

Impactos das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola Brasileira



Impactos das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola Brasileira



[P118037]

Dr. Eduardo Assad, EMBRAPA¹, Brasil

Prof. Hilton S. Pinto, UNICAMP², Brasil

Dr. Andre Nassar, ICONE³, Brasil

Dr. Leila Harfuch, ICONE, Brasil

Dr. Saulo Freitas, INPE⁴, Brasil

Barbara Farinelli, Banco Mundial, Brasil

Mark Lundell, Banco Mundial, Brasil

Luciane Chiodi Bachion, ICONE, Brasil

Erick C.M Fernandes, LCSAR, Banco Mundial, EUA

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

2 Universidade de Campinas, São Paulo

3 Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais

4 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

© 2013 Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento /
Associação Internacional de Desenvolvimento ou
O Banco Mundial
1818 H Street NW
Washington DC 20433
Telefone : 202-473-1000
Internet: www.worldbank.org

Este trabalho é um produto da equipe do Banco Mundial com auxílio de contribuições externas . As constatações, interpretações e conclusões expressas neste trabalho não refletem necessariamente os pontos de vista do Banco Mundial, do Conselho de Administração Executivo ou dos governos que estes representam .

O Banco Mundial não garante a exatidão dos dados incluídos neste trabalho. As fronteiras, cores , denominações assim como outras informações apresentadas em qualquer mapa deste trabalho não implicam nenhum julgamento por parte do Banco Mundial sobre a situação legal de qualquer território, nem o endosso ou aceitação de tais fronteiras .

Direitos e Permissões

O material utilizado neste trabalho está sujeito a direitos autorais . Uma vez que, o Banco Mundial incentiva a divulgação do conhecimento , este trabalho pode ser reproduzido, no todo ou em parte, para fins não comerciais , desde que a atribuição integral a este trabalho seja conferida ao autor em questão.

Todas as consultas sobre direitos e licenças , inclusive direitos subsidiários , devem ser endereçadas para: Office of the Publisher , The World Bank, 1818 H Street NW , Washington, DC 20433 , EUA; fax: 202-522-2422 , e- mail: pubrights@worldbank.org .

Sumário

Prefácio	7
Resumo Executivo	13
Introdução	19
A Evolução do Setor Agrícola no Brasil e suas Implicações até 2030	21
Ameaças decorrentes da variabilidade no clima e de uma posterior mudança climática	25
<i>QUADRO 1 – As Mudanças Climáticas e a Agricultura na América Latina, 2020-2050</i>	25
Abrangência deste estudo	31
As Mudanças Climáticas e as Projeções de seu Impacto Agrícola no Brasil até 2030 e Após	33
Aperfeiçoamento das projeções do impacto das mudanças climáticas por meio de modelagem em escala global, regional e local	34
<i>Abordagem Brasileira e Regional para a Seleção e o Uso de Modelos Climáticos</i>	34
<i>Cenários de Emissões Utilizados Neste Estudo</i>	34
<i>Modelos Climáticos Adotados Neste Estudo</i>	35
<i>Testes, Projeções Climáticas e Calibrações do Modelo</i>	37
O Modelo de Zoneamento da Vulnerabilidade e dos Riscos Climáticos Agrícolas	40
<i>O Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA) do Método de Zoneamento Agroclimático</i>	43
<i>Classificação do Solo e o Mapa de Zoneamento Agrícola.</i>	43
<i>Identificação das Áreas de Cultivo Menos Vulneráveis aos Impactos das Mudanças Climáticas</i>	44
Projeção dos Impactos das Mudanças Climáticas na Área Adequada ao Plantio em 2020 e 2030	47
Mapas das projeções dos impactos das mudanças climáticas sobre as principais culturas de grãos, cana-de-açúcar e pastagens no Brasil em 2020 e 2030	49
Projeção dos impactos das mudanças climáticas na oferta e demanda de commodities e na dinâmica do uso da terra	59
Metodologia das simulações econômicas dos cenários de mudanças climáticas e a projeção dos impactos agrícolas	59

<i>O Modelo Brasileiro de Uso da Terra (BLUM)</i>	60
<i>As Projeções de Oferta e Demanda</i>	60
<i>Os Componentes da Dinâmica do Uso da Terra</i>	62
<i>Equações da Dinâmica do uso da Terra no BLUM</i>	64
<i>Modelo de Alocação dos Resultados do BLUM por Microrregião Brasileira</i>	66
<i>Alocação dos resultados do BLUM em cada estado</i>	67
<i>Alocação dos resultados dos estados em cada microrregião</i>	68
Resultados da EMBRAPA como Dados de Entrada para o BLUM	69
Resultados da Simulação do Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (BLUM)	75
<i>Uso da Terra e Produção</i>	76
<i>Consumo Doméstico, Preços e Comércio Internacional</i>	84
<i>Projeção dos Impactos das Mudanças Climáticas nos Preços Reais das Commodities em 2020 e 2030</i>	85
<i>Projeção do Impacto das Mudanças Climáticas no Valor da Produção Agrícola em 2020 e 2030</i>	86
<i>Resultados por estado</i>	88
<i>Resultados por microrregião</i>	91
Conclusões	95
Bibliografia	101

Lista de Figuras

Figura 1 – Aumento da produção de grãos e da área cultivada no Brasil de 1991 a 2010.	20
Figura 2 – Expansão da produção agrícola brasileira e mundial de 1990 a 2009 (1990 = 100)	20
Figura 3 – Expansão da produção brasileira e mundial de carne e leite de 1990 a 2009 (1990 = 100)	21
Figura 4 – Setor agrícola brasileiro: produção total e uso de mão de obra, terra e capital e a Produtividade Total dos Fatores (1975 = 100)	21
Figura 5 – O mapa de uso da terra do BRAMS para a análise dos resultados da simulação do modelo	37
Figura 6 – Distribuição espacial das estações hidrometeorológicas brasileiras	38
Figura 7 – Variação da temperatura estimada pelos sete modelos para a estação meteorológica “DFUNBFAL”, localizada em Brasília, D.F., no Brasil (Latitude: -15,79; Longitude: -47,9227).	39
Figura 8 – Temperaturas máximas e mínimas mensais estimadas pelos sete modelos para a estação meteorológica “DFUNBFAL”,	

localizada em Brasília, D.F., Brasil. (Latitude: -15,79; Longitude: -47,9227).	40
Figura 9 – Área com permissão legal para a agricultura segundo o marco legal fundiário e ambiental e as restrições ao uso da terra	42
Figura 10 – Organograma dos componentes e dos processos biofísicos, climáticos e de crescimento das plantas utilizados no zoneamento	44
Figura 11 – Representação do processo de elaboração de modelos para criação de cenários	45
Figura 12 – Exemplo de áreas de baixo e alto risco para plantação de milho no Brasil, considerando os dez primeiros dias de janeiro como o período da semeadura, com base em um cenário pessimista.	46
Figura 13 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada à plantação de soja (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	50
Figura 14 – Perdas previstas na produtividade das pastagens (%) em relação a linha de base de 2010 nos cenários otimista e pessimista (2020 e 2030)	51
Figura 15 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de milho – Safra de verão (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	52
Figura 16 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de milho – Safra de outono (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	53
Figura 17 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de arroz irrigado (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	54
Figura 18 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de cana-de-açúcar (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	55
Figura 19 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de algodão (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	56
Figura 20 – Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de feijão – Safra de verão (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	57
Figura 21 Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de feijão – Safra de outono (2010 – Linha de base e 2030 – Cenários otimista e pessimista)	58
Figura 22 – Regiões consideradas no Modelo Brasileiro de Uso da Terra – BLUM	61
Figura 23 – Interações entre os setores no BLUM	62
Figura 24 – Simulação da área plantada para lavouras para diferentes cenários climáticos	72
Figura 25 – Área alocada para a agropecuária para cada cenário: distribuição entre regiões	78

Figura 26 – Distribuição da área total alocada para os produtos agropecuários: comparação de cenários	82
Figura 27 – PIB da agropecuária em 2009 por estado, valor absoluto e participação no PIB total	89
Figura 28 – Área alocada para agropecuária para as microrregiões selecionadas	92

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Evolução da estrutura do setor agrícola brasileiro	22
Tabela 2 - Impacto das mudanças climáticas nas atuais áreas de “baixo risco” adequadas ao cultivo	26
Tabela 3 – Culturas e área plantada no Brasil (2009)	45
Tabela 4 – Percentual de mudança na área de baixo risco de mudanças climáticas	48
Tabela 5 – Cenários simulados para a soja, agregados nas regiões do BLUM (em 1000 ha)	70
Tabela 6 – Simulação de áreas de cultivo e de pastagem no Brasil (em 1000 ha)	71
Tabela 7 – Vegetação disponível e apta à expansão agrícola em cada cenário (1000 ha)	73
Tabela 8 – Área disponível e apta para a agricultura em 2009 e projeção do seu potencial em 2030 para cada cenário (em 1000 ha)	74
Tabela 9 – Pastagens aptas para lavouras na comparação de cenários para 2030 (1000 ha)	75
Tabela 10 – Terras utilizadas por pastagens e pelas lavouras (primeira safra)(1000 ha)	76
Tabela 11- Área alocada para pastagens (milhões de hectares)	79
Tabela 12 – Terra destinada à lavoura (milhão de ha)	80
Tabela 13 – Produção de grãos, somente a primeira safra (mil toneladas)	83
Tabela 14 – Produção de carne bovina (mil toneladas)	84
Tabela 15 – Consumo doméstico de cada produto analisado (1000 toneladas e bilhões de litros)	84
Tabela 16 – Preços reais das commodities (2011 = 100; t = tonelada).	85
Tabela 17 – Valor da produção em milhões de reais (2011=100)	87
Tabela 18 – Resultados da exportação líquida para cada cenário (1000 toneladas e bilhões de litros de etanol)	88
Tabela 19 – Produção de grãos e oleaginosas (1000 toneladas)	89

Prefácio

Este estudo é o resultado de um esforço da colaboração exemplar entre entidades brasileiras de vanguarda : a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Universidade de Campinas (UNICAMP), Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE); e Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Para nós, é uma honra participar desta iniciativa.

A agricultura é um importante setor da economia brasileira. É fundamental para o crescimento econômico, uma vez que gera expressiva receita em divisas. De 1996 a 2006, o valor total das colheitas do país aumentou em mais de quatro vezes, passando de R\$ 23 bilhões (cerca de US\$ 11 bilhões) para R\$ 108 bilhões (cerca de US\$ 53 bilhões). Em 2009, a agricultura representou 19,3% da força de trabalho, ou 19 milhões de pessoas, contribuindo assim para o aumento de postos de trabalho e a redução da pobreza. Em 2011, o agronegócio empregou 35% da força de trabalho e foi responsável por mais de 38% das exportações brasileiras e por US\$ 77,5 bilhões do superávit comercial.

Tendo como pano de fundo um setor agrícola vibrante e produtivo, o Brasil con-

tinua a ser pioneiro em sua intensificação com o objetivo de aumentar ainda mais a produtividade para atender às demandas crescentes de alimentos nos níveis nacional, regional e global.

O potencial impacto adverso das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira e a subsistência a ela associada também é uma questão sobre a qual o Governo brasileiro tem dado especial atenção, conforme apresentado no Quarto Relatório de Avaliação do Painel Internacional sobre Mudança Climática (IPCC). O documento alerta para o fato de que as mudanças climáticas na América Latina afetarão diretamente vários ecossistemas e setores nas próximas décadas. No caso da agricultura, teriam os seguintes resultados::

- Redução da quantidade e qualidade do fluxo de água e, portanto, do potencial de irrigação;
- Aumento da aridez, degradação da terra e desertificação;
- Aumento da incidência e impactos de pragas e doenças dos cultivos;
- Redução do número de espécies vegetais e animais e mudanças dos limites dos biomas; e

- Alterações nos serviços dos ecossistemas (como, sequestro de carbono, biodiversidade funcional, fluxos ambientais), necessários para manter a produtividade nas áreas agrícolas atuais.

A fim de mitigar os impactos da mudança climática, o mundo precisa reduzir drasticamente as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) nas próximas décadas. Até o presente momento, o Brasil tem promovido nacionalmente e liderado muitas das iniciativas internacionais de redução de emissões causadas pelo desmatamento e mudanças no uso da terra. Tem promovido intensamente a energia renovável, especialmente a bioenergia, e adotou uma Política Nacional de Mudança Climática, que inclui uma meta voluntária ambiciosa de redução dos GEE até 2020.

Há uma preocupação crescente, tanto no Brasil quanto na América Latina, com relação a hipótese de o aumento da variabilidade climática de curto prazo e da mudança climática de médio e longo prazo tenham impactos negativos significativos na paisagem brasileira e na agricultura, no crescimento econômico nacional e na subsistências correlatas do Brasil. O Governo brasileiro está desenvolvendo medidas de adaptação proativas para enfrentar os riscos emergentes dos impactos da mudança climática sobre os principais setores que sustentam a economia do país, especialmente no setor agrícola.

Este estudo utiliza as conclusões de trabalhos anteriores do Banco Mundial, em particular o Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial de 2010 e iniciativas de redução da pobreza face à mudança climática; um relatório regional pioneiro sobre Baixo Carbono, Alto Crescimento, Respostas da América Latina à Mudança Climática (2009); e um enfoque regional nos impactos da mudança climática sobre a agricultura na América Latina (2011). Integra também os métodos e conclusões de vários estudos brasileiros sobre: a avaliação do impacto da mudança climática sobre o zoneamento agrícola (2006); a mudança climática e eventos extremos no Brasil (2010); e a avaliação da previsibilidade sazonal regional, utilizando o sistema de modelagem climática regional PRECIS na América do Sul (2010). Além disto, apresenta uma série de Modelos Climáticos Globais e Regionais e dados sobre adequação hidrológica, meteorológica e terrestre significativamente melhores, usados para avaliar a vulnerabilidade e os impactos da mudança climática sobre a agricultura brasileira. Por fim, o estudo inclui uma síntese concomitante dos impactos climático-agrícolas com simulações econômicas sólidas das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira até 2030.

A rede de profissionais estabelecida para este estudo pode agora continuar a aprimorar a modelagem agroecológica, biofísica e econômica integrada, bem como

as análises elaboradas para este estudo. A inclusão da UNICAMP também lança os fundamentos da produção de capacidades da próxima geração de modeladores climáticos no Brasil e na América Latina. A perícia integrada e multidisciplinar e o banco de conhecimentos reforçado por este estudo serão muito úteis para o Brasil ao aumentar a produtividade e resiliência de seu setor agrícola, crítico não somente para a segurança alimentar nacional, mas também para o suprimento global dos produtos agrícolas essenciais.

Esperamos que o trabalho desenvolvido no Brasil possa servir como modelo e orientador para muitos países em desenvolvimento a fim de aumentar suas capacidades institucionais e processos de planejamento estratégico para combater a mudança climática e continuar a desenvolver-se de forma sustentável frente aos desafios iminentes representados pela mudança climática.

Deborah L. Wetzel,

*Diretora do Banco Mundial para o Brasil
Região da América Latina e do Caribe*

Há mais de dez anos atrás, o Protocolo de Quioto estabeleceu os limites toleráveis para as emissões de carbono resultantes das atividades econômicas e sociais dos países, visando abrandar o aquecimento global e outras mudanças climáticas. Estudos já demonstraram que os efeitos da mudança climática já estão sendo sentidos com as elevações nas temperaturas médias do ar e os impactos de eventos extremos de temperatura e precipitação sobre as populações de todo o mundo

No período que se seguiu, a concentração de dióxido de carbono, o principal gás de efeito estufa, aumentou para quatrocentas partes por milhão. Dados da Organização Meteorológica Mundial mostraram que 12 dos últimos 13 anos mais quentes desde que as medições começaram, em 1850, ocorreram entre 2001 e 2012. No entanto, como o professor Ed Hawkins, da Universidade de Reading demonstrou, a temperatura média surpreendentemente permaneceu a mesma desde 1988, quando o Protocolo de Kyoto foi aberto à adesão por parte dos países.

Esses dados, aparentemente conflitantes, servem como um alerta para a população mundial, pois nos lembram o fato de que a Terra é muito mais complexa do que a mente humana pode conceber e seu clima nem sempre oferece respostas constantes e previsíveis. Eles também advertem as pessoas de que a ciência está entrando em uma área nebulosa na qual o conhecimento científico atual não nos permite entender o fenômeno e novos avanços científicos são necessários para reduzir as incertezas sobre o futuro do clima na Terra.

Embora alguns cientistas acreditem que o aquecimento global continua a um ritmo mais baixo do que o até agora estimado e, portanto, que os países teriam mais tempo para correções e ajustes, a maioria dos cientistas concorda que o aquecimento global está ocorrendo. Os cenários de mudanças climáticas apontam para um aumento médio de temperatura superior a 2°C até 2050 e que o impacto de tais temperaturas mais elevadas causaria grandes desequilíbrios nos ecossistemas essenciais para a sobrevivência humana.

No entanto, as mudanças significativas previstas para a Floresta Amazônica e sua biodiversidade, as perdas significativas das geleiras nos Andes e Himalaia e a rápida acidificação dos oceanos e consequente quebra dos ecossistemas marinhos e morte de recifes de coral ainda são eventos plausíveis, que condenariam inúmeras espécies à extinção e afetariam consideravelmente a oferta mundial de alimentos. A velocidade e a magnitude da mudança pode condenar muitas espécies à extinção e significativamente afetar o abastecimento de alimentos no planeta. Algumas pessoas continuam céticas.

Os cientistas são livres para escolher as hipóteses em suas pesquisas, mas são intimados a ir além da evidência inicial e não renunciar ao seu dever de mergulhar cada vez mais profundamente nos mistérios da Natureza. Os autores deste livro reconhecem e vigorosamente cumpriam tais princípios.

Há dez anos atrás, Eduardo Assad e Hilton S. Pinto, pesquisadores da Embrapa e

Unicamp respectivamente, desenvolveram uma série de estudos procurando associar os cenários de aquecimento global com possíveis impactos no zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil e consequentemente na produção agrícola brasileira. Eles usaram um único modelo climático para estimar a área de produção de cada município no Brasil. Eles também mostraram as diferentes consequências de altas temperaturas em diversos cultivos nas regiões do Brasil.

Assad e Pinto aceitaram o desafio deste livro, com o proveitoso e diligente apoio de André Nassar e Leila Harfuch, do Instituto de Comércio e Negociações Internacionais - ICONE, Saulo Freitas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, e de Barbara Farinelli, Mark Lundell e Erick Fernandes, do Banco Mundial.

Uma análise mais precisa da vulnerabilidade da agricultura brasileira é possível utilizando novas ferramentas para o modelo climático e dinâmicas de uso do solo. Os pesquisadores utilizaram sete modelos de análise climática propostos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas-IPCC, três dos quais em uma resolução detalhada e adaptadas às condições tropicais. O Modelo Climático Regional Brasileiro - RCM - BRAMS desenvolvido pelo CPTEC / INPE também foi analisado.

Os pesquisadores foram capazes de reduzir o grau de incerteza dos resultados, ao considerarem os desvios máximos e mínimos das temperaturas estimadas pelos modelos para ambos os cenários otimistas e pessimistas, considerando as faixas de

temperatura obtidas pelos diferentes modelos. O resultado mais importante é a possibilidade de avaliar o grau de incerteza dos resultados, utilizando mais modelos.

Os resultados das simulações apontam para a mesma direção, o que confirma o aumento da temperatura previsto para 2030. A tecnologia de zoneamento agrícola de risco climático foi, então, aplicada utilizando estes resultados, juntamente com informações sobre o uso da terra efetivamente alterados por atividades antropogênicas. Em um passo adiante, o impacto sobre a agricultura brasileira foi calculado por meio de modelos econômicos.

O estudo deixa claro que a agricultura é vulnerável à temperaturas mais elevadas, dados os níveis previstos do aquecimento global. Podem haver perdas no rendimento e, conseqüentemente, na produção. Pode haver a migração de culturas de uma região para outra. O perfil de produção regional pode mudar.

O resultado do trabalho atual, que claramente vai além dos estudos anteriores, enfatiza a necessidade de se dar prioridade à pesquisa em biotecnologia, em especial nas regiões que serão fortemente afetadas, como Nordeste e Sul do Brasil. A busca de genes que aumentam a tolerância das plantas à altas temperaturas e estresse hídrico deve ser uma empreitada rotineira nos próximos anos. A implementação de políticas públicas associadas a sistemas de produção mais equilibrados deve ser apoiada por todo o país, a fim de reduzir o impacto do aquecimento global, seja através da mitigação das emissões de gases de efeito

estufa ou da integração de sistemas de produção mais adaptados as condições estress abióticas.

Somente estudos como este, realizados por um consórcio de instituições e com base em conhecimento científico e tecnológico avançado, podem ajudar a identificar as soluções exigidas por um futuro tão desafiador. A possibilidade de um aumento de dois graus Celsius, em que a temperatura média da Terra requer que a agricultura tropical esteja preparada para tais condições, para garantir a segurança alimentar durante as próximas décadas.

A primeira abordagem para a vulnerabilidade da agricultura brasileira vis-à-vis o aquecimento global contou com o apoio

material do Governo britânico, através do Conselho Britânico. O estudo mais recente recebeu o apoio do Banco Mundial, sempre pronto a ajudar no desenvolvimento da agricultura brasileira. É improvável que algum dia seremos capazes de expressar a verdadeira importância e alcance da cooperação científica internacional na evolução da ciência agrícola brasileira. A Embrapa também deve muito à generosidade de instituições como Unicamp, INPE e ICONE, sempre dispostos a contribuir com os estudos da rede, um ativo que garante um trabalho de qualidade.

