreas de baixo risco e que nem sempre o rcp8.5 é o mais severo.

No caso dos mapas, fazendo a mesma comparação com os resultados a partir dos dados do modelo MIROC5, observa-se a mesma tendência espacial das áreas de baixo risco, nas mesmas direções. A diferença, no entanto, é que a variação é menor, não atingindo a mesma amplitude. Os resultados do aumento da temperatura e diminuição das chuvas do modelo MIROC5, de uma maneira geral, são menores que os do Hadgen2-ES, o que explica essas diferenças na expansão das áreas de alto risco. Portanto, ao se totalizar as reduções de áreas de baixo risco e compará-las entre os dois modelos, percebe-se que no HadGen2-ES elas são sempre maiores que as do Miroc5, ou seja, são mais negativas como apresentam as duas últimas colunas das tabelas 4 e 5, variando de cerca de 7% a mais de 28%, dependendo da cultura. Nas regiões sudeste e sul é onde se encontram as maiores diferenças entre os modelos.

Tabela 4 - Diferenças de variação percentual de área potencial de baixo risco entre os dois RCPs de cada modelo e entre os dois modelos, para o Brasil.

BRASIL							
Brasil	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5
235,865,565	Soja	187,604,230	79.5%	-3.0%	3.0%	-22.4%	-28.4%
	Milho	223,575,351	94.8%	0.0%	-0.1%	-14.7%	-14.6%
	Milho safrinha	176,700,524	74.9%	-2.6%	-7.2%	-33.4%	-28.7%
	Arroz	213,757,326	90.6%	-2.6%	2.3%	-8.9%	-13.8%
	Feijão	207,013,390	87.8%	-3.3%	0.0%	-23.9%	-27.2%
	Cana	200,959,701	85.2%	-1.1%	1.0%	-6.8%	-8.9%
	Algodão	228,209,965	96.8%	-2.7%	-0.1%	-10.2%	-12.8%
	Trigo	203,636,134	86.3%	-3.5%	-1.1%	-17.4%	-19.8%
	Sorgo	232,255,861	98.5%	-1.9%	-0.3%	-7.2%	-8.9%
	Feijão Caupi	224,852,977	95.3%	-0.2%	-0.1%	-13.5%	-13.6%



Tabela 5 - Diferenças de variação percentual de área potencial de baixo risco entre os dois RCPs de cada modelo e entre os dois modelos, para as Regiões do País.

REGIÕES								
Região	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5	
Norte Área Legal Agricultável - ALA (ha) 25,742,165	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5	
	Soja	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Milho	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Milho safrinha	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Arroz	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Feijão	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Cana	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Algodão	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Trigo	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Sorgo	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Feijão Caupi	25,742,165	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Nordeste Área Legal Agricultável - ALA (ha) 51,100,326	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5	
	Soja	25,254,103	49.4%	0.6%	-0.9%	1.8%	3.3%	
	Milho	38,823,503	76.0%	4.9%	-2.3%	-16.2%	-9.0%	
	Milho safrinha	28,787,281	56.3%	5.7%	-0.6%	-19.7%	-13.4%	
	Arroz	31,683,445	62.0%	-3.9%	-0.1%	10.3%	6.4%	
	Feijão	28,433,148	55.6%	0.5%	-2.9%	-18.5%	-15.1%	
	Cana	47,681,331	93.3%	-0.3%	-1.6%	-22.5%	-21.3%	
	Algodão	43,597,749	85.3%	2.8%	-1.8%	-19.4%	-14.7%	
	Trigo	27,756,562	54.3%	-2.1%	-1.4%	3.0%	2.3%	
	Sorgo	47,497,923	93.0%	1.1%	-1.5%	-19.4%	-16.7%	
Feijão Caupi	40,098,757	78.5%	4.6%	-1.9%	-17.5%	-11.0%		
Sudeste Área Legal Agricultável - ALA (ha) 57,214,591	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5	
	Soja	50,671,376	88.6%	-8.8%	-2.7%	-55.6%	-61.7%	
	Milho	57,205,039	100.0%	-7.7%	1.0%	-31.0%	-39.6%	
	Milho safrinha	29,898,918	52.3%	0.7%	-27.0%	-97.5%	-69.8%	
	Arroz	54,530,823	95.3%	-8.1%	-0.7%	-28.5%	-35.9%	
	Feijão	51,994,794	90.9%	-10.7%	2.3%	-50.0%	-63.0%	
	Cana	52,724,324	92.2%	-8.0%	-0.1%	-18.8%	-26.7%	
	Algodão	57,211,128	100.0%	-8.7%	0.0%	-18.9%	-27.6%	
	Trigo	52,094,971	91.1%	-10.8%	-1.1%	-41.9%	-51.7%	
	Sorgo	57,211,128	100.0%	-8.8%	0.0%	-13.3%	-22.0%	
Feijão Caupi	57,207,410	100.0%	-7.5%	1.0%	-28.2%	-36.7%		
Sul Área Legal Agricultável - ALA (ha) 34,196,315	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5	
	Soja	19,721,014	57.7%	0.0%	26.7%	-39.6%	-66.3%	
	Milho	34,192,477	100.0%	0.5%	0.2%	-9.9%	-9.6%	
	Milho safrinha	33,235,992	97.2%	-5.9%	0.0%	-15.1%	-20.9%	
	Arroz	34,192,477	100.0%	0.6%	13.2%	-5.1%	-17.7%	
	Feijão	34,192,477	100.0%	-3.0%	0.0%	-19.3%	-22.4%	
	Cana	7,199,713	21.1%	31.1%	39.8%	96.4%	87.7%	
	Algodão	34,046,755	99.6%	-7.0%	1.6%	-12.0%	-20.6%	
	Trigo	31,391,631	91.8%	-3.0%	-4.6%	-15.3%	-13.7%	
	Sorgo	34,192,477	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Feijão Caupi	34,192,477	100.0%	-0.8%	0.0%	-7.6%	-8.4%		
Centro-Oeste Área Legal Agricultável - ALA (ha) 67,612,168	Cultura	Área 1990 - A90 (ha)	% da ALA	HadGen rcp8.5-rcp4.5	Miroc rcp8.5-rcp4.5	Had-Miroc 4.5	Had-Miroc 8.5	
	Soja	66,215,571	97.9%	-1.8%	2.9%	-9.9%	-14.5%	
	Milho	67,612,168	100.0%	3.4%	0.0%	-8.2%	-4.8%	
	Milho safrinha	59,036,168	87.3%	-7.4%	-7.5%	-32.4%	-32.2%	
	Arroz	67,608,416	100.0%	-0.2%	1.4%	-7.2%	-8.8%	
	Feijão	66,650,805	98.6%	-0.5%	-0.6%	-17.4%	-17.3%	
	Cana	67,612,168	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Algodão	67,612,168	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Trigo	66,650,805	98.6%	0.0%	0.2%	-14.6%	-14.7%	
	Sorgo	67,612,168	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Feijão Caupi	67,612,168	100.0%	3.5%	0.0%	-6.9%	-3.4%		



