

**Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura**

**CARTA DE ACORDO Nº 25760/2014**

**Fundação Eliseu Alves**

**Relatório da simulação dos cenários para as principais culturas brasileiras no período 2011 - 2040.**

**(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

<b>1. CONTEXTO</b>	<b>3</b>
<b>2. ÁREA DE ALTO E BAIXO RISCO NOS CENÁRIOS AGRÍCOLAS FUTUROS</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>4</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>12</b>
<b>5. REFERÊNCIAS</b>	<b>12</b>

## 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.
<b>4</b>	<b>Relatório de análise comparativa das culturas nos cenários simulados para 2040 em relação à condição atual.</b>
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, RCP 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.

## Análise Comparativa das variações de área potencial para as culturas

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

BRASIL													
Brasil	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
Área Legal Agricultável - ALA (ha)	Soja	24,975,258	10.59%	187,604,230	79.5%	119,515,310	-36.3%	113,862,759	-39.3%	161,593,469	-13.9%	167,139,398	-10.9%
	Milho	7,595,853	3.22%	223,575,351	94.8%	187,738,194	-16.0%	187,706,368	-16.0%	220,709,004	-1.3%	220,454,667	-1.4%
	Milho safrinha	7,468,878	3.17%	176,700,524	74.9%	131,657,041	-25.5%	127,113,627	-28.1%	190,599,670	7.9%	177,905,612	0.7%
	Arroz	2,412,987	1.02%	213,757,326	90.6%	168,121,540	-21.3%	162,499,427	-24.0%	187,070,790	-12.5%	192,085,531	-10.1%
	Feijão	3,182,515	1.35%	207,013,390	87.8%	160,674,936	-22.4%	153,865,164	-25.7%	210,118,011	1.5%	210,091,727	1.5%
	Cana	9,752,123	4.13%	200,959,701	85.2%	195,541,796	-2.7%	193,398,619	-3.8%	209,253,767	4.1%	211,297,363	5.1%
	Algodão	1,420,173	0.60%	228,209,965	96.8%	203,743,688	-10.7%	197,600,968	-13.4%	227,040,867	-0.5%	226,819,820	-0.6%
	Trigo	1,912,711	0.81%	203,636,134	86.3%	160,260,990	-21.3%	153,093,983	-24.8%	195,745,225	-3.9%	193,463,323	-5.0%
	Sorgo	727,839	0.31%	232,255,861	98.5%	215,398,079	-7.3%	210,916,737	-9.2%	232,212,575	0.0%	231,478,016	-0.3%
	Feijão Caupi	0	0.00%	224,852,977	95.3%	192,774,213	-14.3%	192,382,517	-14.4%	223,190,544	-0.7%	222,977,016	-0.8%
235,865,565													

Tabela 3 - Área plantada de cada cultura nas Regiões 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													
Região	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
Norte	Área Legal Agricultável - ALA (ha)												
	Soja	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%
	Milho	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 safrinha	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%
	Arroz	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%
	Feijão	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%
	Cana	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%
	Algodão	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%
	Trigo	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%
	Sorgo	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%
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)												
	Soja	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%
	Milho	2,034,965	3.98%	38,823,503	76.0%	30,520,070	-21.1%	32,542,333	-16.2%	36,957,258	-4.8%	36,048,599	-7.1%
	Milho safrinha	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%
	Arroz	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%
	Feijão	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%
	Cana	1,216,910	2.38%	47,681,331	93.3%	36,790,950	-22.8%	36,630,105	-23.2%	47,527,556	-0.3%	46,765,674	-1.9%
	Algodão	476,102	0.93%	43,597,749	85.3%	34,540,467	-20.8%	35,778,558	-17.9%	42,977,942	-1.4%	42,207,605	-3.2%
	Trigo	0	0.00%	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%
	Sorgo	95,632	0.19%	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%
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)												
	Soja	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%
	Milho	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 safrinha	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%
	Arroz	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%
	Feijão	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%
	Cana	6,246,586	10.92%	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%
	Algodão	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%
	Trigo	66,295	0.12%	52,094,971	91.1%	26,056,385	-50.0%	20,404,607	-60.8%	47,868,235	-8.1%	47,317,764	-9.2%
	Sorgo	150,690	0.26%	57,211,128	100.0%	49,609,226	-13.3%	44,601,304	-22.0%	57,211,128	0.0%	57,211,128	0.0%
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%	
Sul	Área Legal Agricultável - ALA (ha)												
	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%	
Centro-Oeste	Área Legal Agricultável - ALA (ha)												
	Soja	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%
	Milho	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 safrinha	4,578,489	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%
	Arroz	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%
	Feijão	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%
	Cana	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%
	Algodão	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%
	Trigo	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%
	Sorgo	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%
Feijão Caupi	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%	

As tabelas 2 e 3 aqui apresentadas ilustram 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 e também para as cinco regiões do país. 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 nas diferentes regiões produtoras brasileiras. 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.