Maurício Antônio Lopes
Presidente da Embrapa

Resumo Executivo



13

Agricultura é um importante setor da economia brasileira, que responde por cerca de 5,5% do PIB (25% quando o agronegócio é incluído) e por 36% das exportações do país. De acordo com o censo agropecuário de 2006, o Brasil possui 5 milhões de propriedades rurais das quais 85% pertencem a pequenos proprietários e 16% são grandes fazendas comerciais que ocupam 75% da terra cultivada. Em 2009, o Brasil apresentou um saldo comercial positivo agrícola de US\$55 bilhões. Como a agricultura é essencial para a segurança alimentar nacional e exerce uma forte atuação sobre o aumento do PIB, existe uma crescente preocupação com o fato de que o setor está cada vez mais vulnerável às variações e às mudanças climáticas.

Para alcançar o desenvolvimento nacional, a segurança alimentar, a adaptação e a atenuação das mudanças climáticas, assim como as metas comerciais nas próximas décadas, o Brasil precisará elevar de forma significativa a produtividade por área dos sistemas de cultivo de produtos alimentícios e de pastagens, reduzindo ao mesmo tempo o desmatamento, reabilitando milhões de hectares de terra degradada e adaptando-se às mudanças climáticas. Por causa da magnitude prevista para os impactos sobre a agricultura e o volume dos investimentos necessários, além da urgência do tempo de resposta para a escolha das melhores opções de adaptação disponíveis nas próximas décadas, há uma necessidade urgente de se fazer uma avaliação avançada dos impactos das mudanças climáticas so-

bre as atividades agrícolas que possa orientar os formuladores de políticas quanto às prioridades e o escalonamento dos investimentos. As atuais projeções desses efeitos no Brasil se basearam nos modelos que estavam disponíveis antes de 2008. Desde então, não apenas a ciência e a qualidade da modelagem global, regional e local avançaram de modo expressivo, mas também melhoraram as condições do solo e possibilitaram a disponibilização de dados relativos ao clima.

Este estudo se apoia em várias das principais análises recentes sobre os impactos das mudanças climáticas e adota uma série de Modelos Climáticos Globais e Regionais testados, assim como incorpora dados hidrometeorológicos e de adequação do solo, que não estavam disponíveis anteriormente para esses trabalhos, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade e os efeitos das alterações climáticas na agricultura brasileira.

Além de confirmar os resultados dos estudos anteriores sobre o impacto das mudanças climáticas, que previam consideráveis efeitos negativos sobre as lavouras brasileiras em 2020 e 2030, as nossas descobertas ajudam a ampliar ainda mais a base de conhecimento não apenas sobre a extensão desses impactos em diferentes culturas, mas também sobre o seu nível nas diversas regiões do país.

Por exemplo, este estudo mostrou que enquanto as projeções dos impactos climáticos negativos para 2020 referentes a algumas culturas (soja e algodão) podem ser mais moderados do que o anterior-

mente previsto, no caso de outros produtos (feijão e milho), no entanto, esse fenômeno pode ser muito mais grave do que as estimativas de estudos anteriores. Essas nuances ilustram, pelo menos em parte, o valor de aproveitar de forma mais completa e geograficamente distribuída o clima, as características do solo, a água e os conjuntos de dados climáticos para que os métodos de modelagem das mudanças climáticas sejam mais analíticos e diferenciados.

Na ausência de alterações no clima, a lavoura brasileira deverá se expandir a uma área de 17 milhões de hectares em 2030, comparada à extensão das terras cultivadas observada em 2009. No entanto, devido aos impactos das mudanças climáticas todos os cenários simulados neste estudo levam a uma redução da área cultivável de “baixo risco e alto potencial” em 2020 e 2030. Mais especificamente, nossos resultados sugerem que a região Sul do Brasil, que é atualmente uma potência agrícola, poderá perder até 5 milhões de hectares de terras adequadas à agricultura, por causa das alterações climáticas, enquanto o Brasil como um todo poderá ter cerca de 11 milhões de hectares a menos dessas terras em 2030.

Por sorte, os nossos resultados também mostram que a maior parte da perda de solo com elevado potencial agrícola poderia estar alocada às áreas de pastagens atualmente pouco produtivas. Nas regiões Centro-Oeste e de Cerrado do Nordeste, a substituição de pastagens pelo cultivo de grãos e cana-de-açúcar poderá compensar a estimativa de perda de cerca da metade das terras cultiváveis e, especialmente, da

produção de grãos no Sul (aproximadamente 9 milhões de toneladas).

É especialmente digno de nota que, apesar da estimativa de redução na área de pastagem, a produção de carne bovina deverá diminuir em uma quantidade muito menor devido à intensificação tecnológica. Assim, embora a produção de carne bovina no Brasil possa sofrer uma queda de 7% em todos os cenários simulados para 2030, comparados à linha de base, as nossas simulações preveem que a este produto pode crescer continuamente até 2030 em todos os cenários em relação à produção observada em 2009, podendo ainda aumentar a oferta em mais de 2 milhões de toneladas.

Embora a intensificação de pastagens compense potencialmente a sua substituição pelo cultivo de grãos e cana de açúcar nas regiões centrais do Brasil, este estudo prevê que os preços da carne bovina ao produtor deverão aumentar mais de 25% em todos os cenários, o que sugere que a intensificação do uso das pastagens e da produção de gado poderá levar a uma elevação de preços, de modo a compensar os investimentos destinados a aumentar a produtividade.

Em geral, pode-se esperar que os declínios na produção afetem os preços, a demanda doméstica e as exportações líquidas desses produtos. Na ausência de mudanças climáticas, o consumo interno de todas as commodities deverá aumentar em 2020 e 2030, em relação a 2009. No entanto, nossas simulações em todos os cenários de mudanças climáticas sugerem que, quando comparado à linha de base de 2009, esse

fenômeno provavelmente reduzirá o consumo de quase todas as commodities, especialmente os grãos e o etanol. Quando a disponibilidade de terra for menor por causa das mudanças climáticas, o principal determinante da estimativa de queda no consumo é o preço real mais elevado de todas as commodities.

Em nosso estudo, as estimativas de impacto na produção mostram que, ao contrário das previsões anteriores de redução do valor da produção agropecuária, os efeitos negativos sobre a oferta de commodities devem resultar em preços significativamente mais elevados de alguns produtos, especialmente os alimentos básicos como arroz, feijão e todos os produtos de carne. Isso irá compensar o declínio na produtividade sobre o valor da produção agrícola, mas poderá ter importantes efeitos negativos sobre a população mais pobre e o seu consumo desses itens básicos. Vale ressaltar que a carne bovina e o óleo de soja respondem por quase 50% do valor da produção total prevista para a agropecuária brasileira (considerando a cesta de produtos selecionados para esta análise).

Neste estudo, os impactos previstos das mudanças climáticas sobre a precipitação atmosférica e os déficits de umidade do solo nas fases críticas do crescimento das culturas sugerem que há uma necessidade urgente de realizar análises mais detalhadas das áreas prioritárias de cultivo, com o objetivo de desenvolver variedades melhor integradas e tolerantes à seca (com raízes mais profundas), combinadas a solos férteis e a estratégias de manejo da água para atenuar os efeitos previstos. Além de

ampliar o acesso à tecnologia de irrigação eficiente, os mecanismos de gestão que conservam e elevam o nível de carbono do solo vão aumentar a capacidade de retenção de umidade da terra. Por exemplo,

- a. O governo brasileiro e o setor privado vêm facilitando constantemente a adoção de melhores práticas agrícolas de conservação do solo como o plantio direto e os sistemas mais eficientes em termos de recursos, da mesma maneira que os esquemas de integração lavoura-pecuária que são por natureza mais resistentes aos choques climáticos do que alguns modos de cultivo intensivo.
- b. O governo está concedendo crédito e financiamento para o novo programa Agricultura de Baixo Carbono, tendo disponibilizado cerca de US\$1 bilhão para crédito com juros baixos apenas na estação de cultivo de 2011.
- c. O acúmulo de carbono no solo agrícola também pode ser qualificado para o recebimento de pagamentos de carbono nos mercados voluntários e formais (futuros).

Em nosso estudo, as iniciativas para acessar os dados hidrometeorológicos e de uso do solo mais recentes disponíveis melhoraram de modo expressivo a nossa capacidade de realizar modelagens e projeções de impacto mais significativas. No entanto, a falta de informações climáticas de boa qualidade e de longo prazo continua a prejudicar os esforços regionais e locais de modelagem climática, bem como a calibração e a validação das projeções atuais, que estão sendo utilizadas para fundamentar as decisões

sobre políticas e investimentos até 2030 e posteriores. Como os fatores que forçam as mudanças climáticas operam tanto no interior quanto fora das fronteiras nacionais, há uma necessidade urgente de investimentos coordenados e direcionados às alterações climáticas nos próximos um a cinco anos para instrumentação, compilação, compartilhamento e sistemas de acesso aos dados. Os órgãos de investimento nacionais, bilaterais e multilaterais precisam coordenar suas estratégias no sentido de apoiar essa necessidade específica e urgente.

É importante notar que este estudo não simula o potencial impacto dos avanços tecnológicos (novas variedades, maior e melhor acesso à irrigação, manejo aperfeiçoado da água e do solo) como medidas de adaptação para compensar os efeitos negativos das mudanças climáticas previstos para a produtividade agrícola. A necessidade de avaliações melhores e mais bem integradas do impacto dessas alterações é especialmente urgente no setor agrícola. Uma recente pesquisa realizada pela EMBRAPA revelou que, mesmo contando com avançadas técnicas de reprodução, despende-se cerca de 10 anos em atividades de P&D com gastos em torno de US\$ 6 a US\$7 milhões para desenvolver, testar e produzir (incluindo dois a três anos para ampliar a produção de sementes) uma nova cultivar de um produto ou novas variedades de culturas que sejam resistentes ao calor e/ou à seca. A síntese da análise contida neste relatório sugere que, na próxima década, a agricultura brasileira já estará lidando com um nível significativo de pressão sobre a produtividade agropecuária induzida pelo

clima. Uma grande parte do trabalho de aperfeiçoamento da lavoura até a presente data tem se concentrado na tolerância à seca e muito ainda precisa ser feito quanto à resistência ao calor.

Os resultados deste estudo serão incorporados ao Modelo de Zoneamento Agroecológico da EMBRAPA/UNICAMP visando aprimorar a simulação e as projeções do impacto climático que servem de base para

os programas nacionais de crédito rural e de seguro no Brasil. Isto significa que, desde o início, a análise terá imediatas implicações de amplo alcance nas operações e políticas no Brasil. As experiências brasileiras são altamente relevantes para outras regiões e países onde um trabalho semelhante está em curso.

Introdução



19

Agricultura é um importante setor da economia brasileira, que responde por cerca de 5,5% do PIB (25% quando o agronegócio é incluído) e por 36% das exportações do país. No mundo, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, café, frutas tropicais, suco de laranja concentrado e congelado e possui o maior rebanho comercial de gado com 210 milhões de cabeças. O país também é um importante produtor de soja, milho, algodão, cacau, tabaco e produtos florestais. Entre 1996 e 2006, o valor total da produção agrícola apresentou um aumento de 365% (ou US\$ 64 bilhões), passando de R\$ 23 bilhões a R\$ 108 bilhões. O Brasil responde por cerca de um terço das exportações de soja e abastece um quarto do comércio de soja do mundo utilizando 6% de suas terras

aráveis. O restante da produção corresponde ao setor de criação de animais, principalmente carne bovina, frango, carne suína, leite e frutos do mar. Atualmente, o país é o maior exportador do mundo de carne bovina, carne de frango, suco de laranja, café, açúcar e etanol.

De 1991 a 2010, a produção nacional de grãos (algodão, amendoim, arroz, feijão, girassol, milho, soja, sorgo, trigo, aveia, cevada, semente de mamona, centeio e semente de colza) aumentou 147% enquanto que a área cultivada cresceu apenas 25%, ou 4,8%/ano e 1,7%/ano, respectivamente, o que representa um forte desenvolvimento da tecnologia agrícola (Figura 1). Em 2009, o Brasil apresentou um saldo comercial agrícola positivo de US\$55 bilhões.

Figura 3. Expansão da produção brasileira e mundial de carne e leite de 1990 a 2009 (1990 = 100)

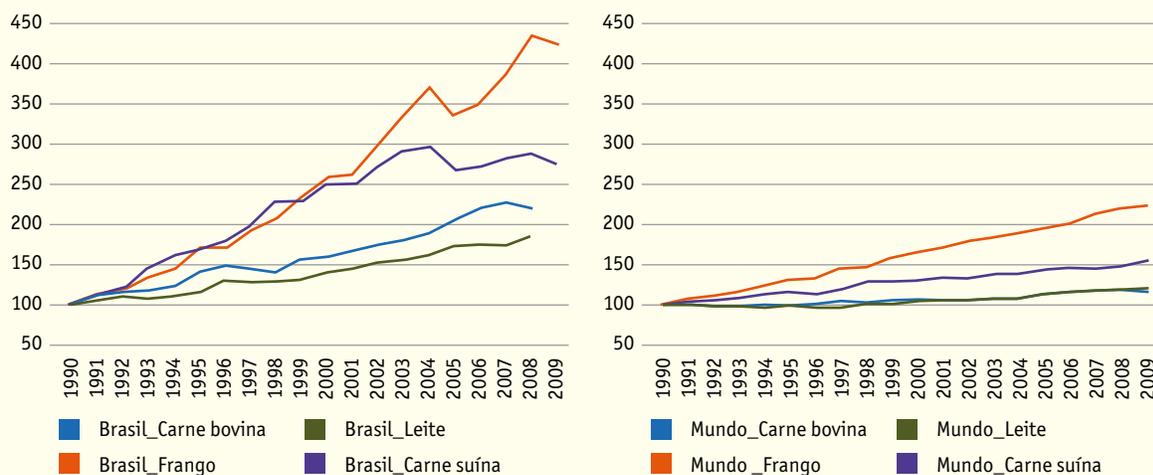
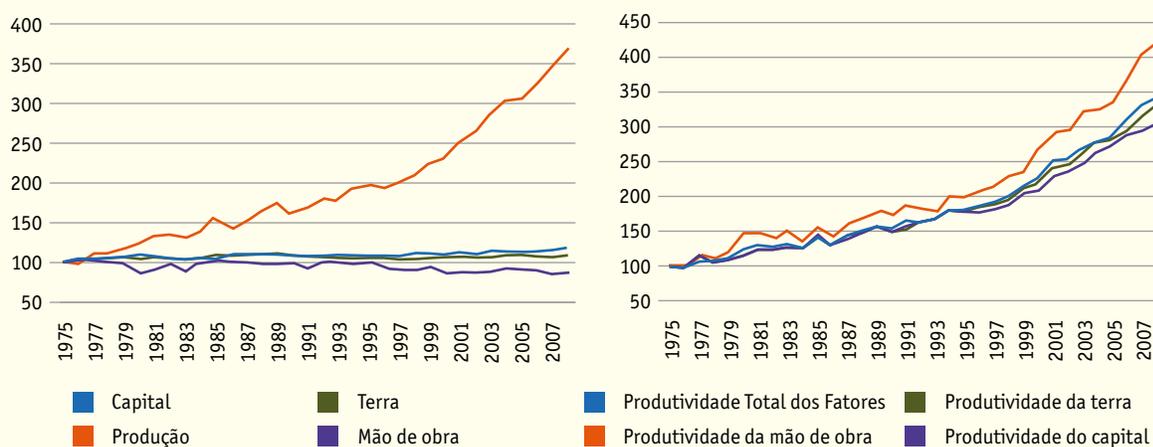


Figura 4. Setor agrícola brasileiro: produção total e uso de mão de obra, terra e capital, e a Produtividade Total dos Fatores (1975=100)



Fonte: Gasques et al. (2009)

A Evolução do Setor Agrícola no Brasil e suas Implicações até 2030

O Censo Agropecuário de 2006⁵ indicou que o número de propriedades rurais está aumentando de forma progressiva, apesar da redução observada dos anos 1990. No que concerne à sua distribuição, segundo o tamanho da propriedade, o setor agropecuário está se tornando claramente menos concentrado. Por exemplo, entre 1995 e 2006, o número de unidades meno-

res (menos de 100 hectares) aumentou. Em termos de ocupação do solo, as categorias de menor e de maior tamanho diminuíram no período de 1995 a 2006, enquanto as médias (10 a 1000 ha) se expandiram. A categoria de 100 a 1000 ha reduziram significativamente, e se soma da a categoria de 10 a 100 hectares há redução de 10 a 1000 ha na ocupação do solo.

Tabela 1. Evolução da estrutura do setor agrícola brasileiro

	Número de propriedades rurais (unidades)						Terra ocupada (ha)	
	1970	1975	1980	1985	1995	2006	1995	2006
Total	4,924,019	4,993,252	5,159,851	5,801,809	4,859,865	5,175,489	353,611,246	329,941,393
Menos de 10 ha	2,519,630	2,601,860	2,598,019	3,064,822	2,402,374	2,477,071	7,882,194	7,798,607
10 a 100 ha	1,934,392	1,898,949	2,016,774	2,160,340	1,916,487	1,971,577	62,693,586	62,893,091
100 a 1000 ha	414,746	446,170	488,521	517,431	469,964	424,906	123,541,517	112,696,478
Mais de 1000 ha	36,874	41,468	47,841	50,411	49,358	46,911	159,493,949	146,553,218

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE 2006

A produtividade total dos fatores (PTF) da agricultura brasileira cresceu de forma constante ao longo dos últimos 35 anos. Em relação a 1970 (=100), a produção aumentou 243%, os insumos 53% e a correspondente PTF, 124%. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento foram fundamentais para esses aumentos e a estimativa de elevação de 1% na P&D agrícola resultou em um crescimento de 0,2% na PTF

(Gasques et al. 2009). As tendências positivas nos índices de produtividade ressaltam o esforço do Brasil para priorizar os ganhos de produtividade determinados pela intensificação da produção, ao invés de expandir as áreas agrícolas (Contini et al. 2010).

⁵ O último censo agropecuário do qual os dados estão disponíveis.

O panorama agrícola brasileiro em 2030 e após esta data irá assemelhar-se aos atuais cenários da Austrália, do Canadá e dos EUA, onde predominam poucas propriedades grandes que dispõem de tecnologia avançada com valor nacional agregado derivado da terra, do capital e da mão de obra qualificada? Os dados apresentados nas Figuras 2 a 4 sugerem que estão ocorrendo ganhos de produtividade e crescimento da produção agropecuária como um todo. Curiosamente, o setor rural brasileiro está usando capital e mão de obra de modo mais intensivo em todas as propriedades de tamanho pequeno e grande (veja a Figura 4, acima). É difícil prever como será a estrutura dos latifúndios do país em 2030, mas as tendências acima sugerem que as simulações no futuro de longo prazo do setor agropecuário brasileiro necessitam se concentrar na intensificação sustentável da produção em vez de promover possíveis mudanças na estrutura e no tamanho das propriedades rurais.

Quando comparados aos produtores agrícolas de larga escala, os pequenos agricultores são geralmente mais vulneráveis aos choques econômicos e ambientais, além de ter acesso a menos recursos para se adaptar à variação e às mudanças climáticas. No entanto, em relação aos produtores de grande porte, que dependem de uma ou duas culturas plantadas ao longo de milhares de hectares, os pequenos agricultores podem desempenhar um papel vital na promoção de uma maior adaptabilidade em escala de paisagem por meio de diversos métodos de produção que aproveitam um espectro mais amplo da agrobiodiver-

sidade, preservando e se beneficiando ao mesmo tempo dos serviços ecossistêmicos e dos mercados emergentes para esses serviços (compensações de carbono e de biodiversidade, fluxos hidrológicos para reduzir as inundações e/ou melhoria da qualidade da água). Além dos mercados emergentes para os serviços ambientais, a crescente demanda mundial por “alimentos funcionais” (que trazem benefícios diretos à saúde como a redução do colesterol, um melhor funcionamento do fígado e a diminuição da hipertensão) pode resultar em elevados ganhos econômicos para os pequenos agricultores. Muitos dos alimentos funcionais são produtos de “baixo volume e alto valor” que estão bem adaptados aos sistemas de cultivo dos produtores agrícolas de menor porte na paisagem rural brasileira.

Outra questão que é muitas vezes esquecida nas discussões sobre os cenários futuros da agropecuária brasileira é o marco legal e administrativo fundiário predominante no país (Sparovek et al., 2010). O marco legal estabelece o que pode ou o que não pode ser feito no âmbito rural e agrícola (por exemplo, a manutenção de zonas ribeirinhas, reservas legais (florestas), demarcação de terras indígenas, etc.) e o governo brasileiro está cumprindo firmemente os aspectos jurídicos por meio de uma série de ações de monitoramento, de políticas e de instrumentos fiscais. Os dois principais marcos legais são: (a) o Código Florestal e (b) as Áreas de Preservação como os parques estaduais e nacionais, e as reservas indígenas.

O Código Florestal, que está sendo revisado e discutido no Senado Federal, abrange toda a vegetação natural (a Amazônia, a Mata Atlântica, o Cerrado), a Caatinga (a vegetação do semi-árido no Nordeste do Brasil), o Pantanal e o Pampa (pastagens no Sul do Brasil). A lei delimita as terras rurais privadas e determina as que são adequadas à produção e aquelas que devem ser preservadas. A área que deve ser conservada com sua vegetação natural em todas as propriedades rurais privadas é subdividida em (a) Reservas Legais (área de conservação e (b) Áreas de Preservação Permanente (APPs), que incluem (i) as zonas ribeirinhas definidas como faixas de vegetação ao longo de rios e de outros corpos d'água com largura variável, dependendo do tipo e do tamanho do curso d'água, (ii) qualquer terreno com declives abaixo de 45°, (iii) topos de morros e (iv) qualquer terreno situado a 1.800 m acima do nível do mar.