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variações entre culturas quanto a profundidade efetiva do sistema radicular, duração do ciclo, coeficiente de cultura e sensibilidade à deficiência hídrica, afetam diretamente o melhor ou pior desempenho da cultura em cada local, devido às condições climáticas. Dessa forma, a dinâmica espacial das alterações das áreas de baixo e alto risco, indicadas nos mapas do Produto 3, diferem de uma cultura para outra devido as particularidades e necessidades específicas de cada uma. Da mesma forma que os resultados espacializados, isso pode ser constatado também nos números totalizados para o Brasil ou por Regiões como apresentados nas Tabelas e Gráficos deste relatório (do Produto 4).

Apesar dessas variações entre culturas, com maiores ou menores alterações dependendo da espécie, os impactos verificados indicam predominância ou clara tendência de aumento do risco climático e diminuição de áreas de baixo risco para todas as culturas analisadas com cenários HadGen2-ES e para a maioria das culturas nos cenários Miroc5. Considerando o território Nacional como um todo, os resultados são negativos para todas as culturas analisadas com cenários HadGen2-ES. Esses impactos negativos decorrem do aumento das temperaturas e da diminuição das chuvas de forma generalizada em todo o território Nacional, conforme projetado por este modelo climático. Ainda considerando os totais para o território nacional, as estimativas com cenários Miroc5 produzem resultados negativos para a maioria das culturas, mas positivos para milho safrinha, feijão e cana.

No Brasil, no período projetado de 2011 a 2040, os impactos de mudanças climáticas na agricultura significam, essencialmente, aumento na deficiência hídrica média dos cultivos e consequente redução dos níveis de produtividade.

Em outras palavras, mudança climática no Brasil representa aumento do risco agroclimático, resultante da redução da disponibilidade e aumento do consumo de água pelas culturas.

A disponibilidade de água, ou falta de, será um problema cada vez maior e mais frequente para os sistemas de produção de alimentos. Num clima mais quente e, provavelmente, menos chuvoso, os impactos potenciais projetados podem ser gravíssimos, como demonstrado nas simulações apresentadas nos relatórios do Produto 3 e 4. Mesmo com alguns resultados positivos derivados de projeções de aumento de chuva com o Miroc5, a maioria das culturas é afetada



negativamente.