A Soja, por exemplo, é uma das culturas mais afetadas nos cenários futuros, tanto para o HaGen2ES, quanto para o Miroc. 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 Miroc, essa redução é um menor, ficando em torno de 14% para o rcp4.5 e 11% para o rcp8.5. Quando se comparam as regiões, percebe-se que a cultura é mais afetada nas regiões sudeste e sul, embora também as regiões centro-oeste e nordeste apresentem reduções.

Na sequência o Milho safrinha, ou mesmo o Milho de safra normal, são os mais afetados em termos de porcentagem de redução de áreas de baixo risco climático no modelo Hadgen2ES. Os valores médios nacionais chegam a mais de 35% no rcp4.5 e 28% no rcp8.5 e são bastante expressivos na região sudeste. Curioso é que o mesmo milho safrinha no modelo Miroc, em geral apresentam valores positivos, ou seja, aumento da área de baixo risco. Comparando-se o milho safrinha com o milho de safra normal, observa-se que o safrinha é bastante mais afetado 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. Provavelmente, no caso no milho safrinha, seja essa característica que diferencia mais as respostas dos modelos HadGen2ES e do Miroc.

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 semi-árido 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 podem ser prejudiciais para a produtividade da cultura. 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. 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.

Comparando o período de referência da cultura da soja com o cenário futuro do modelo Hadgen2-ES, observa-se uma redução significativa de áreas de baixo risco, e consequente aumento das áreas de alto risco. Na região nordeste, a borda oeste 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 à 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.

No outro extremo, isto é, o das culturas menos afetadas, encontram-se a cana-de-açúcar e o sorgo. Estas são as culturas que sofrem menores reduções segundo o modelo HadGen2ES, tendo a cana, valores de redução ao redor de 3% e 4%, respectivamente para os rcp4.5 e 8.5. Esses valores são fortemente influenciados pela região sul do país onde se atingem os valores mais positivos, ou seja, de aumento da área de baixo risco para essa cultura chegando a valores acima de 180% de aumento no rcp8.5. Para o modelo Miroc, esse comportamento também é seguido, porém os valores são mais baixos, chegando em torno de 95%. Para o sorgo, as reduções de área de baixo risco no país ficam abaixo de 10%, no HadGen2ES, e ficam praticamente inalteradas para o Miroc.

Como pode-se observar nas tabelas 4 e 5, o rcp8.5 do HadGen2ES 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 Miroc, 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 HadGen elas são sempre maiores que as do Miroc, 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. A comparação de um número maior de modelos, caso houvessem, poderia dar uma melhor noção da dispersão dos resultados de simulação e nos aproximar de uma medida mais adequada da incerteza desses cenários futuros.

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
Área Legal Agricultável - ALA (ha)          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	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%
Nordeste Área Legal Agricultável - ALA (ha)  51,100,326	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	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	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	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

Variações entre culturas quanto a profundidade efetiva do sistema radicular, duração do ciclo e coeficiente de cultura, afetam diretamente o melhor ou pior desempenho das culturas em cada local, devido às condições climáticas. 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 são semelhantes no que se refere ao aumento da proporção de áreas de alto risco em todas as culturas analisadas.

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.

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**. 1989, vol. 71, n. 5, p. 1272-1279.
- ANTLE, J.M.; CAPALBO, S.M. Econometric-Process Models for Integrated Assessment of Agricultural Production Systems. **American Journal of Agricultural Economics**. 2001, Vol. 83, No 2:389-401.
- 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 Agrônomo 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](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, 1977. 179 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.
- KAUFMANN, R. K.; SNELL; S. E.. A biophysical model of corn yield: integrating climatic and social determinants. *American Journal of Agricultural Economics*. 79.1 1997: p. 178-190.
- 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. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.
- 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, 2009, v.01, p. 05-15.
- 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.; MOTHA, 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.