O objetivo da APP é proteger as partes da paisagem que têm valor estratégico para o reabastecimento de água doce e por esta razão as APPs não podem ser utilizadas para qualquer tipo de atividade de produção, sendo mantidas com a vegetação nativa original. As mudanças nesse aspecto da lei, para permitir o plantio de espécies de árvores exóticas (por exemplo: eucalipto, palmeira oleaginosa africana) e a redução da área delimitada para preservação, são atualmente objeto de intensas discussões. As Reservas Legais são estabelecidas para promover a conservação da biodiversidade. Embora o seu objetivo principal seja manter a vegetação nativa, essas áreas podem ser usadas em alguns sistemas de produção

de baixo impacto como a extração manejada de florestas, os sistemas agrofloretais selecionados e a apicultura. Essas atividades são adequadas à agricultura familiar dos pequenos produtores e possivelmente aos esquemas de produção alternativos que visam nichos de mercado. A agricultura mecanizada convencional que utiliza insumos intensivos ou as operações florestais que removem uma floresta inteira não são permitidas. De modo ideal, qualquer mudança proposta no Código Florestal também deve levar em conta as implicações dos impactos das mudanças climáticas previstos sobre as paisagens agroecológicas.

É possível vislumbrar uma “mudança de paradigma” para uma paisagem agrícola e rural brasileira produtiva, resiliente e culturalmente adequada e inclusiva, que comporte tanto os grandes produtores que garantem um alto volume de crescimento quanto os pequenos agricultores que promovem a resistência aos choques das mudanças climáticas por meio de uma gama de sistemas de cultivo que são produtivos e rentáveis, com base em pagamentos por serviços ambientais (por exemplo, Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação – REDD+) e nos mercados emergentes, para atender à crescente demanda global por alimentos funcionais e matérias-primas para a indústria. É fundamental compreender a evolução da intensificação, da vulnerabilidade, da resiliência e as questões relacionadas a investimentos, além da realização de um melhor mapeamento dos impactos das alterações climáticas previstos em todas as escalas espaciais e temporais relevantes, a fim de aprimorar

e manter os setores rural e agrícola do Brasil, assim como a sua vantagem competitiva regional e mundial. Esta breve seção foi incluída para destacar a importância dos aspectos legais para a futura expansão, intensificação e diversificação da agricultura brasileira. O Código Florestal (Reservas Legais e APPs) já foi aprovado no Senado Federal e sancionado pela presidente. Agora o

debate se concentra na implementação da lei, a partir de instrumentos como a criação do Programa de Regularização Ambiental nos estados. Uma análise completa do marco jurídico em mutação e da sua possível influência na futura estrutura agrícola está fora da abrangência deste relatório (veja um estudo detalhado e uma discussão sobre esse tema em Sparovek et al., 2010).

Ameaças decorrentes da variabilidade no clima e de uma posterior mudança climática

Existe uma crescente preocupação no Brasil e na América Latina com o fato de que a crescente variação de curto prazo e as mudanças de médio e longo prazo no clima exercerão significativos impactos negativos na paisagem e na agricultura brasileira, no crescimento econômico nacional e nos meios de subsistência associados (Assad e Pinto, 2008; Margulis e Dubeux, 2010).

- O estudo de Assad e Pinto (2008) avaliou 35 produtos agrícolas em termos de riscos climáticos, mas apenas nove principais culturas (algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja, bem como as pastagens e o gado de corte), representando 86% da área plantada no Brasil, receberam atenção especial.
- Com base em um mapeamento das áreas de risco climático em 5000 municípios e utilizando a linha de base de 2007 para essas culturas, foram simulados cenários agrícolas brasileiros para os anos de 2010 (a representação mais próxima das condições atuais), 2020, 2050 e

2070, e também para dois cenários contidos no Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): o cenário A2 apresentou uma visão mais pessimista e o B2 uma situação um pouco mais otimista. No cenário A2, a variação estimada de elevação da temperatura se situa entre 2 ° C e 5,4 ° C, e no B2, entre 1,4 ° C e 3,8 ° C.

Os resultados mostraram que:

- i. Os impactos previstos das mudanças climáticas sobre toda a produção atual de grãos alimentícios atingirão a soma de US\$ 4 bilhões em 2050, sendo que apenas o setor de soja responde por cerca de 50% das perdas;
- ii. Em um cenário pessimista das Alterações Climáticas (A2), as melhores áreas atuais de “baixo risco” para produção de café deverão sofrer uma redução de 30% no mínimo, o que poderá resultar em perdas de quase US\$ 1 bilhão até 2050. É interessante notar que mesmo no cenário pessimista A2 a área ade-

quada para o cultivo de cana-de-açúcar poderá duplicar até 2020.

A análise de Margulis e Dubeux (2010) utilizou as metodologias de estudo de Assad e Pinto (2008) baseando-se em uma combinação única dos modelos climáticos global e regional e nos cenários A2 e B2 do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC. Os resultados da modelagem climática foram usados para determinar um padrão de equilíbrio geral computável (EGC), com vistas a melhor avaliar os prováveis impactos econômicos resultantes das projeções de mudanças climáticas para 2020, 2050 e 2070. As

simulações mostraram que o PIB do Brasil em 2050 será de aproximadamente US\$ 9,4 trilhões e que, na pior das hipóteses (Cenário A2 do IPCC), o país poderá perder cerca de 2,5% desse valor a cada ano, devido aos efeitos do aumento de temperatura. A uma taxa de desconto de um por cento ao ano, isto é equivalente à perda do PIB de um ano inteiro ao longo dos 40 anos seguintes. As conclusões do estudo também previram uma redução significativa nas melhores áreas de cultivo atualmente caracterizadas por uma produção de baixo risco em 8 dos 9 principais produtos agrícolas alimentares e de exportação (Tabela 1).

Tabela 2. Impacto das mudanças climáticas nas atuais áreas de “baixo risco” adequadas ao cultivo (Margulis et al., 2010)

Culturas	Variação relativa à área produtiva atual (%)					
	RECE B2 (+1.4°C to +3.8°C)			RECE A2 (+2°C to +5.4°C)		
	2020	2050	2070	2020	2050	2070
Algodão	-11	-14	-16	-11	-14	-16
Arroz	-9	-13	-14	-10	-12	-14
Café	-7	-18	-28	-10	-17	-33
Cana-de-açúcar	171	147	143	160	139	118
Feijão	-4	-10	-13	-4	-10	-13
Girassol	-14	-17	-18	-14	-16	-18
Mandioca	-3	-7	-17	-3	-13	-21
Milho	-12	-15	-17	-12	-15	-17
Soja	-22	-30	-35	-24	-34	-41

RECE - Relatório Especial sobre os Cenários de Emissões

A redução prevista na área de cultivo de baixo risco e as conseqüentes perdas econômicas em 2050 resumidas por Mar-

gulis et al., 2010 são modestas (Tabela 3, abaixo. US\$1 = R\$ 1,8)

Cultura	Redução nas áreas de cultivo de "baixo risco" (%)	Cenário A2 Perda econômica anual (milhões de reais)*
Arroz	-12	530
Algodão	-14	408
Café	-17.5	1,597
Feijão	-10	363
Soja	-32	6,308
Milho	-15	1,511
Cana-de-açúcar	145	0

O estudo de Margulis e Dubeux (2010) representou uma contribuição pioneira para a base de conhecimento brasileira sobre os impactos das mudanças climáticas em uma série de setores (agricultura, biodiversidade, energia e recursos hídricos) e as implicações do crescimento macroeconômico em escala nacional. Não obstante, os autores identificaram as seguintes oportunidades para melhorar no futuro as avaliações do impacto econômico das mudanças climáticas:

1. O uso de uma série de modelos climáticos globais e regionais (MCGs e MCRs) para ampliar a eficiência das projeções de mudanças climáticas, em vez da combinação de um único MCG e um MCR utilizada no estudo.
2. O aperfeiçoamento das projeções de impactos pluviométricos, porque não houve consenso sobre a sua magnitude e direção – um problema que continua a prejudicar a maior parte dos outros estudos.

3. O tratamento explícito da incerteza, magnitude e frequência dos eventos extremos.
4. O aumento da densidade dos dados (área produtiva, qualidade do solo, precipitação atmosférica, temperatura, escoamento, infiltração, biodiversidade, dinâmica da cobertura do solo) e do acesso às informações para possibilitar a parametrização, a calibragem e as validações..

Um estudo regional dos impactos das mudanças climáticas na agricultura latino-americana (Fernandes et al. 2011) também constatou que a produtividade possivelmente será afetada de modo significativo e negativo, muito embora com diferentes intensidades sub-regionais (Quadro 1, abaixo). O estudo previu que a produção de soja brasileira poderá diminuir até 30% em 2020 e ainda mais em 2050, com possíveis reduções expressivas também no cultivo de milho e trigo. No entanto, é estimulante verificar que a análise mostrou que a simulação das intervenções de adaptação (variedades de ciclo curto e longo, espécies com raízes mais profundas e resistentes à

seca, irrigação moderada nas fases críticas do crescimento e uma mudança nas datas de plantio) indicou que é possível atenuar uma quantidade significativa de reduções na produtividade de todas as lavouras afetadas.

QUADRO 1 – As Mudanças Climáticas e a Agricultura na América Latina, 2020-2050

O estudo regional do Banco Mundial de 2011 (Fernandes et al. 2011) mostrou que a visão predominante e frequentemente expressa de que a América Latina e o Caribe continuarão a ser o celeiro do futuro, intervindo para fornecer grãos a outras regiões afetadas pelas mudanças climáticas, deve ser amenizada e submetida a rigorosos testes. Os principais resultados são os seguintes:

- No caso do trigo, a produção poderá ser significativamente afetada pelas alterações climáticas, independentemente do cenário de emissões ou do modelo de circulação geral. Os percentuais de declínio na produtividade devem ser mais elevados no México, na Colômbia e no Brasil. As reduções nas safras devido ao encurtamento do ciclo de cultura resultarão em menos dias para o enchimento de grãos. Também podem ser significativas as quedas previstas na produção, decorrentes de doenças em 2020 e 2050. Com poucas exceções, uma quantidade insuficiente de água poderá afetar mais a produtividade do trigo do que outros fatores.
- Quanto à soja, poderá haver uma menor produtividade como consequência das mudanças climáticas em 2020 e mais ainda em 2050, com diferentes magnitudes em toda a região. As perdas de produtividade podem ser grandes no Brasil (mais de 30% em relação à linha de base), porém menos consideráveis na Argentina, na Bolívia, na Colômbia e no Uruguai. Esse fato pode ser explicado pelo maior impacto das alterações climáticas no Brasil, onde o ciclo de cultivo deverá ser menor do que em outras partes da América Latina, e provavelmente resultará em uma acentuada redução do período de enchimento dos grãos de soja.
- No caso do milho, as mudanças climáticas podem reduzir a produção em toda a América Latina, independentemente do cenário de emissão ou do modelo climático global. Isto ocorre principalmente porque o período mais curto de enchimento dos grãos talvez não seja compensado por maiores taxas diárias de acúmulo de biomassa e pelo efeito de fertilização por CO₂. É possível que os países mais afetados sejam o Brasil, o Equador, o México e as nações do Caribe, onde o milho é um dos principais produtos agrícolas.
- Quanto ao arroz, as estimativas do simulador de zonas agroecológicas (SZA) mostram que a produtividade poderá, na média, aumentar em toda a região. A principal razão para esse cenário positivo parece estar relacionada ao fato de que o plantio de arroz é realizado em uma área alagada/irrigada. À exceção do Brasil, do México e do Caribe, as projeções para 2020 e 2050 são animadoras e preveem na maioria dos casos uma produtividade mais elevada. Nas áreas com baixa temperatura (especialmente o Uruguai e o Sul do Brasil), as mudanças climáticas podem reduzir a incidência de choques provocados pelo

frio na pré-floração, que induzem à esterilidade. Com exceção do Brasil e do Caribe, a pressão determinada pela brusone do arroz poderá diminuir porque as condições de temperatura e precipitação se tornam menos favoráveis à expansão do fungo patógeno vegetal *Pyricularia grisea*.

Um dos principais desafios e oportunidades para o Brasil é a necessidade de melhor compreender, quantificar e mapear os locais onde há previsão de impactos nas áreas agrícolas produtivas e de aprimorar a quantificação da magnitude e da incerteza associadas às projeções atuais dos efeitos positivos e negativos.

Em 2011, um relatório do Banco Mundial (Assad et al. 2011) apresentou uma análise detalhada da literatura e dos resultados de estudos empíricos recentes que realizaram projeções para os prováveis impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. De modo geral, a evidência empírica sugere que o efeito líquido é negativo, embora existam diferentes consequências regionais. No entanto, a maioria dos estudos desenvolvidos para avaliar essas possíveis consequências foi determinada por várias das seguintes limitações:

1. As simulações de mudanças climáticas se basearam em cenários de aumento uniforme de temperatura e precipitação e não usaram projeções climáticas geograficamente diferenciadas.
2. Os estudos usaram conjuntos de dados climáticos que eram significativamente menos abrangentes em termos de distribuição geográfica e de precisão do que os dados atuais disponíveis.
3. As análises se basearam exclusivamente nos modelos climáticos globais (MCGs) utilizados nas projeções dos futuros impactos das mudanças climáticas. Embora as simulações com MCGs sejam os instrumentos adequados para abordar as mudanças e os impactos climáticos em escala global até subcontinental (Giorgi et al. 2001), os resultados das simulações MCG multimodais de longo prazo ainda devem ser tratadas com cautela porque não captam os detalhes necessários às avaliações de impacto regional, em parte devido à baixa resolução (cerca de 300 km x 300 km) na maioria dos modelos utilizados. A preocupação com a baixa resolução espacial dos MCGs é especialmente importante para as regiões heterogêneas, como a América do Sul, onde as distribuições das variáveis de superfície como a temperatura e a precipitação atmosférica são frequentemente influenciadas por efeitos locais de topografia e de contrastes térmicos que podem ter um efeito significativo sobre o clima (Alves e Marengo, 2009).
4. Para avaliar as consequências ou os impactos das mudanças climáticas nas escalas nacional, estadual e municipal foram adotados os modelos climáticos regionais (MCRs), com resolução mais alta (por exemplo, 50 km x 50 km). No entanto, é importante notar que, embora

os resultados para o Brasil demonstrem que os MCRs são eficientes na simulação do clima atual, as suas configurações ainda necessitam de ajustes e calibração com base nos dados locais e nas observações de campo, para corrigir os erros

sistemáticos herdados do MCG do qual foram obtidos e, finalmente, visando produzir estimativas úteis para as projeções climáticas regionais, sazonais e interanuais (Marengo et al., 2009b).

Abrangência deste estudo



31

Este estudo parte das conclusões obtidas por uma década de pesquisa sobre os impactos das mudanças climáticas na agropecuária brasileira e apresenta as mais recentes descobertas das novas metodologias de modelagem e de simulações:

- i. das mudanças climáticas previstas para o Brasil em 2020 e 2030
- ii. do provável impacto das mudanças climáticas nas zonas agroecológicas já existentes e na sua adaptabilidade às principais culturas de grãos, cana-de-açúcar, algodão e pastagens, e
- iii. dos impactos econômicos das mudanças na adaptabilidade das zonas agroecológicas aos diversos cultivos e:
 - das alterações induzidas na oferta e na demanda dos produtos agrícolas no nível nacional,

- dos efeitos econômicos sobre a produção e a rentabilidade agrícola, e
- das mudanças na distribuição regional do uso da terra e na produção do Brasil em determinados cenários de oferta e demanda.

Este relatório destaca os resultados de modelagens das principais culturas selecionadas no Brasil, visando oferecer informações mais sólidas e quantitativas sobre como e onde os determinantes do crescimento da produção agrícola têm maior possibilidade de serem afetados pelas alterações climáticas. O objetivo deste estudo é capacitar os formuladores de políticas de modo a assegurar que o setor agropecuário tenha acesso a conhecimento e recursos para realizar a adaptação que será necessária no sentido de enfrentar as inevitáveis mudanças

climáticas, contribuindo ao mesmo tempo para a atenuação das emissões de gases do efeito estufa.

Quatro principais intervenções associadas e integradas foram adotadas na tentativa de aperfeiçoar de modo significativo as atuais avaliações do impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira e de orientar os formuladores de políticas quanto às prioridades e ao escalonamento dos investimentos. Este estudo:

1. Avaliou e incorporou os melhores dados hidrometeorológicos que estavam disponíveis nas estações de monitoramento calibradas e validadas da Agência Nacional de Águas (ANA) em todas as sub-regiões do Brasil, para reduzir de forma expressiva as **“deficiências nos dados climáticos”** identificadas nos estudos anteriores.
2. Aperfeiçoou as projeções das mudanças climáticas por meio da combinação de modelos em escala global, regional e local, visando oferecer previsões mais significativas para o Brasil. Isto foi realizado por meio:
 - a. da análise do melhor conjunto de modelos globais e regionais (MCGs e MCRs), que foram testados para as condições do clima brasileiro
 - b. da integração dos melhores MCGs e MCRs disponíveis ao Desenvolvimento Brasileiro do Modelo Atmosférico Regional (*Brazilian Atmospheric Modeling System*, BRAMS), que incorpora as respostas das emissões de aerossóis e da cobertura e/ou do uso da terra para aperfeiçoar de modo substancial as previsões meteorológicas e climáticas locais (especialmente as pluviométricas).
3. Combinou a melhor série de modelos MCG, MCR e BRAMS identificados acima com o Modelo de Zoneamento Agroecológico da EMBRAPA/UNICAMP, assim como aos dados altamente desagregados no nível municipal sobre a qualidade da terra (do solo), que foram recentemente disponibilizados, para desenvolver um Modelo de Zoneamento Agroecológico (MZA) da EMBRAPA atualizado.
4. Combinou o MZA da EMBRAPA ao Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (*Brazilian Land Use Model*, BLUM), com o objetivo de avaliar:
 - a. As alterações induzidas pelas mudanças climáticas na oferta e na demanda de produtos agrícolas no nível nacional.
 - b. As mudanças na distribuição do uso da terra e da produção no território brasileiro em determinados cenários de oferta e demanda.
 - c. Os efeitos econômicos na produção, preços e na rentabilidade das atividades agrícolas

As Mudanças Climáticas e as Projeções do Impacto Agrícola no Brasil até 2030 e Após



33

Basendo-se nas conclusões da análise da literatura destacadas nas seções anteriores e nos resultados que emergem dos trabalhos que estão sendo realizados no Brasil, existem oportunidades significativas para melhorar a qualidade e a solidez das projeções que estão disponíveis sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira ao longo das próximas três a quatro décadas. Uma opção foi desenvolver modelos climáticos regionais (MCRs) aninhados em um MCG para facilitar a elaboração de estimativas mais consistentes nos níveis nacional e sub-regional (Christensen et al., 2007). Vários programas nacionais e internacionais us-

aram os MCRs para ajudar a quantificar melhor as alterações no clima regional e proporcionar cenários para a avaliação dos impactos e da vulnerabilidade às mudanças climáticas. Todos esses projetos adotaram um delineamento experimental padronizado que utilizou um ou dois MCGs para determinar vários modelos regionais a partir dos serviços de meteorologia e das instituições de pesquisa nas regiões, com o objetivo de fornecer projeções climáticas dinâmicas regionais e com maior resolução para a América Central e do Sul (Marengo et al, 2009 e Central; Soares e Marengo, 2009; Urrutia e Vuille, 2009).

Aperfeiçoamento das projeções do impacto das mudanças climáticas por meio de modelagem em escala global, regional e local

Como foi analisado nas seções anteriores, as resoluções relativamente baixas dos MCGs impõem limitações à simulação explícita dos processos climáticos de mesoescala e à representação da topografia, da cobertura do solo, do uso da terra e da distribuição terra-mar. Este estudo realizou as seguintes etapas principais com o objetivo de ajustar as projeções de mudanças climáticas e as avaliações de impacto realizadas para as principais lavouras brasileiras.

Abordagem Brasileira e Regional para a Seleção e o Uso de Modelos Climáticos

Analizamos o projeto regional latino-americano Cenários Regionalizados de Clima Futuro da América do Sul (CREAS) em curso, no qual três MCRs: (1) **Eta for Climate Change Simulations – Eta CCS** – (Pisnichenko e Tarasova, 2009), (2) **RegCM3** (Seth e Rojas, 2003; Pal et al., 2007) e (3) a terceira versão pública do **HadRM3P** do Met Office Hadley Centre do Reino Unido (Jones et al. 2004; Alves e Marengo 2009) foram aninhados na versão pública do modelo atmosférico global HadAM3P do Met Office Hadley Centre do Reino Unido (Marengo e Ambrizzi, 2006; Marengo 2009).

O projeto CREAS tem como objetivo proporcionar cenários de mudanças climáticas de alta resolução na América do Sul, para

conscientizar o governo e os formuladores de políticas em suas avaliações acerca do impacto e da vulnerabilidade às mudanças climáticas e do planejamento das medidas de adaptação. A justificativa para a escolha do modelo global HadAM3P é a seguinte: (a) o modelo reproduz de forma adequada a distribuição sazonal e a variabilidade da precipitação atmosférica em extensas áreas da América do Sul, mesmo que persistam alguns erros sistemáticos, (b) o modelo foi pesquisado de modo muito cuidadoso em diversas regiões nas experiências anteriores realizadas em escala reduzida.