Apesar das incertezas ainda associada às projeções futuras de modelos climáticos, é importante considerar o histórico sobre o assunto. Os primeiros estudos sobre mudanças climáticas datam da década de 1970 (MANABE; WETHERALD, 1980), e o primeiro relatório do IPCC foi publicado em 1990 (IPCC, 1990). Dos primeiros estudos até o presente AR5 mais de três décadas já se passaram, e grandes avanços no conhecimento sobre o assunto foram conseguidos. Além disso e, talvez até mais importante, é preciso considerar os dados já observados e medidos no transcorrer desses mais de 30 anos até o presente, bem como as tendências e alterações já identificadas a partir desses resultados observados. O último relatório do IPCC, o AR5 (IPCC, 2014), dedicou o primeiro tópico inteiro do Relatório Síntese para tratar das “mudanças observadas e suas causas”, onde destacou as alterações presentes em relação ao passado, bem como sua congruência com as tendências projetadas para o futuro.

Com esses resultados, tem-se um intervalo relativamente abrangente de situações que podem, a partir das alterações já constatadas no presente, vir a se agravar no futuro. As recomendações de adaptação devem ser planejadas e dimensionadas com base nesses cenários possíveis. Com base nessas análises comparativas entre os impactos nas diferentes culturas analisadas, poder-se-ão realizar análises econômicas mais específicas e propor ações que promovam a sua adaptação, como está previsto para os produtos subsequentes.

5. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

ADAMS, R. M. Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. **American Journal of Agricultural Economics**. vol. 71, n. 5, p. 1272-1279, 1989.

ANTLE, J.M.; CAPALBO, S.M. Econometric-Process Models for Integrated Assessment of Agricultural Production Systems. **American Journal of Agricultural Economics**. Vol. 83, No 2:389-401, 2001.

ASTOLPHO, F. **Estimativa e mapeamento de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas à agricultura paulista**. 2003. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

BORTHAKUR, D. The hadoop distributed file system: Architecture and design (2007). Disponível em: <http://hadoop.apache.org/common/docs/r0.18.0/hdfsdesign.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2014

CÂMARA, G.; MEDEIROS J.S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura, Brasília: EMBRAPA - CPA, 1998. p. 1-11.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **TIC domicílios e empresas 2013: Pesquisa sobre o uso das tecnologias da informação e comunicação no Brasil**. Disponível em:





<http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC_DOM_EMP_2013_livro_eletronico.pdf>
Acesso em: 10 out. 2014.

DEAN, J.; GHEMAWAT, S. Mapreduce: simplified data processing on large clusters, *Commun. ACM* 51 (2008) 107–113. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1327452.1327492>. Acesso em: 24 set. 2014.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines to predicting water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24**. FAO, Rome, 179 p., 1977.

FAGERIA, N.K. Maximizing crop yields. New York: Marcel Dekker. 1992. 274 p.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 415-421, 2001.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 137-157, 2000.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. WGII AR5: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. WGII FAR: Climate Change: The IPCC Impacts Assessment Tegtart, W.J. McG.; Sheldon, G.W.; Griffiths, D.C. (eds.). Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia. 1990. 294 p.

KAUFMANN, R. K.; SNELL; S. E.. A biophysical model of corn yield: integrating climatic and social determinants. *American Journal of Agricultural Economics*. v. 79, n. 1, p. 178-190, 1997.

MANABE, S.; WETHERALD, R.T. On the distribution of climate change resulting from an increase in carbono content of the atmosphere. *Journal of Atmospheric Science*, v. 37, n. 1, pp. 99-118, 1980.

MARENGO, J.A.; BETTS, R.; NOBRE, C.A. et al. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil. Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CST/INPE, Met Office Hadley Centre - MOHC (2011). Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.

MENDELSON, R.; DINAR, A. **Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects**. New Horizons in Environmental Economics Series. Publisher Edward Elgar Publishing, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 20 set. 2014.

NORDHAUS, W. D. Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107.26, 2010.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n. 10).

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.4, n.3, pp. 465-473, 2000.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.



PETR, J. Weather and yield. Amsterdam: Elsevier. 1991. 288p.

PIDD, M. Why modelling and model use matter. **Journal of the Operational Research Society** v. 61, p. 14-24, 2011. doi:10.1057/jors.2009.141

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; JUNIOR, J. Z.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa, São Paulo, 2008.

RIJKS, D.; BARADAS, M.W. The clients for agrometeorological information. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, p. 27-42, 2000.

ROSENZWEIG, C.; M.L. PARRY: Potential impact of climate change on world food supply. **Nature**, 367, 133, 1994.

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma agricultura Sustentável In: **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, v.01, p. 05-15, 2009.

SEO, S. N. Economics of global warming as a global public good: Private incentives and smart adaptations. **Regional Sci Policy & Practice**: 83-95, 2013.

SIVAKUMAR, M.V.K.; MOTH, R.P. (eds.) **Managing Weather and Climate Risks in Agriculture**. Berlin: Springer, 2007. 288 p. il.

YAMADA, E. S. M. **Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-23052011-164645/>>. Acesso em: 25 set. 2014.

Claudio Humberto Amancio
Gerente de Projetos