Cenários de Emissões Utilizados Neste Estudo

Devido às limitações de recursos (financiamento e tempo), este estudo aperfeiçoou o trabalho anterior realizado pelo Brasil e o Banco Mundial usando cenários de emissões e métodos de modelagem semelhantes.

Os trabalhos anteriores (Assad e Pinto, 2008; Margulis e Dubeux, 2010) se basearam no mapeamento das áreas de risco climático em 5000 municípios para as principais lavouras brasileiras em relação à linha de base de 2007 e simularam cenários agrícolas para o Brasil abrangendo os anos de 2010 (a representação mais próxima das condições atuais), 2020, 2050 e 2070, e para dois cenários do Terceiro Relatório de

Avaliação do IPCC: A2, o mais pessimista, e B2, um pouco mais otimista. No cenário A2, a estimativa de variação do aumento de temperatura se situa entre 2 ° C e 5,4 ° C, e no B2, entre 1,4 ° C e 3,8 ° C.

Com base no trabalho anterior realizado no país no contexto dos cenários A2 e B2, selecionamos a emissão A2 (mais pessimista, com uma variação prevista para o aumento da temperatura entre 2° C e 5,4° C) como o cenário mais semelhante à estimativa de expansão futura da heterogeneidade determinada pelo constante crescimento populacional. O desenvolvimento econômico está orientado principalmente para a escala regional. O crescimento econômico *per capita* e o desenvolvimento tecnológico são mais fragmentados e lentos quando comparados a outros cenários (IPCC, 2007).

Neste estudo, concentramo-nos no aperfeiçoamento das avaliações do impacto climático na agricultura nos períodos de 2020 e 2030 e no cenário 2, porque essas décadas são de maior interesse tanto para os investimentos atuais quanto para os formuladores de políticas. Mais importante ainda é que a confiabilidade dos dados disponíveis e a capacidade de previsão também é maior para o período até 2030. As projeções se tornam cada vez mais incertas após 2030 se forem tomados como base os dados climáticos e outras informações relevantes disponíveis.

Modelos Climáticos Adotados Neste Estudo

Utilizamos os resultados de um estudo de Macedo (2011) que avaliou modelos

climáticos globais para o Brasil e selecionamos quatro entre os MCGs mais adequados, usando o cenário A2 do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões do IPCC devido à coerência das previsões climáticas (temperatura) para diferentes regiões do Brasil. Estes foram os MCGs selecionados:

- **NCCCSM (CCSM3)** – Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas – EUA
- **GIER (GISS-ER)** – Instituto Goddard de Estudos Espaciais da NASA – EUA
- **CSMK3 (CSIRO – Mk 3.0)** – Organização de Pesquisa da Comunidade Científica e Industrial – Austrália
- **INCM3 (INM-CM3.0)** – Instituto de Matemática Numérica – Rússia

Além dos MCGs acima, escolhemos três Modelos Climáticos Regionais (MCRs) que já foram amplamente testados e calibrados no Brasil:

- **PRECIS** (*Providing Regional Climates for Impact Studies*), desenvolvido pelo Centro Hadley (Reino Unido) e inicialmente chamado de HadRM3P. As condições de contorno são definidas pelas projeções dos modelos HadRM3P e HadAM3P. Esse modelo é indicado para as condições oceânicas da América do Sul e adjacências. O trabalho anterior desenvolvido pela EMBRAPA e pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) mostrou uma excelente adequação às projeções de temperatura para 2050, mas com problemas na simulação de precipitações atmosféricas.

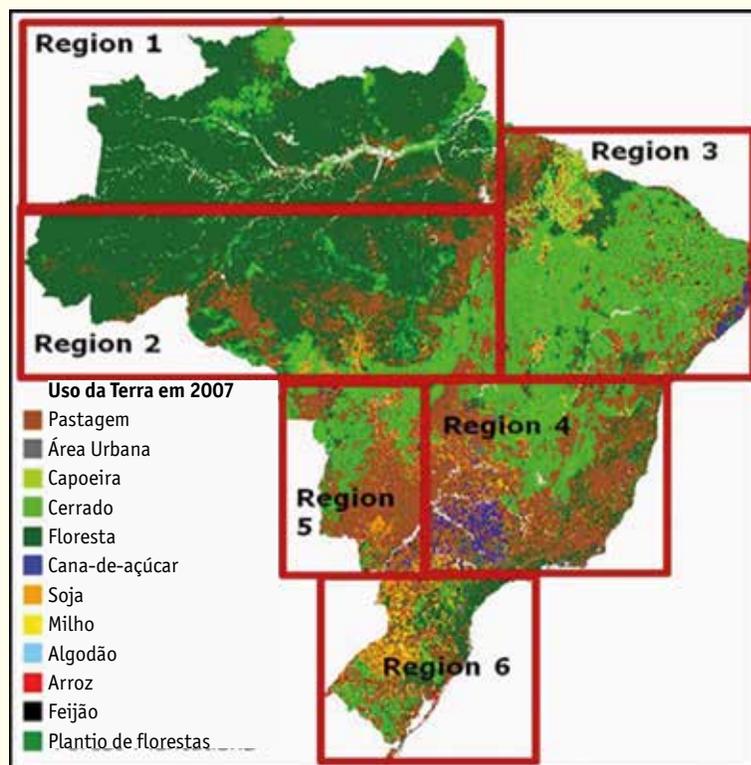
1. **Eta for Climate Change Simulations** – **Eta CCS** – (Pisnichenko e Tarasova,

2009), desenvolvido na Universidade de Belgrado e implementado pelo Centro Nacional de Previsões Ambientais. No Brasil, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) vem utilizando o Modelo Eta de forma operacional desde 1996 para fornecer previsões meteorológicas destinadas à América do Sul. Devido ao seu sistema de coordenadas verticais, esse modelo pode produzir resultados satisfatórios nas regiões com orografia íngreme como a Cordilheira dos Andes. A comparação das previsões do MCG do CPTEC com as do Eta mostrou que o modelo proporcionou uma melhoria considerável em relação ao modelo condutor. A avaliação das previsões sazonais do Eta em relação à climatologia mostraram que o modelo produziu em geral informações úteis adicionais sobre esse tema. O Eta apresentou melhores resultados nas simulações dos níveis altos e baixos dos campos de circulação e de precipitação atmosférica.

2. BRAMS (Brazilian developments on Regional Atmospheric Modeling System) (Freitas et al., 2009; Longo et al., 2010). O modelo BRAMS se baseia no Sistema de Modelagem Atmosférica Regional (*Regional Atmospheric Modeling System*, RAMS) com uma parametrização específica para os trópicos e subtropicais. O modelo definiu um conjunto de módulos para simular os processos como: transferência radiativa, troca de água, calor e momento entre a superfície e a atmosfera, microfísica das nuvens e transporte turbulento na camada limite planetária.

- a. O sistema BRAMS pode incorporar os efeitos de aerossóis no balanço de radiação e no ciclo hidrológico, ajudando desta forma a superar uma significativa fonte de inconsistências nas projeções de precipitação.
- b. O BRAMS possui também conjuntos de dados atualizados e de alta resolução sobre topografia, uso da terra, tipos de solo e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os parâmetros biofísicos como máxima condutividade estomatal, índice de área foliar, albedo, rugosidade, biomassa, capacidade de aquecimento do solo, porosidade do solo, condutividade hidráulica, potencial de umidade na saturação e distribuição de raízes associada à vegetação e às parametrizações de solos dos RAMS foram adaptados aos biomas e solos tropicais e subtropicais usando observações ou estimativas obtidas nas campanhas de campo brasileiras, em sua maior parte vinculadas ao Programa de Grande Escala Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA, www.lba.cptec.inpe.br).
- c. De modo geral, o modelo BRAMS pode reproduzir com habilidade adequada o ciclo sazonal de precipitação na maioria das regiões do Brasil. Na Figura 5 abaixo, a habilidade da projeção para as regiões 1 e 2 é muito boa, enquanto que para as regiões 3, 4 e 5 é satisfatória. Na região 6, o modelo subestima a precipitação.

Figura 5. O mapa de uso da terra do BRAMS para a análise dos resultados da simulação do modelo



Testes, Projeções Climáticas e Calibrações do Modelo

Após a seleção dos sete modelos climáticos - quatro MCGs e três MCRs - a temperatura e a precipitação foram simuladas para 2020 e 2030, em relação à linha de base de 2010. O detalhamento dos métodos de simulação climática e do tratamento matemático dos dados estão disponíveis na EMBRAPA.

Uma vez realizadas as simulações de temperatura e de precipitação, elas foram calibradas com os dados hidrometeorológicos de uma série de entidades brasileiras (ANA, CPETEC, EMBRAPA, INMET, UNICAMP). O sistema hidrometeorológico AGRITEMPO possui uma rede de 1.200 estações meteorológicas e 4 mil pluviômetros em todo o território nacional (veja a Figura 6) e conta com pelo menos 25 anos de registros de dados cuja qualidade foi testada até 2007.

Figura 6. Distribuição espacial das estações hidrometeorológicas brasileiras

[Fonte: EMBRAPA]

Com vistas a obter a variação de temperatura nos sete modelos climáticos ao longo do tempo, foi utilizado o método proposto por Gleik (1986). Adotando como base o ano de 2000, calculamos a diferença do val-

or das temperaturas mensais para cada um dos anos selecionados (2020 e 2030).

1. Portanto, para cada coordenada espacial (x, y) em um modelo climático M , a variação de temperatura é estimada pela seguinte expressão:

$$\Delta T M M(m,a,x,y) = T M M(m,a,x,y) - T M M(m,2000,x,y)$$

1. onde $T M M(m,a,x,y)$ é a média móvel de 11 anos para o mês m , ano a em relação ao ponto (x,y) .

2. Para cada estação hidrometeorológica catalogada no banco de dados nacional AGRITEMPO, pudemos determinar o valor de $\Delta T M$ para cada um dos modelos climáticos e, em seguida, a $\Delta T M M A X$ e a $\Delta T M M I N$ para cada ano/mês.

3. A fim de obter a temperatura utilizada nas simulações do impacto sobre as culturas agrícolas (TS) para cada coordenada geográfica (x, y) correspondente a uma estação hidrometeorológica, a TS foi calculada da seguinte maneira

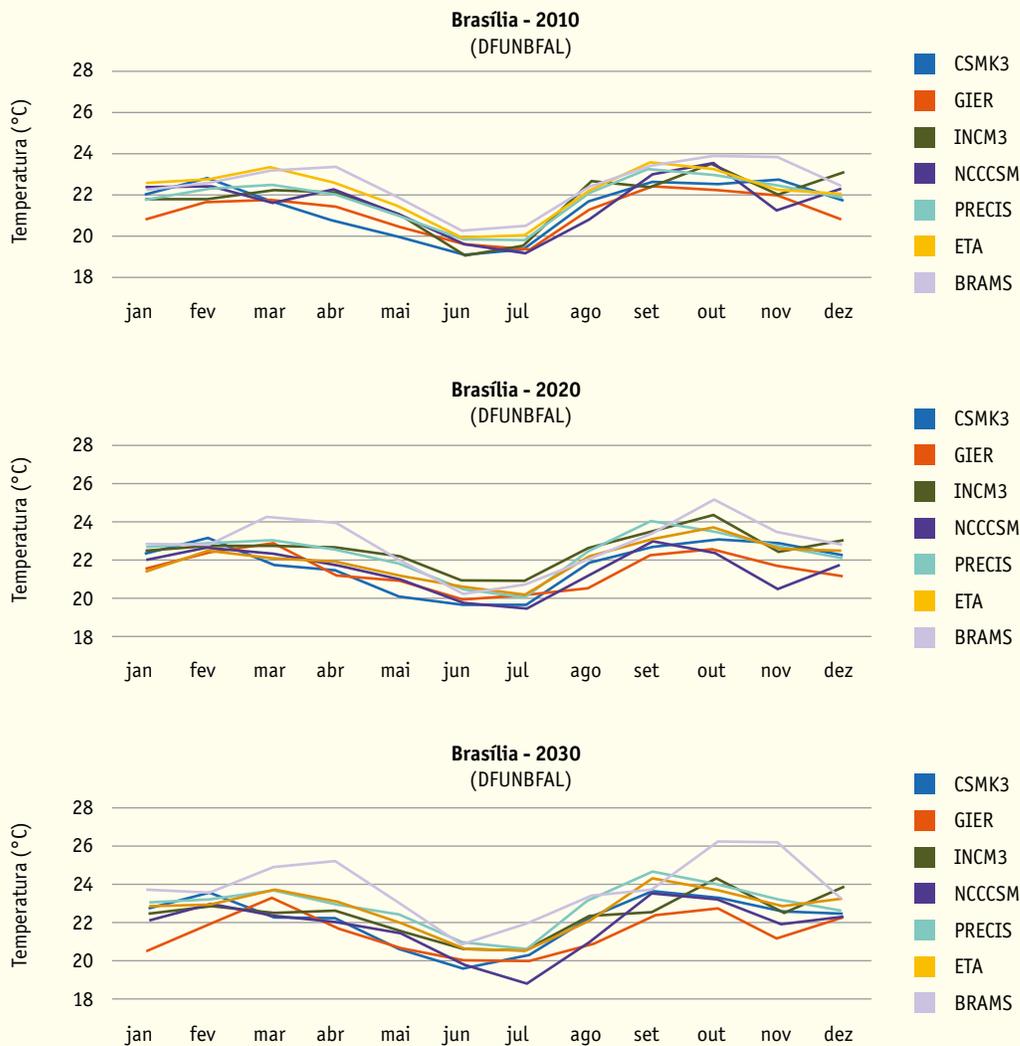
$$TS(m,a,x,y) = TR(m,x,y) + \Delta TMM(m,a,x,y)$$

onde $TR(m,x,y)$ é a temperatura real no local (x,y) no mês m e $\Delta TMM(m,a,x,y)$ é a variação de temperatura para um determinado modelo M no mês m e no ano de interesse a .

Para avaliar a representatividade das temperaturas simuladas T_s com os valores ob-

servados nas estações hidrometeorológicas, simulamos as temperaturas de 2010 para as estações selecionadas em todo o Brasil. A Figura 7, abaixo, mostra a congruência adequada do conjunto T_s simulado nos sete modelos (quatro MCGs e 3 MCRs) para uma estação hidrometeorológica situada em Brasília.

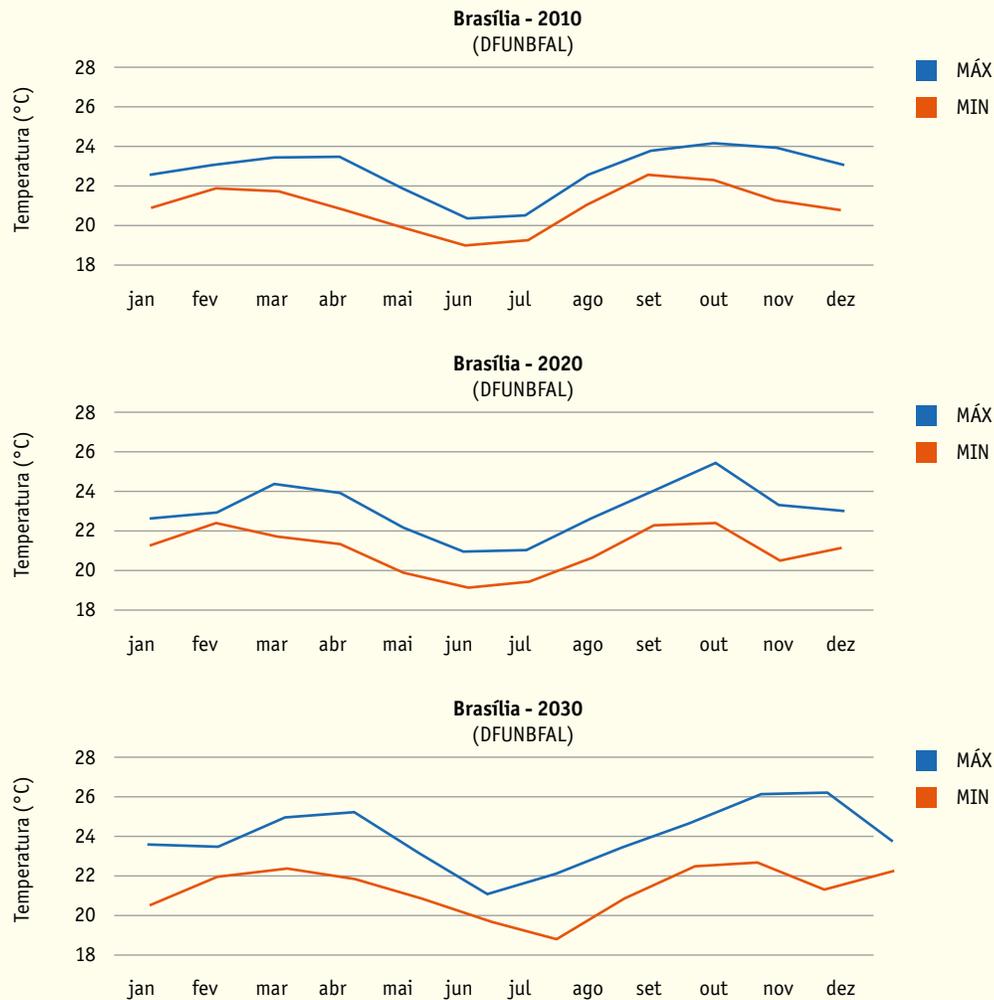
Figura 7. Variação de temperatura estimada pelos sete modelos para a estação meteorológica “DFUNBFAL”, localizada em Brasília, D.F., no Brasil (latitude: -15,79; longitude: - 47,9227).



Além de calcular ΔTM , também obtivemos os valores máximos e mínimos dos modelos (ΔTM_{MAX} e ΔTM_{MIN}) que, após a extração da média nos sete modelos climáticos, eram consistentes com a estação hidrometeorológica de Brasília (Figura 8).

O padrão foi repetido em todas as outras estações testadas no Brasil, permitindo assim o desenvolvimento de cenários de aumento de temperatura OTIMISTAS (ΔTM_{MIN}) e PESSIMISTAS (ΔTM_{MAX}) em 2010, 2020 e 2030.

Figura 8. Temperaturas máximas e mínimas mensais estimadas pelos sete modelos para a estação meteorológica “DFUNBFAL”, localizada em Brasília, D.F., no Brasil. (Latitude: -15,79; Longitude: - 47,9227).



O Modelo de Zoneamento da Vulnerabilidade e dos Riscos Climáticos Agrícolas

No Brasil, o zoneamento dos riscos agrícolas é uma política pública desde 1996 e

cada um de seus 5.564 municípios foi demarcado de acordo com a adequação ao

cultivo segundo uma probabilidade mínima de 80% de se obter uma safra economicamente viável. O zoneamento baseia-se nas fases de crescimento de cada uma das culturas (fenologia), no estresse hídrico, no risco de inundação e nas temperaturas extremas em fases críticas do desenvolvimento das plantações. Por exemplo, o estresse hídrico no florescimento ou no enchimento de grãos pode afetar de modo significativo as safras. O excesso de chuvas na época da colheita pode arruinar uma lavoura. A incidência de temperaturas extremas pode causar a perda da produção devido à deterioração da flor, no caso de temperaturas elevadas ou de geada resultante de baixas temperaturas.

Em 2001, a EMBRAPA e a UNICAMP desenvolveram um simulador para projetar os riscos agrícolas em função do clima e do solo. Em seguida, o simulador foi utilizado para produzir 500 mil observações simuladas de feijão, 600 mil de soja, 400 mil de arroz, 2,5 milhões de milho e 450 mil de trigo. Essas simulações, que tinham como objetivo refletir os diferentes solos, as plantas e as características climáticas dos diversos municípios brasileiros resultaram em uma base de conhecimento avançado da geografia agrícola do país.

Além de prover informações sobre as necessidades das culturas agrícolas, as características do terreno, a qualidade do solo e os dados meteorológicos, o zoneamento foi ainda mais aperfeiçoado de modo a incluir índices específicos de sensibilidade dos cultivos a temperaturas extremas e eventos de umidade durante as fases críticas

do seu crescimento, com base nos conhecidos calendários agrícolas. Por exemplo, os índices de risco de culturas se fundamentam no balanço hídrico agrometeorológico e são calculados a partir da evapotranspiração, que é a soma da transpiração foliar e da evaporação do solo. Cada cultivo tem características ideais de umidade do solo para poder alcançar níveis ótimos de fotossíntese, crescimento e produtividade. Os fatores climáticos essenciais para esse processo são a temperatura e a umidade do solo, que podem ser usados para determinar em que área uma cultura agrícola pode ser produzida no Brasil, assim como os riscos climáticos a que está exposta.

Ao incorporar os cenários de aquecimento global do IPCC, a temperatura prevista e qualquer impacto causado pela precipitação atmosférica/umidade do solo podem ser inseridos nas simulações com base nos índices de risco associados à temperatura e à umidade para qualquer cultura específica. As áreas de baixo risco são aquelas onde há estresse hídrico, que garante a germinação de sementes e especialmente o florescimento, além do enchimento de grãos, que são fatores essenciais para a produção final. Esse risco não deve exceder 20%.

Este estudo visa contribuir para a melhoria do atual sistema de zoneamento agrícola brasileiro de modo a incluir projeções e cenários climáticos futuros e, uma vez que essa etapa seja concluída, ele começará a exercer um imediato impacto operacional e nas políticas em nível nacional.

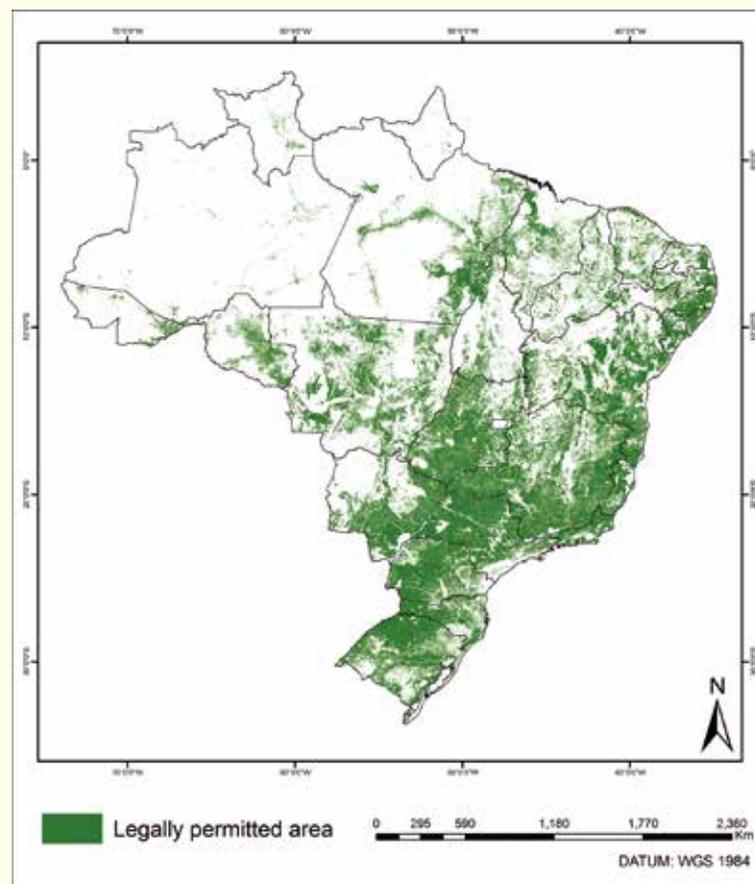
O Modelo de Zoneamento de Vulnerabilidade e Risco Agroclimático Agrícola

(Assad e Pinto, 2008), desenvolvido pela EMBRAPA e a UNICAMP, serve atualmente de base para todos os financiamentos destinados ao setor agrícola brasileiro. O Banco Central exige um zoneamento agrícola obrigatório em todo o país para se obter acesso ao crédito rural, e o modelo EMBRAPA/UNICAMP indica “o que, onde e quando” deve ser plantada uma variedade de cultura de acordo com um sistema de zoneamento. Estão definidos três tipos de zoneamento:

a. Agroecológico - utiliza o banco de dados de solo, topografia, clima e o atual marco legal fundiário e ambiental. Por

exemplo, a Figura 9 abaixo mostra a **área de terra** disponível (em verde) para a agricultura em resolução de escala municipal, que pode ser empregada legalmente na agricultura. Para produzir este mapa de alta resolução como uma linha de base com o objetivo de analisar os futuros impactos das mudanças climáticas, o nosso estudo utilizou conjuntos de dados de alta resolução sobre solos, vegetação e características do terreno, e incluiu todas as restrições aos tipos de uso da terra que podem ser praticados, segundo o marco legal brasileiro.

Figura 9. Área com permissão para a agricultura segundo o marco legal fundiário e ambiental e as restrições de uso da terra



b. Agroclimático – baseia-se apenas nas informações climáticas sem avaliar o potencial de risco de uma cultura.

c. Climático - utiliza os dados sobre clima, solo e cultivo, avaliando a análise de risco e levando em conta, principalmente, as informações sobre precipitação, temperatura e balanço hídrico dos derivativos que indicam as deficiências e os excedentes **hídricos das** culturas agrícolas.

O Zoneamento Agroclimático integra os modelos de crescimento das culturas às simulações climáticas aperfeiçoadas descritas acima e usa uma matriz de risco agrícola baseada em uma tipologia *avançada* de qualidade do solo e da terra, em dados meteorológicos, nas necessidades hídricas e na fenologia das culturas (veja a Figura 10).

O Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA) do Método de Zoneamento Agroclimático

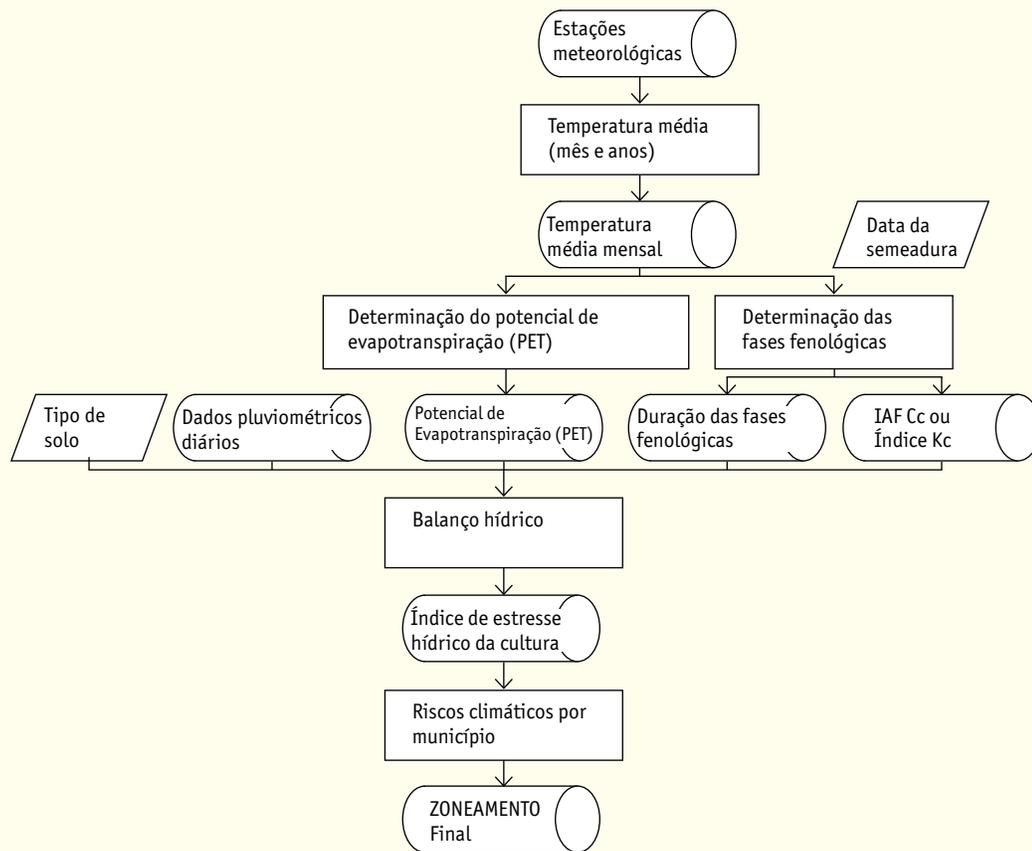
O zoneamento tem como base um índice de abastecimento de água para o cultivo (Vulnerabilidade), obtido pela proporção entre o nível real e o nível máximo de evapotranspiração por cultura, que é utilizado para a realização de um zoneamento segundo a adequação e o risco de uma lavoura. As áreas de risco estabelecidas para cada município do país indicam aquelas, entre as nove principais culturas alimentares e de exportação, que têm pelo menos 80% de probabilidade de proporcionar uma col-

heita economicamente aceitável. Cada cultura ou variedade agrícola possui um conjunto predefinido de condições climáticas que se baseiam em observações de campo e pesquisas de longo prazo. A duração total do ciclo de uma cultura é dividida em quatro fases de crescimento fenológicas (Desenvolvimento Inicial, Crescimento Vegetativo, Reprodução e Maturidade), em que a terceira fase é em geral considerada como essencial, em razão principalmente da alta sensibilidade da floração aos períodos de seca e/ou às temperaturas elevadas. A duração de cada fase do ciclo fenológico é definida por graus-dia ou unidades de calor. A incidência de temperaturas extremas pode causar a perda da produção devido à desintegração da flor, no caso de temperaturas elevadas ou de geada resultante das baixas temperaturas.

Classificação do Solo e o Mapa de Zoneamento Agrícola.

Os solos são classificados em três tipos – arenoso, médio e argiloso – que apresentam baixa, média ou alta capacidade de retenção de água, respectivamente. O coeficiente de cultura (K_c) é definido de acordo com o solo típico e mede o consumo de água em cada fase do desenvolvimento de uma cultura. Os valores do ISNA se baseiam nas estações de precipitação atmosférica e são estimados para um período específico de sementeira que é produzido pelo balanço hídrico para uma combinação fixa de tipo de solo e de ciclo fenológico.

Figura 10. Organograma dos componentes e dos processos biofísicos, climáticos e de crescimento das plantas utilizados no zoneamento



Identificação das Áreas de Cultivo Menos Vulneráveis aos Impactos das Mudanças Climáticas

As áreas vulneráveis são identificadas e quantificadas com base nos efeitos de temperatura em 2020 e 2030. Os princípios adotados na determinação do risco climático são os seguintes:

a. As áreas com risco mínimo são aquelas que não têm deficiência de água no solo, o que resulta em uma boa germinação, floração e enchimento de grãos. Esse risco não deve exceder 20% e se baseia

no índice de evapotranspiração dos cultivos.

b. Adotando os critérios acima, é possível avaliar o risco do plantio de qualquer produto agrícola no Brasil. Para aperfeiçoar as avaliações de risco, além da umidade do solo também são usadas as temperaturas previstas para 2020, 2030 e 2050.

c. Em relação aos estudos anteriores, o grande avanço da abordagem acima é que cada zona agroecológica de baixo risco também é analisada quanto aos seguintes fatores: tipos de solo, encostas íngremes, área de reserva legal, zonas ribeirinhas (APPs), áreas indígenas, áreas

protegidas, aumentando desse modo a precisão das estimativas de produtividade de uma cultura e da probabilidade de ocorrência de impactos climáticos.

d. Nas iniciativas atuais de modelagem a pesquisa do IBGE de 2009 foi adotada como linha de base para as culturas, a área plantada e o valor da produção (Tabela 3 abaixo).

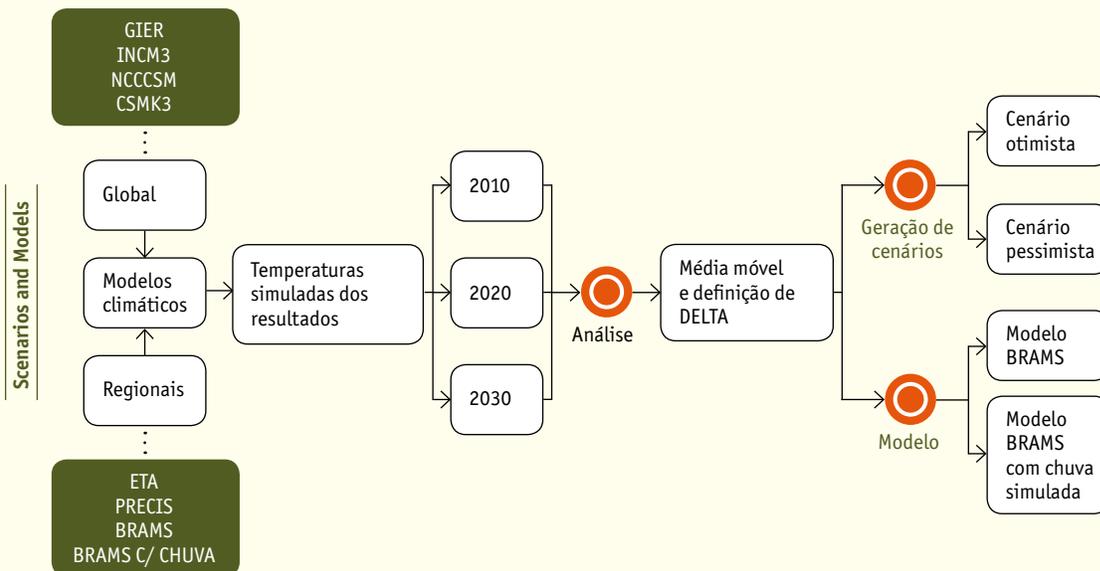
Tabela 3. Culturas e área plantada no Brasil (2009)

Cultura	Área Plantada (ha)
Algodão	814,700
Arroz	2,905,700
Cana-de-açúcar	8,845,650
Feijão (Safrade verão)	1,201,600
Feijão (Safrade outono)	675,000
Milho (Safrade verão)	9,463,200
Milho (Safrade outono)	4,799,650
Soja	21,761,800
Trigo de sequeiro	2,345,500

O processo de integração dos resultados dos MCGs e dos MCRs utilizado na criação de cenários climáticos otimistas e pes-

simistas para 2020 e 2030 é destacado abaixo (Figura 11).

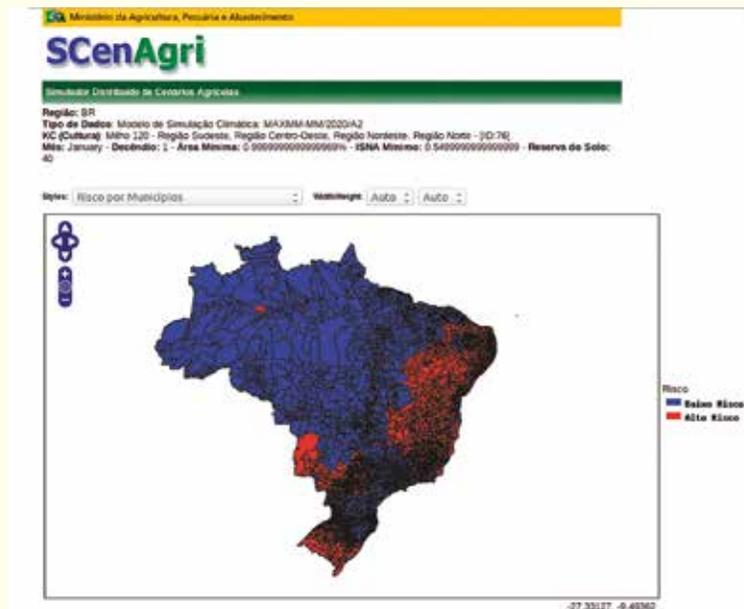
Figura 11. Representação do processo de elaboração de modelos para criação de cenários.



Para obter os impactos previstos das mudanças climáticas na temperatura e na precipitação em 2020 e 2030 sobre as culturas e pastagens selecionadas, utilizamos o Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri) do CNPTIA da EMBRAPA, que integra informações sobre clima, solo, água e

características/necessidades das culturas com base nos conjuntos de dados de campo testados no nível nacional. O SCenAgri pode ser empregado na simulação de cenários futuros da produção agrícola, que se fundamentam em projeções climáticas regionais (Figura 12, abaixo)

Figura 12. Exemplo de áreas de baixo e alto risco para plantação de milho no Brasil, considerando os primeiros dez dias de janeiro como o período da semeadura, com base em um cenário pessimista.



Projeção dos Impactos das Mudanças Climáticas na Área Adequada ao Plantio em 2020 e 2030



47

Este estudo avaliou os possíveis impactos das mudanças climáticas, estimados por um conjunto de MCGs e MCRs, sobre as principais culturas de grãos (soja, milho, trigo e feijão) e de biocombustíveis (cana-de-açúcar), bem como de algodão e pastagens. Além de uma abordagem inovadora que permitiu uma desagregação de alta resolução não apenas das terras cultiváveis adequadas em termos agroecológicos mas também daquelas legalmente acessíveis, este trabalho desenvolveu ainda

cenários otimistas e pessimistas (aumento de temperatura) das mudanças climáticas, facilitando assim uma interpretação mais diferenciada dos prováveis riscos e impactos sobre as principais lavouras brasileiras. A Tabela 4 abaixo apresenta os resultados de nossas projeções do impacto climático sobre uma área apropriada (em relação à linha de base 2010) às principais culturas de grãos no país. No caso das pastagens, os valores correspondem às estimativas de decréscimos em sua produtividade.

Tabela 4. Percentual de mudança na área de baixo risco de mudanças climáticas

Culturas	2020		2030	
	Otimista %	Pessimista%	Otimista %	Pessimista %
Algodão	-4.6	-4.8	-4.6	-4.9
Arroz	-10	-7.4	-9.1	-9.9
Cana-de-açúcar ¹	107	101	108	91
Soja	-13	-24	-15	-28
Trigo de sequeiro	-41	-15.3	-31.2	-20
Feijão (Safr de verão)	-54.2	-55.5	-54.5	-57.1
Feijão (Safr de outono)	-63.7	-68.4	-65.8	-69.7
Milho (Safr de verão)	-12	-19	-13	-22
Milho (Safr de outono)	-6.1	-13	-7.2	-15.3
Pastagem ²	-34.4	-37.1	-34.9	-38.3

¹ A cana-de-açúcar inclui as (novas) áreas potenciais e não apenas as áreas produtivas atuais.

² Valor da pastagem = Produtividade.

Para a soja, o feijão (safras de verão e outono), o milho (safras de verão e outono) e o algodão, os resultados indicam uma redução significativa na área de baixo risco devido ao aumento de temperatura. Como esperado, as perdas mais pronunciadas foram observadas no cenário pessimista, em que a elevação de temperatura deverá ser maior do que no otimista.

No caso do arroz e do trigo de sequeiro, é interessante notar que o cenário pessimista de temperatura parece ter impactos menos graves do que no otimista. Isto pode ser explicado pelas temperaturas mais elevadas no cenário pessimista, que compensam os danos a essas culturas causados por temperaturas baixas e/ou geadas. Por exemplo, é um fato bem conhecido que as temperaturas baixas podem resultar na esterilidade da flor do arroz.

Para a cana-de-açúcar, incluímos as “áreas potencialmente apropriadas” em vez de considerar apenas a área atual onde é cultivada, o que resultou em um aumento significativo das áreas de baixo risco (ou de grande adequação), sugerindo que o produto adapta-se naturalmente melhor para resistir às crescentes temperaturas ambientes. No entanto, ao contrário do que acontece com a cana-de-açúcar, nossas simulações sugerem que a produtividade das pastagens será afetada de modo cada vez mais negativo com os aumentos de temperatura.

As Figuras 13 a 21 (abaixo) mostram a distribuição geográfica e a extensão dos impactos das mudanças climáticas sobre as terras agrícolas de “baixo risco” no Brasil para as culturas apresentadas na Tabela 3.

Mapas das projeções dos impactos das mudanças climáticas sobre as principais culturas de grãos, cana-de-açúcar e pastagens no Brasil em 2020 e 2030



Figura 13. Impacto das mudanças climáticas em uma área adequada à plantação de soja (2010 – linha de base e 2030 – cenários otimista e pessimista)

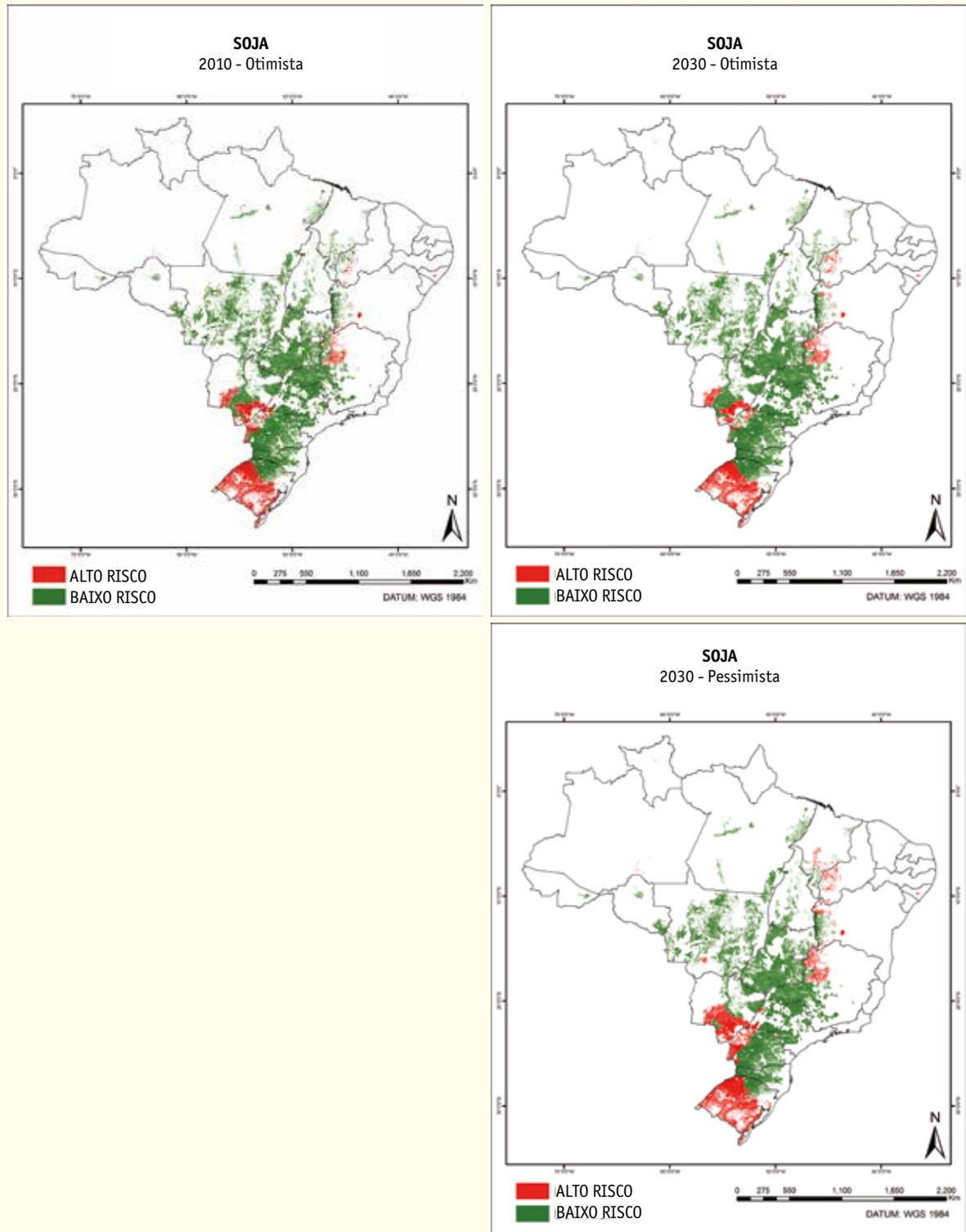


Figura 14. Perdas previstas na produtividade das pastagens (%) em relação à linha de base de 2010 nos cenários otimista e pessimista (2020 e 2030)

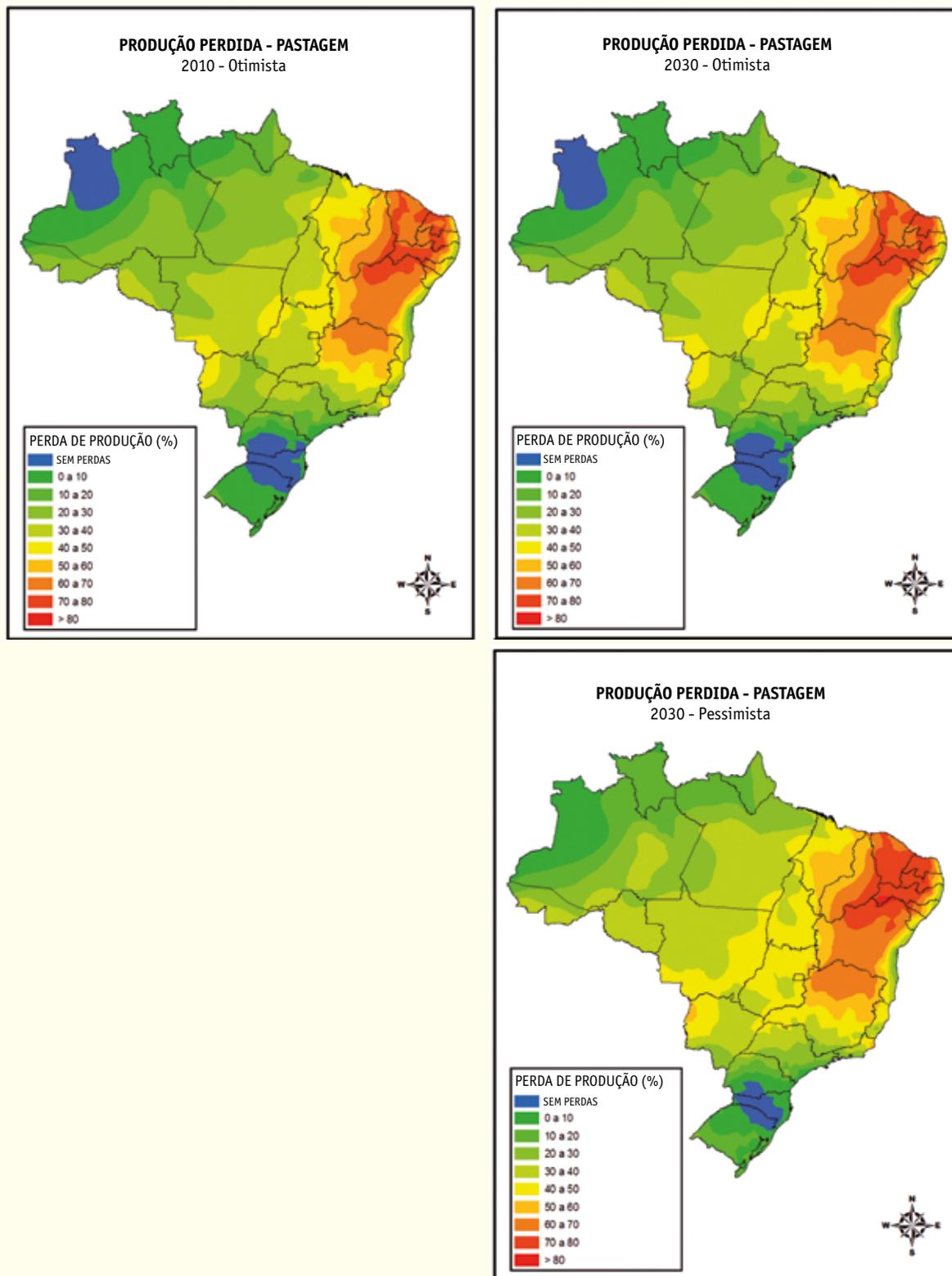


Figura 15. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de milho – Safra de verão (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)

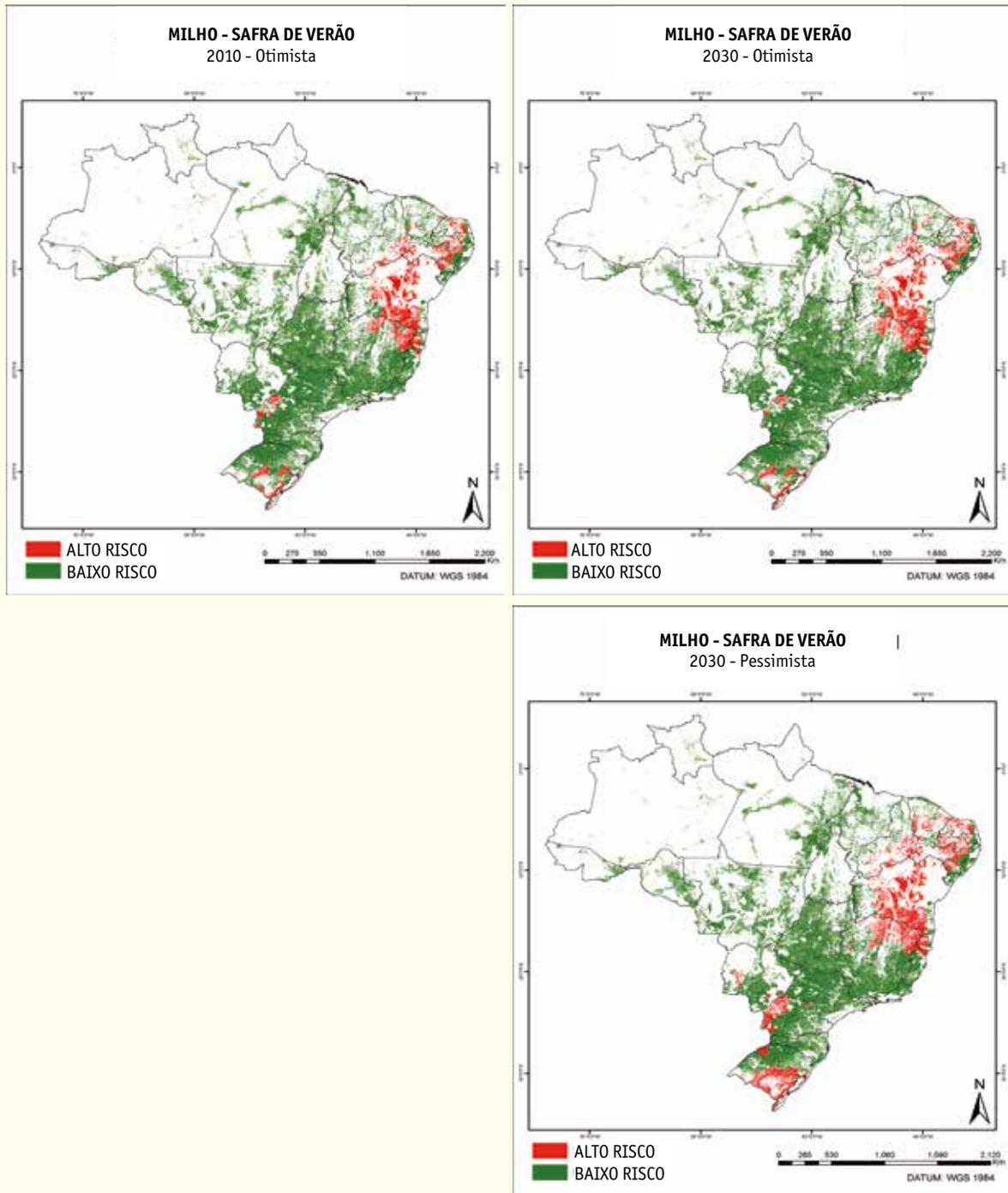


Figura 16. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de grãos – Safra de outono (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)

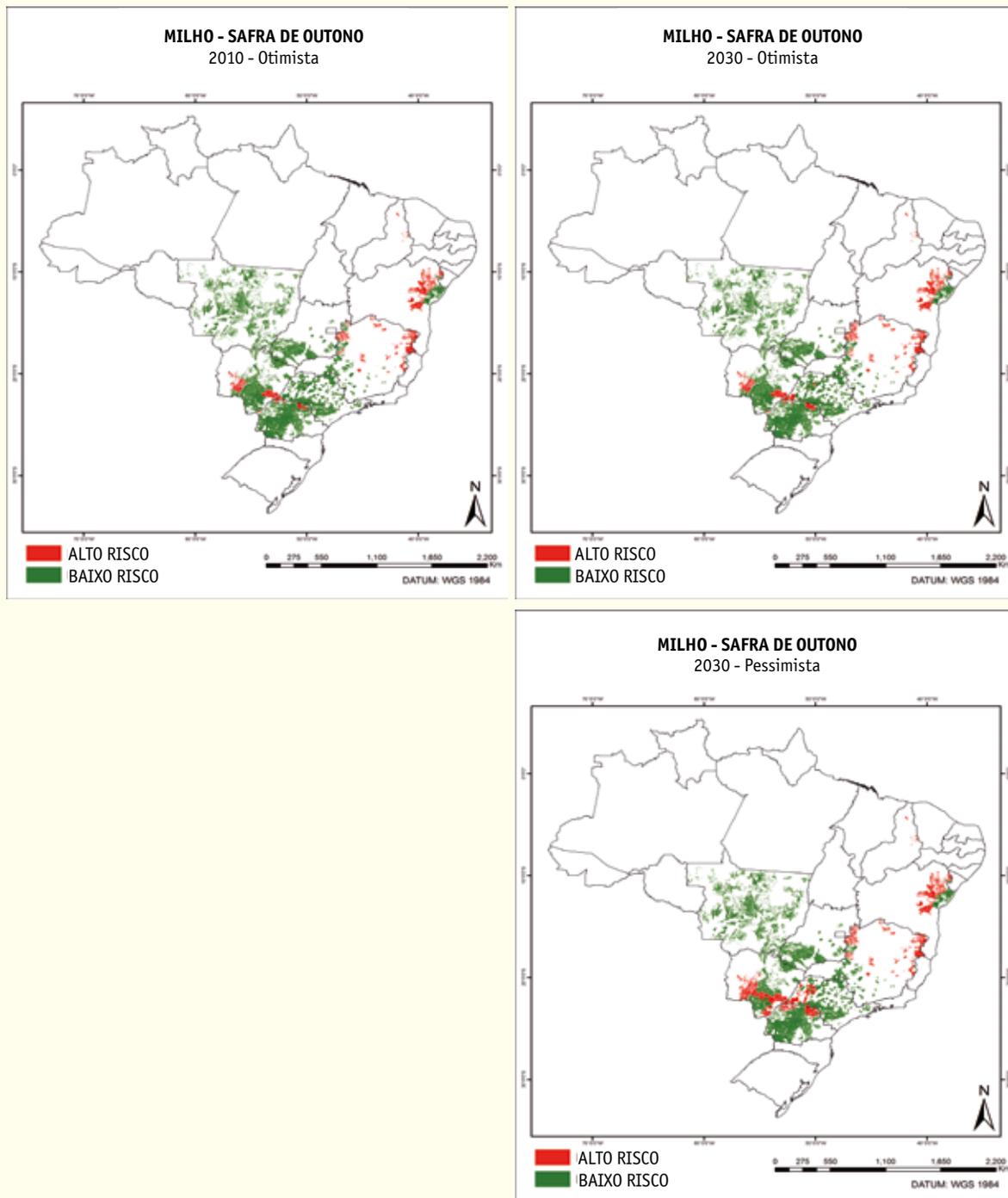


Figura 17. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de arroz irrigado (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)

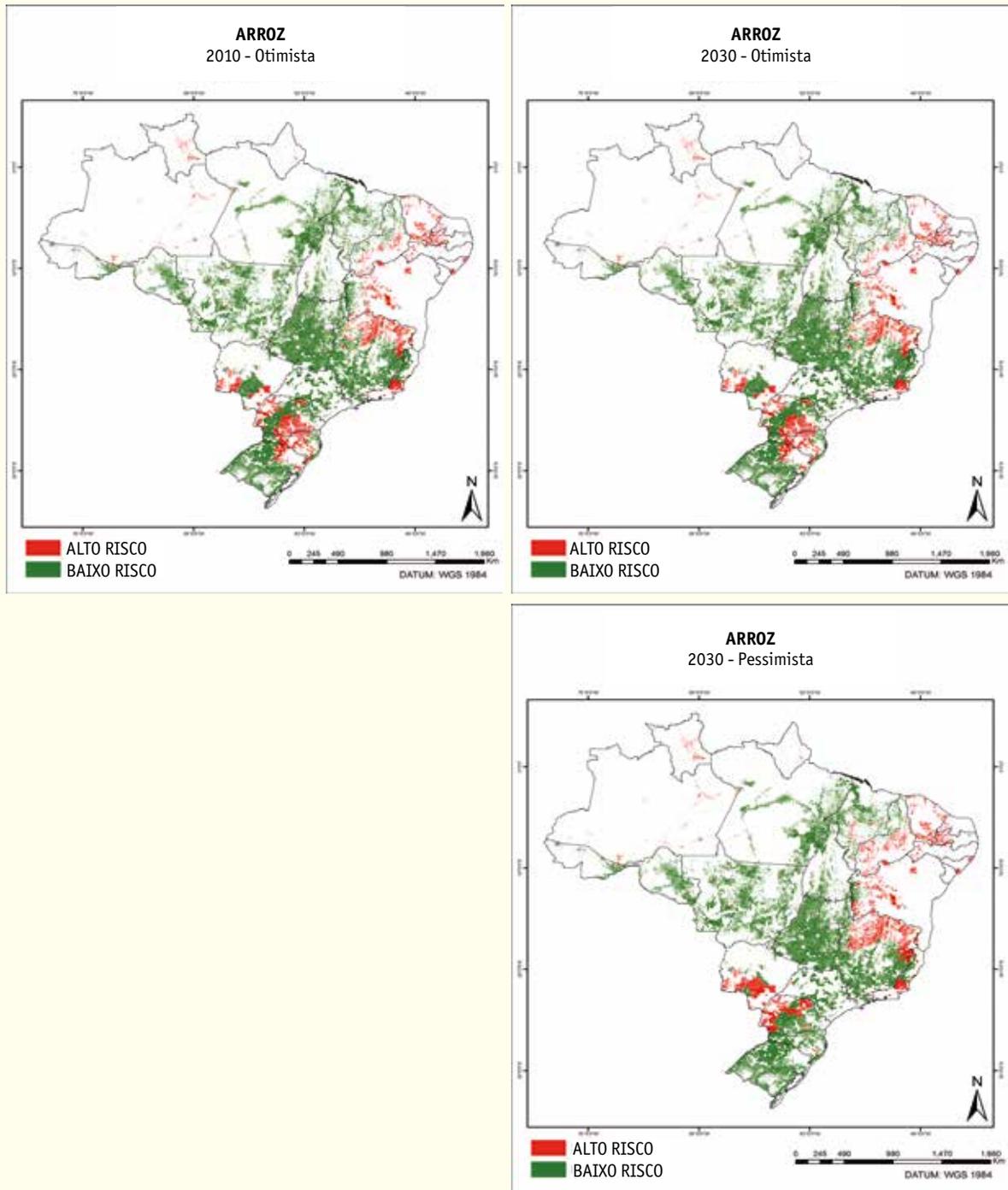


Figura 18. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de cana-de-açúcar (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)

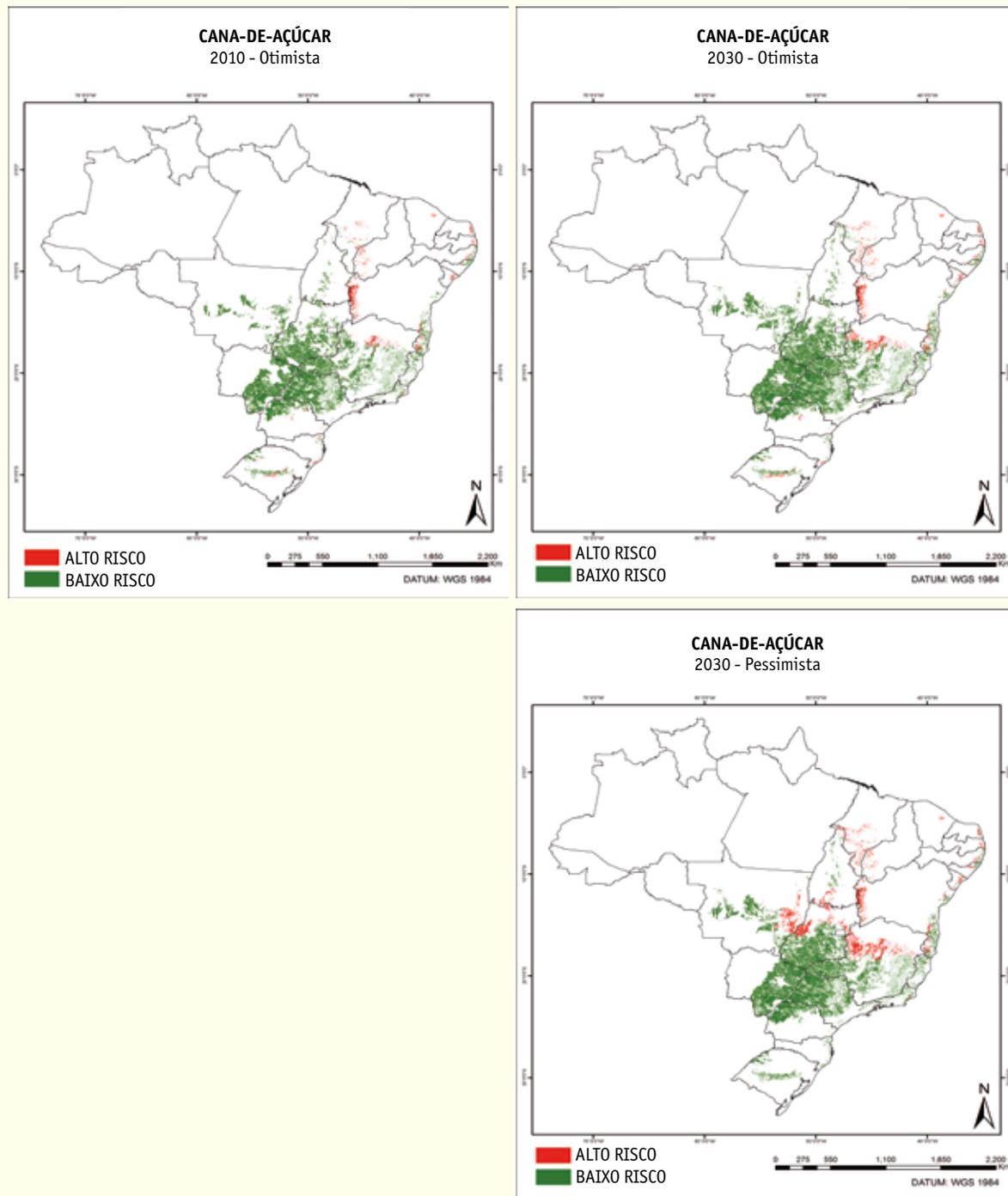


Figura 19. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de algodão (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)

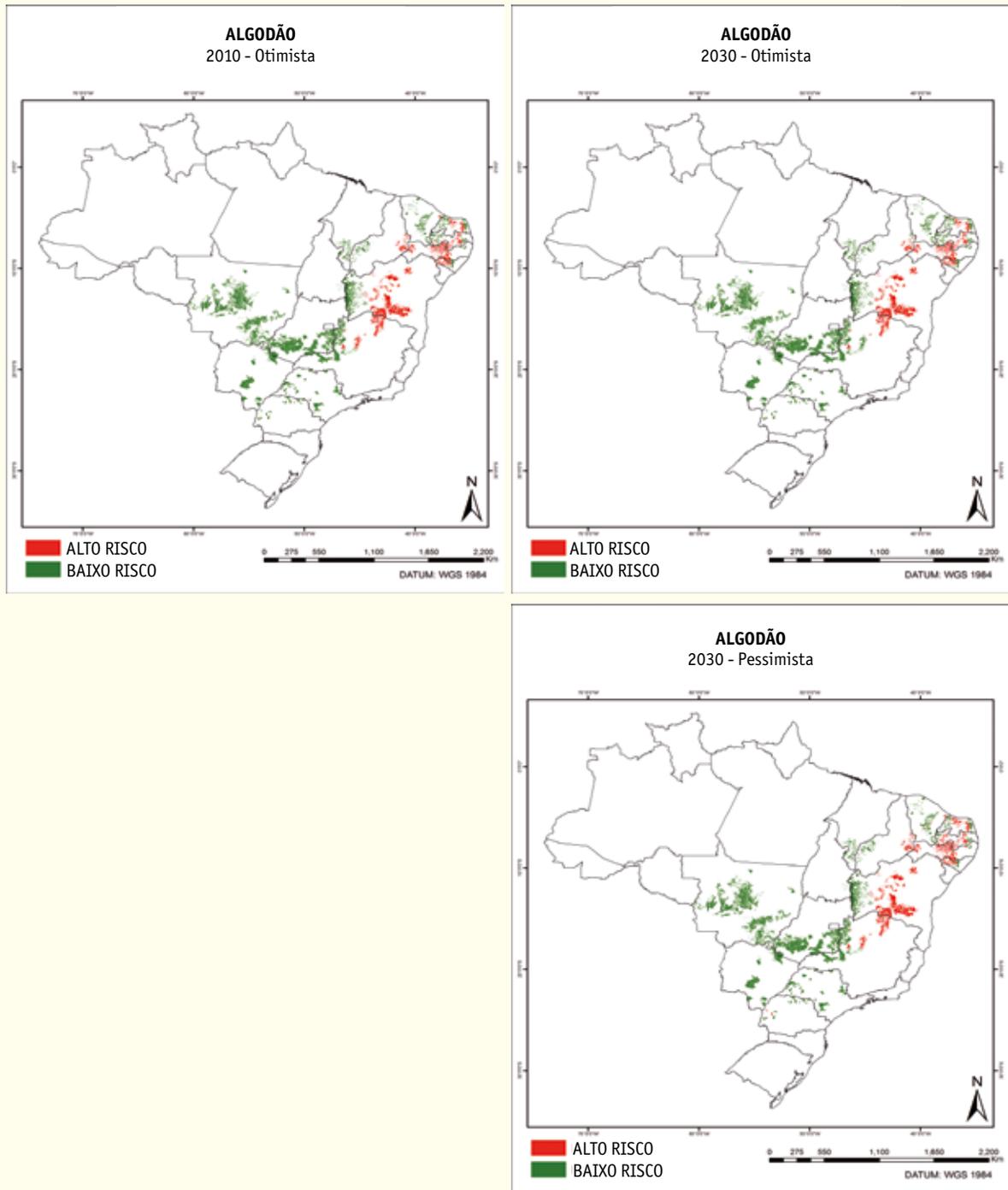


Figura 20. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de feijão – no verão (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)

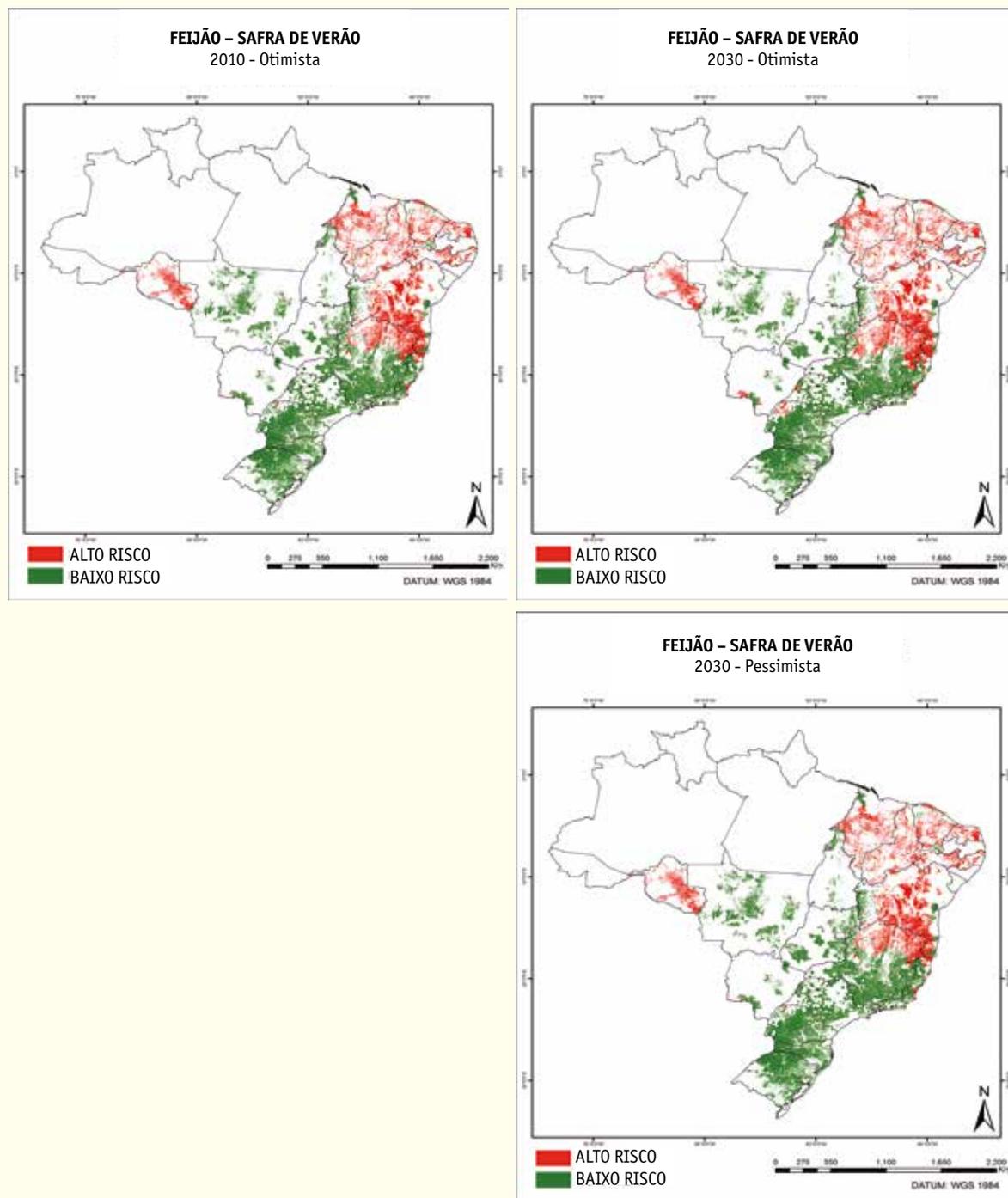
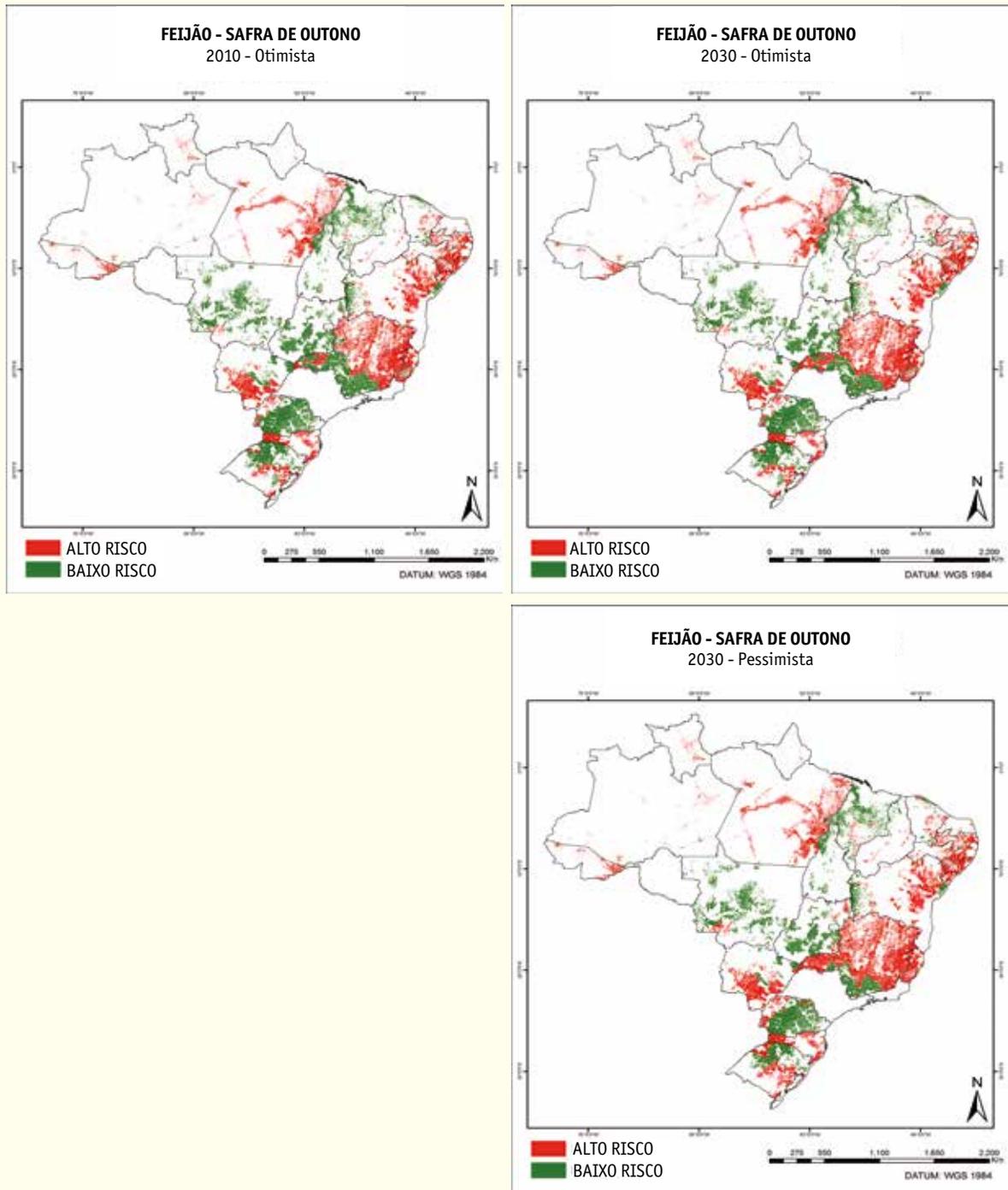


Figura 21. Impacto das mudanças climáticas na área adequada ao cultivo de feijão – no outono (2010 - Linha de base; 2030 - Cenários otimista e pessimista)



Projeção dos impactos das mudanças climáticas na oferta e demanda de commodities e na dinâmica do uso da terra



59

Para estimar os impactos econômicos dos efeitos simulados sobre a produtividade em função de diferentes cenários de mudanças climáticas no setor agrícola, o ICONE utilizou os resultados da EMBRAPA referentes ao impacto na área adequada ao plantio ou no rendimento das safras e pastagens como dados de entrada para o Modelo de Uso da Terra para a Agricultura

Brasileira (BLUM – *Brazilian Land Use Model*). As próximas seções destacam a metodologia utilizada para integrar os cenários aos modelos e também descrevem os resultados dos quatro cenários simulados: (i) cenário de referência (sem qualquer impacto da mudança climática), (ii) o cenário pessimista, (iii) o cenário otimista e (iv) o BRAMS sem cenários de precipitação.

Metodologia das simulações econômicas dos cenários de mudanças climáticas e a projeção dos impactos agrícolas

Esta seção descreve a metodologia adotada para simular os impactos econômicos dos cenários futuros de mudanças climáticas. O Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (BLUM) foi o principal instrumento utilizado nas simulações. As

projeções de impacto agrícola da EMBRAPA foram utilizadas como dados de entrada para o modelo BLUM e, em seguida, foi empregado um modelo de alocação para distribuir os resultados do BLUM em 558 microrregiões do país.

O Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (BLUM)

O BLUM é um modelo econômico nacional, multirregional, multimercado, dinâmico e de equilíbrio parcial para o setor agropecuário brasileiro, que compreende dois módulos: oferta e demanda e uso da terra. O modelo inclui os seguintes produtos: soja, milho (duas safras por ano), algodão, arroz, feijão (duas safras por ano), cana-de-açúcar, trigo, cevada, pecuária de leite e de corte (carnes bovina, suína e de frango) e ovos. As florestas comerciais são consideradas como projeções exógenas. Combinadas, as commodities selecionadas respondem por 95% da área total utilizada para a produção agropecuária em 2008. Embora a segunda safra (de inverno) compreendendo milho, feijão, cevada e trigo não gere demanda adicional de terra – porque é plantada nas mesmas áreas das culturas da primeira safra –, nas áreas de duplo cultivo, a sua produção é contabilizada no abastecimento nacional.

As Projeções de Oferta e Demanda

No módulo de oferta e demanda, a demanda total por uma atividade é projetada no nível nacional e constituída pela demanda doméstica, as exportações líquidas (exportações menos importações) e os estoques finais (que não são considerados para pecuária de leite e de corte e cana-de-açúcar), que respondem aos preços e a variáveis exógenas como Produto Interno

Bruto (PIB), população e taxa de câmbio. A oferta é composta pela produção nacional (regionalmente projetada) e pelos estoques iniciais (considerados mais uma vez somente para os grãos e os produtos finais da cana-de-açúcar) e responde pela rentabilidade esperada de cada *commodity*, que depende dos custos, dos preços e da produção.

A **área alocada** para a agricultura e a pecuária foi calculada para seis regiões⁶, como é mostrado na Figura 22 (abaixo).

- Sul (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul);
- Sudeste (estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais);
- Centro-Oeste - Cerrado (estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e parte de Mato Grosso nos biomas do Cerrado e do Pantanal);
- Norte da Amazônia (parte do estado de Mato Grosso no bioma Amazônia, Amazonas, Pará, Acre, Amapá, Rondônia e Roraima);
- Nordeste litorâneo (estados de Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe);
- Nordeste - Cerrado (estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia).

A oferta e a demanda nacional e o uso da terra regional de cada produto respondem aos preços. Conseqüentemente, em um determinado ano, o equilíbrio é obtido quando se encontra um vetor de preços que harmoniza todos os mercados simultaneamente. Ano após ano, uma sequência de

6 O principal critério utilizado para dividir as regiões foi a homogeneidade da produção agropecuária e a individualização dos biomas, atribuindo especial importância à conservação.

vetores de preços é estimada, permitindo que a trajetória dos mercados seja acompanhada ao longo do tempo. Os resultados do modelo são: mudança e uso da terra regional, produção nacional, preços, consumo e exportação líquida.

A produção anual de cada região é o resultado da alocação de terra e das colheitas. A produção nacional é a soma das colheitas de todas as regiões, acrescida dos estoques iniciais. Essa relação garante a interação entre os módulos de uso da terra e de ofer-

ta e demanda do modelo, levando em conta que a seguinte identidade deve ser satisfeita:

$$\text{Estoque Inicial} + \text{Produção} + \text{Importações} = \text{Estoque Final} + \text{Consumo} + \text{Exportações}$$

ou, considerando que a Exportação líquida = Exportações - Importações:

$$\text{Estoque Inicial} + \text{Produção} = \text{Estoque Final} + \text{Consumo Doméstico} + \text{Exportação Líquida}$$

Figura 22. Regiões consideradas no Modelo Brasileiro de Uso da Terra (BLUM)



Fonte: ICONE, IBGE e UFMG.

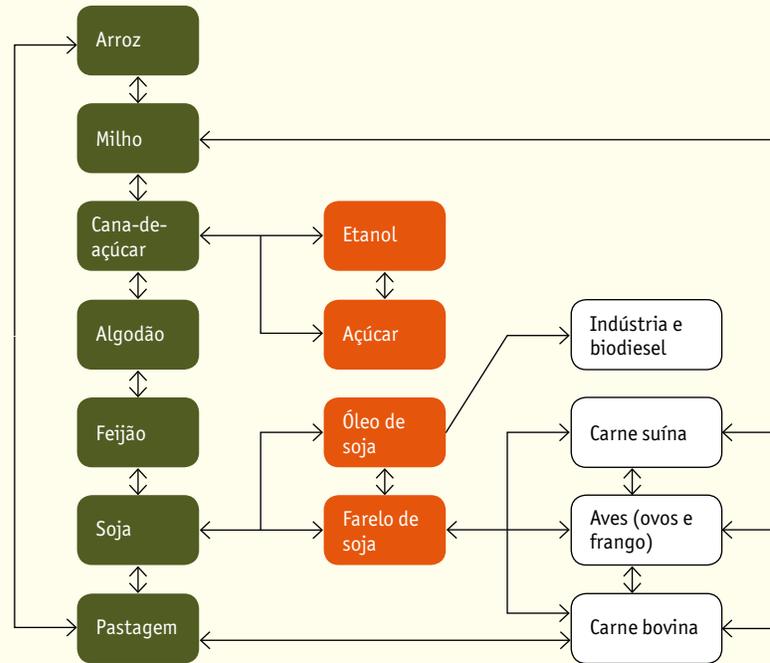
O BLUM também considera as interações entre os setores analisados, assim como as relações entre um produto e seus subprodutos. Por exemplo, o vínculo entre os grãos e a pecuária se dá a partir do con-

sumo de ração (basicamente milho e farelo de soja) que ocorre em função da oferta de carnes, leite e ovos, que é um componente da demanda doméstica de milho e soja. No caso do complexo de soja, os compo-

mentos farelo e óleo de soja fazem parte da demanda doméstica de soja em grão e são determinados pela demanda de moagem.

Da mesma forma, o etanol e o açúcar são os componentes da demanda de cana-de-açúcar (Figura 23).

Figura 23. Interações entre os setores no BLUM



Fonte: ICONE

Os Componentes da Dinâmica do Uso da Terra

A dinâmica do uso da terra é dividida em dois efeitos: *competição* e *escala*. Intuitivamente, o efeito de competição mostra como as diferentes atividades competem por uma determinada quantidade de terra disponível. O efeito escala se refere ao modo como a competição entre as diversas atividades gera a necessidade de terra adicional, que é acomodada pela expansão da área total da agropecuária sobre a vegetação nativa.

O efeito competição consiste em um conjunto de equações que aloca uma parte da área agrícola para diferentes lavouras e

pastagens em cada região como uma função da relação preço-rentabilidades próprias e das competidoras. Esse efeito estabelece que, para uma determinada quantidade de terra destinada à agropecuária, o aumento da rentabilidade de uma atividade resultará em uma maior participação da área dedicada a essa atividade e na redução da parcela da área das atividades concorrentes.

As condições de regularidade (homogeneidade, simetria e adicionalidade) são impostas de forma que as matrizes de elasticidade (e seus coeficientes associados) sejam teoricamente coerentes. Para qualquer conjunto desses coeficientes, calculamos os impactos individuais, os impactos cruza-

dos e a competição entre as atividades. Em seguida, a partir dessa estrutura, as simulações realizadas no BLUM permitem calcular não apenas a alocação de terra, mas também as mudanças no uso do solo. Em outras palavras, as condições de regularidade permitem identificar a substituição de área para cada atividade, levando em conta a quantidade total de área utilizada para a agropecuária.

Para garantir a coerência das condições mencionadas acima, a área de pastagem é regional e determinada de modo endógeno, mas modelada como a diferença entre a área total alocada para a agropecuária e a área de lavouras. No contexto da agricultura brasileira, é particularmente importante projetar a área de pastagem tanto de forma endógena quanto regional, porque representa cerca de 77% do total da área utilizada na produção agropecuária.

Embora a competição entre as atividades possa representar a dinâmica das regiões onde a área agrícola é estável e está próxima do seu potencial disponível, essa análise é insuficiente para o Brasil. As tendências recentes da agropecuária brasileira mostram que as lavouras, as florestas comerciais e as pastagens combinadas respondem aos incentivos de mercado e contribuem para a expansão da área total alocada para a agropecuária (Nassar et al., 2010a)⁷. Esse efeito é captado no efeito escala do BLUM. Este aperfeiçoamento metodológico é essencial

para ajustar o modelo à realidade específica da dinâmica do uso da terra.

O efeito escala se refere às equações que definem como a rentabilidade das atividades agropecuárias determina a área total destinada à produção. Mais precisamente, a área total alocada para a agropecuária é a parcela da área total arável em cada região que responde às mudanças na rentabilidade média da agropecuária.

Os efeitos escala e competição não são independentes. Em conjunto, eles são os dois componentes das elasticidades do retorno de cada atividade. Considerando a condição *ceteris paribus* (tudo o mais constante), o aumento na rentabilidade de uma atividade possui três efeitos: aumento da área total alocada para a agropecuária (por meio do retorno médio), incremento da sua participação nessa área e, conseqüentemente, a redução na parcela da área de outras atividades. Para as atividades concorrentes, os efeitos cruzados da rentabilidade sobre a área são negativos.

Conforme foi mencionado anteriormente, as elasticidades de cada lavoura são representadas pela soma das elasticidades de competição e de escala. Ao mesmo tempo, a elasticidade regional do uso da terra em relação à rentabilidade média agrícola (elasticidade de oferta das terras agrícolas) é a soma das elasticidades de escala de cada atividade. Portanto, as elasticidades de competição podem ser calculadas diretamente após a obtenção da elasticidade oferta das terras agrícolas, enquanto as elasticidades próprias são obtidas por meio de análises econométricas e da revisão da literatura.

7 Nassar, A. M.; Antoniazzi, L. B.; Moreira, M. R.; Chiodi, L.; Harfuch, L. 2010a. *An Allocation Methodology to Assess GHG Emissions Associated with Land Use Change: Final Report*. ICONE, setembro de 2010. Disponível em <<http://www.iconebrasil.org.br/arquivos/noticia/2107.pdf>>.

Equações da Dinâmica do Uso da Terra no BLUM

No módulo de uso da terra do BLUM, a área a da lavoura i de cada região l ($l=1, \dots, 6$) no ano t é definida pela seguinte equação:

$$a_{ilt} = A_l^T * m_{lt} * s_{ilt} \quad (1)$$

A_l^T é a área total para a produção agropecuária na região l ; m_{lt} é a participação de A_l^T que está sendo utilizada para a produção agropecuária (todas as lavouras e pastagens) e s_{ilt} é a parcela da área usada na agropecuária que é dedicada à atividade i . A_l^T é uma variável exógena definida pelo modelo de georreferenciamento (SIG).

A variável m_{lt} é endógena ao modelo e responde ao índice de retorno (rentabilidade) médio do mercado agrícola na região l (r_{lt}), sendo a participação da área alocada para a agropecuária definida como:

$$m_{lt} = \frac{A_{lt}}{A_l^T} = k r_{lt}^{\alpha_{lt}} \varepsilon_{rl}^{\alpha_{lt}} \quad (2)$$

onde k é uma constante; $\varepsilon_{rl}^{\alpha_{lt}}$ é a elasticidade da oferta de terra (em relação ao retorno médio) para a região l (os resultados para a média brasileira são apresentados em Barr et al., 2010). O parâmetro α_{lt} é positivo e maior ou menor do que um, podendo ser definido como:

$$\varepsilon_{rl}^{\alpha_{lt}} = \frac{\partial a_{ilt}}{\partial r_{jt}} \frac{r_{jt}}{a_{ilt}} = A_l^T \left(\frac{\partial m_{lt}(r_{lt})}{\partial r_{lt}} \frac{\partial r_{lt}}{\partial r_{jt}} s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jt}) + m_{lt}(r_{lt}) \frac{\partial s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jt})}{\partial r_{jt}} \right) \frac{r_{jt}}{A_l^T m_{lt}(r_{lt}) s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jt})} \quad (6)$$

$$\alpha_{lt} = 1 - \frac{A_{lt} - A_{l0}}{A_l^T} \quad (3)$$

onde A_{l0} é a área usada pela agropecuária em um período definido como base. Quando a área agrícola no período t está próxima do período de base, α_{lt} está próximo de um e não afeta $\varepsilon_{rl}^{\alpha_{lt}}$. No entanto, se a área agrícola no período t for maior do que aquela no período de base, o parâmetro α_{lt} é menor do que um e reduz o efeito de $\varepsilon_{rl}^{\alpha_{lt}}$. O contrário ocorre quando a terra agrícola atual for menor do que (A_{l0}), aumentando a elasticidade da oferta de terra.

A r_{lt} é calculada a partir de evidências que indicam quais atividades se expandem na fronteira agrícola e pode ser definida como:

$$r_{lt} = \sum_{i=1}^n r_{it} * d_{li} \quad (4)$$

onde d_{li} é um vetor de pesos da taxa de desmatamento causado por cada uma das atividades agropecuárias, obtido por imagens de satélite e pelo modelo SIG. Podemos calcular o vetor de ponderação d_{li} da seguinte forma:

$$d_{li} = \frac{D_{li}}{D_l^T}; \text{ where } D_l^T = \sum_{i=1}^n D_{li} \quad (5)$$

Segundo Holt (1999), a elasticidade cruzada da área de lavoura i em relação ao retorno das outras culturas j pode ser definida como:

cujo reordenamento dos termos leva a:

$$\varepsilon_{r_{ij}}^{l,i} = \frac{\partial m_l(r_{lt})}{\partial r_{lt}} \frac{\partial r_{lt}}{\partial r_{jlt}} \frac{r_{jlt}}{m_l(r_{lt})} + \frac{\partial s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jlt})}{\partial r_{jlt}} \frac{r_{jlt}}{s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jlt})} \quad (7)$$

O primeiro termo no lado direito da equação (6) pode ser definido como efeito de escala da elasticidade cruzada da área $\varepsilon_{r_{ij}}^{s_{l,i}}$:

$$\mathcal{E}_{r_{ij}}^{s_{l,i}} = \frac{\partial m_l(r_{lt})}{\partial r_{lt}} \frac{\partial r_{lt}}{\partial r_{jlt}} \frac{r_{jlt}}{m_l(r_{lt})} \quad (8)$$

Por analogia, a elasticidade da área de lavoura *i* em relação à sua própria rentabilidade também é formada pelos efeitos de

O efeito de competição da elasticidade cruzada da área $\varepsilon_{r_{ij}}^{c_{l,i}}$ corresponde à última parte do lado direito da equação (6):

$$\mathcal{E}_{r_{ij}}^{c_{l,i}} = \frac{\partial s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jlt})}{\partial r_{jlt}} \frac{r_{jlt}}{s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jlt})} \quad (9)$$

escala e de competição e pode ser escrita como:

$$\varepsilon_{r_{ii}}^{l,i} = \frac{\partial m_l(r_{lt})}{\partial r_{lt}} \frac{\partial r_{lt}}{\partial r_{ilt}} \frac{r_{ilt}}{m_l(r_{lt})} + \frac{\partial s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jlt})}{\partial r_{ilt}} \frac{r_{ilt}}{s_{ilt}(r_{ilt}, r_{jlt})} = \mathcal{E}_{r_{ii}}^{s_{l,i}} + \mathcal{E}_{r_{ii}}^{c_{l,i}} \quad (10)$$

onde $\varepsilon_{r_{ii}}^{s_{l,i}}$ é o efeito de escala e $\varepsilon_{r_{ii}}^{c_{l,i}}$ é o componente do efeito de competição da elasticidade da área de lavoura *i* em relação à sua própria rentabilidade⁸.

O componente de competição por terra também pode ser calculado da seguinte forma:

$$\mathcal{E}_{r_{ii}}^{c_{l,i}} = \varepsilon_{r_{ii}}^{l,i} - \mathcal{E}_{r_{ii}}^{s_{l,i}} \quad (11)$$

Pode ser observada a conexão entre a elasticidade da oferta de terra regional ($\varepsilon_{r_l}^{A_l}$) e o efeito de escala de cada atividade ($\varepsilon_{r_{li}}^{s_{l,i}}$). A elasticidade da oferta pode ser definida como:

$$\varepsilon_{r_l}^{A_l} = \frac{\partial m_l}{\partial r_l} \frac{r_l}{m_l} \quad (12)$$

E reordenando a equação:

$$\frac{\partial m_l}{\partial r_l} = \frac{\varepsilon_{r_l}^{A_l} m_l}{r_l} \quad (13)$$

A elasticidade em relação à variação da rentabilidade de uma determinada lavoura *i* na região *l* é:

$$\varepsilon_{r_{ii}}^{s_{l,i}} = \frac{\partial m_l}{\partial r_l} \frac{\partial r_l}{\partial r_{li}} \frac{r_{li}}{m_l} \quad (14)$$

que, a partir da equação (14) e após alguns cálculos, pode ser reescrita como:

$$\varepsilon_{r_{ii}}^{s_{l,i}} = \varepsilon_{r_l}^{A_l} \frac{\partial r_l}{\partial r_{li}} \frac{r_l}{r_{li}} \quad (15)$$

A partir da equação (4), a equação (15) pode ser reescrita como:

$$\varepsilon_{r_{li}}^{s_{l,i}} = \varepsilon_{r_l}^{A_l} d_{li} \frac{r_l}{r_{li}} \quad (16)$$

8 Também explicado em Nassar *et al.* (2009), disponível em <http://www.iconebrasil.com.br/arquivos/noticia/1872.pdf>

Usando a equação (15), se a elasticidade da oferta de terra for conhecida, o efeito escala da atividade i pode ser facilmente calculado. Como resultado, o vetor contendo todas as elasticidades do componente de competição $\varepsilon_{r_i}^{c1,i}$ representa a diagonal da matriz de competição (uma para cada região l). Juntamente com outras restrições (como as condições de regularidade e de elasticidades cruzadas negativas), os termos da diagonal são então utilizados para obter as elasticidades cruzadas na matriz de competição, como representado na equação (9).

$$a_{it}^l = \alpha_i^l + \beta_j^l a_{jt}^l + \delta_i^l r_{jt}^l + \varphi_i^l r_{it}^l + \phi_i^l a_{it-1}^l \quad \begin{matrix} i=\text{milho} \\ j=\text{soja} \end{matrix} \quad (17)$$

Sendo r_{it}^l a rentabilidade do milho segunda safra, r_{jt}^l é o retorno esperado da soja, a_{jt}^l é a área de soja e a_{it-1}^l é a área alocada para milho segunda safra no ano anterior. Para os parâmetros, tem-se: $\beta > 0$, $\delta > 0$, $\phi > 0$ and $\varphi > 0$.

Para o feijão segunda safra a dinâmica é mais simplificada em relação a do milho, sendo a área projetada dependente apenas de sua própria rentabilidade. No caso do trigo, as projeções de área dependem de seu próprio retorno esperado (positivamente) e negativamente em relação ao retorno da cevada, pois estes grãos competem entre si por área plantada de inverno. Para a cevada, as projeções dependem de seu próprio retorno e da área plantada do ano anterior.

Para as lavouras de inverno e de segunda safra, tais como trigo, cevada, milho segunda safra e feijão (parte das segundas e terceiras safras a depender da região), a área e produção alocadas possuem dinâmicas diferenciadas em relação às lavouras de primeira safra apresentadas acima. Considerando o fato de que estas lavouras não competem por terra por serem produzidas após uma safra principal, a área projetada para o milho segunda safra pode ser representada pela seguinte equação:

Modelo de Alocação dos Resultados do BLUM por Microrregião Brasileira

O modelo de alocação por microrregiões segue a estrutura do BLUM para o lado da oferta e aloca os impactos de um cenário específico ao nível das microrregiões.

Os resultados do BLUM para área e produção em cada uma das 6 regiões para soja, milho (primeira safra e total), arroz, algodão, feijão (primeira safra e total), cana-de-açúcar, rebanho bovino e pasto são alocados nas 558 microrregiões brasileiras.

A dinâmica do modelo alocação por microrregiões é baseada em duas etapas: primeiro alocar os resultados do BLUM em cada estado e depois distribuindo o resultado do estado para suas respectivas microrregiões.

Alocação dos resultados do BLUM em cada estado

A área total usada pela agricultura (primeira safra e pasto) no BLUM, A_l , é alocada para o nível estadual de forma que:

$$A_{l,t} = \sum A_{s,t} * e_{l,t} \quad l=(1,\dots,6); t = (2011,\dots,2030) \quad (18)$$

Onde $e_{l,t}$ é o fator de correção para cada região l do BLUM em cada ano t para a diferença entre a área estimada pelo modelo de microrregião e o BLUM. De forma geral, este fator é menor que 10%, pois os dois modelos seguem uma estrutura econômica e pressupostos similares. A variável $A_{s,t}$ é a área total alocada para agricultura (primeira safra e pasto) em cada estado s no ano t . Sendo definida pela equação:

$$A_{s,t} = A_s^T * m_{s,t} \quad (19)$$

A_s^T é a área total disponível para expansão agrícola no estado s . Esta variável é exógena, determinada por modelagem de SIG. A variável $m_{s,t}$ representa a parcela da área usada para produção agrícola (primeira safra e pasto). Ela é endógena ao modelo e responde a receita média do mercado agrícola (determinada pelo preço e produtividade) do estado s , de forma que a parcela de área alocada para agricultura em cada estado pode ser definida como:

$$\Delta m_{s,t} = \frac{A_{s,t}}{A_s^T} = \Delta r_s^{\alpha_{s,t} \varepsilon_{\eta}^{A_l}} \quad (20)$$

Onde $A_{s,t}$ é a área total alocada para agricultura (primeira safra e pasto) em cada estado s no ano t ; A_s^T é a área total disponível para expansão agrícola no estado s . Na segunda parte da equação, $\varepsilon_{\eta}^{A_l}$ é a elasticidade de oferta de terra para cada região l

do BLUM e $\alpha_{s,t}$ é um parâmetro positivo definido como:

$$\alpha_{s,t} = 1 - \frac{A_{s,t} - A_{s,0}}{A_s^T} \quad (21)$$

Onde $A_{s,0}$ é a área usada para agricultura em um período base. Quando a área agrícola no ano t é próxima da área agrícola no período base, $\alpha_{s,t}$ é próxima de 1, tendo pequeno efeito sobre $\varepsilon_{\eta}^{A_l}$. Porém, se a área agrícola em t é maior do que no período base, o parâmetro $\alpha_{s,t}$ é menor que 1, reduzindo o efeito de $\varepsilon_{\eta}^{A_l}$. O contrário também pode ocorrer. $r_{s,t}$ é a receita média de cada estado e é calculada através de evidências que indicam qual atividade i mais expandiu na fronteira agrícola e é definida como:

$$r_{s,t} = \sum_{i=1}^n r_{i,t} * d_{l,i} \quad s=(1,\dots,6) \quad (22)$$

Onde d_{li} é um vetor de ponderação de taxa de deflorestamento causada pela atividade agrícola obtida por imagem de satélite e modelada por SIG para cada região BLUM, isto é, para cada estado e microrregião nós usamos o vetor de ponderação de sua respectiva região BLUM, com o descrito na metodologia do BLUM.

A oferta regional e a demanda nacional para cada atividade no Brasil é exógena e determinada pelo BLUM. A soma das áreas dos estados, $a_{i,s,t}$ para cada cultura i e ano t

é igual a área de sua respectiva região ($a_{i,l,t}$), isto é:

$$a_{i,l,t} = \sum_{s=1}^n a_{i,s,t} * e_{i,t} \quad (23)$$

Onde $e_{i,t}$ é um fator de ajuste.

Seguindo a estrutura do BLUM, a área a da cultura i para o estado s no ano t é determinada pela equação:

$$a_{i,s,t} = A_{s,t} * s_{i,s,t} \quad (24)$$

$$\varepsilon_{r,s,j}^{s,i} = \frac{\partial m_s(r_{s,t})}{\partial r_{s,t}} \frac{\partial r_{s,t}}{\partial r_{j,s,t}} \frac{r_{j,s,t}}{m_s(r_{s,t})} + \frac{\partial s_{i,s,t}(r_{i,s,t}, r_{j,s,t})}{\partial r_{j,s,t}} \frac{r_{j,s,t}}{s_{i,s,t}(r_{i,s,t}, r_{j,s,t})} \quad (26)$$

O primeiro termo da equação é definido com efeito escala da elasticidade cruzada da área $\varepsilon_{r,s,j}^{s,i}$ e o segundo termo é o efeito competição escala da elasticidade cruzada da área $\varepsilon_{r,s,j}^{c,s,i}$.

$$y_{i,l,t} = \sum_{m=1}^n \frac{y_{i,s,t} * a_{i,s,t}}{A_{l,i,t}} * e_{l,i,t} \quad s \in l \text{ e } l=(1, \dots, 6) \quad (27)$$

Onde $y_{i,l,t}$ é a produtividade da cultura i no estado s no ano t e $e_{l,i,t}$ é um fator de correção para cada região BLUM l para a diferença entre a produtividade da cultura em cada região e ponderada pela soma da produtividade nos estados.

Alocação dos resultados dos estados em cada microrregião

Na segunda etapa do modelo de alocação, as microrregiões diferenciam-se uma das outras por seus preços e produtividade.

Onde $S_{i,s,t}$ é parcela da área usada pela agricultura que é dedicada a cultura i no estado s e por sua vez, é determinada pela seguinte equação:

$$s_{i,s,t} = s_{i,s,t-1} * \sum_{j=1}^n \Delta r_{i,j,s} * \varepsilon_{r,i,j}^{s,i} \quad (25)$$

Similar ao BLUM a elasticidade cruzada de área da cultura i com respeito a receita de outra cultura j é definida como:

A produção para cada estado e cultura é um resultado da área e produtividade, sendo a última projetada como:

Basicamente, a relação direta entre a microrregião e sua respectiva região BLUM é o vetor de preços de equilíbrio para cada atividade considerada em cada ano.

Os preços projetados para cada microrregião e cada atividade seguem a variação de sua respectiva região BLUM. A produtividade de cada microrregião é uma função linear da produtividade de seu respectivo estado e a produção é um resultado da área multiplicada pela sua produtividade.

A área agrícola total de cada estado é alocada em suas respectivas microrregiões de forma que:

$$a_{s,i,t} = \sum_{m=1}^n a_{i,m} * e_{s,i,t} \quad s = (1, \dots, 26) \text{ e } m \in s \quad (28)$$

Onde $a_{i,m}$ é a área alocada para atividade i na microrregião m e $e_{s,i,t}$ é o fator de correção para cada estado para a diferença entre a área do estado e a soma da área de suas microrregiões.

A área alocada para cada cultura em cada microrregião, $a_{i,m,t}$, segue a estrutura do estado ao qual faz parte e é definida por:

$$a_{i,m,t} = A_m^T * m_{m,t} * s_{i,m,t} \quad (29)$$

Onde A_m^T é a área total disponível para produção da agricultura na microrregião m , determinada exogenamente. A variável $m_{m,t}$ representa a parcela da área usada para produção da agricultura (primeira safra e pasto) para cada microrregião m e

$s_{i,m,t}$ é a parcela da área utilizada pela agricultura que é dedicada a cultura i na microrregião m , sendo definida por:

$$s_{i,m,t} = s_{i,m,t-1} * \sum_{j=1}^n \Delta r_{i,j,m} * \varepsilon_{r,i,j}^{s,i} \quad (30)$$

Onde $\varepsilon_{r,i,j}^{s,i}$ é a mesma elasticidade cruzada de área para cultura i com respeito a receita de outra cultura j calculada para o estado s .

A produção de cada atividade em cada microrregião é um resultado da área multiplicada pela produtividade. Esta por sua vez, é uma função linear da produtividade do estado, de forma que:

$$y_{s,i,t} = \sum_{m=1}^n \frac{y_{i,m,t} * a_{i,m,t}}{A_{s,i,t}} * e_{s,i,t} \quad s = (1, \dots, 26) \text{ e } m \in s \quad (31)$$

Onde $y_{i,m,t}$ é a produtividade da cultura i na microrregião m no ano t e $e_{s,i,t}$ é o fator de correção para o estado para a diferença entre a produtividade para cada cultura em cada estado, ponderada pela produtividade das microrregiões.

Em resumo, o modelo de alocação na microrregião é uma ferramenta econômica que distribui a produção e a área usada pelo setor agrícola, considerando padrões históricos e especificações regionais.

Resultados da EMBRAPA como Dados de Entrada para o BLUM

Utilizaram-se os resultados de cada lavoura e das pastagens dos cenários simulados pela EMBRAPA como dados de entrada para o Modelo de Uso da Terra para a Agropecuária Brasileira = BLUM. A linha de base

das projeções da EMBRAPA é a área cultivada em 2009 e as simulações projetam a área que continuará a ser adequada para as futuras atividades de produção. Consequentemente, para cada cenário simulado

existe um conjunto de resultados para as pastagens e as seguintes culturas: arroz, algodão, milho (1ª e 2ª safras), soja, feijão (1ª e 2ª safras), cana-de-açúcar e trigo.

No entanto, para adaptar os resultados da EMBRAPA ao BLUM e ao modelo de alocação de terra por microrregião foram utilizados alguns pressupostos. O banco de dados que recebido continha informações sobre a área total plantada para cada atividade considerada nos modelos e para cada cenário por município em 2009, 2020 e 2030.

No caso do modelo BLUM, agregamos os resultados em termos de impactos sobre as áreas para cada atividade em seis regiões brasileiras (regiões do BLUM). Como a EMBRAPA usou a área plantada das lavouras a partir da pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), calculamos em pontos percentuais os impactos sobre a área plantada utilizada no BLUM (da Companhia Brasileira de Abastecimento, CONAB) em 2009.

Como um exemplo do conjunto de dados simulado pela EMBRAPA, a Tabela 4 abaixo mostra os resultados para a soja.

Tabela 5. Cenários simulados para a soja, agregados nas regiões do BLUM (em 1000 ha)

Região	Área plantada	Pessimista		Otimista		BRAMS (- precipitação)		BRAMS (+ precipitação)	
		2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Sul	8.286	4.626	4.272	6.196	5.826	4.824	4.233	8.285	8.157
Sudeste	1.424	1.161	1.156	1.233	1.233	1.162	1.160	1.424	1.424
Centro-Oeste -Cerrado	7.676	6.676	6.540	7.307	7.296	6.690	6.540	7.673	7.673
Norte Amazônia	2.422	2.420	2.420	2.420	2.420	2.420	2.420	2.390	2.390
Nordeste Litorâneo	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Nordeste Cerrado	1.953	1.589	1.247	1.727	1.659	1.589	1.264	1.946	1.944
Brasil	21.762	16.473	15.634	18.883	18.434	16.686	15.617	21.718	21.588

Fonte: IBGE e EMBRAPA.

Comparando os resultados de cada cenário com a área plantada observada em 2009 (linha de base), torna-se evidente que o impacto das mudanças climáticas em

2030 levará a uma redução da área alocada para o plantio de soja em todos os cenários. Mais importante ainda é que a região mais gravemente afetada é o Sul (uma im-

portante área de produção de soja) onde o declínio previsto para a área alocada é de quase 50% em 2030. Em média, a área que pode ser utilizada na produção de soja no Brasil apresenta uma retração de 28% no cenário pessimista simulado e no do BRAMS (nenhuma precipitação) em 2030. A área que pode ser usada para a produção de soja nos cenários otimista e BRAMS (sem precipitação) foi afetada em 15% e 1% em 2030, respectivamente.

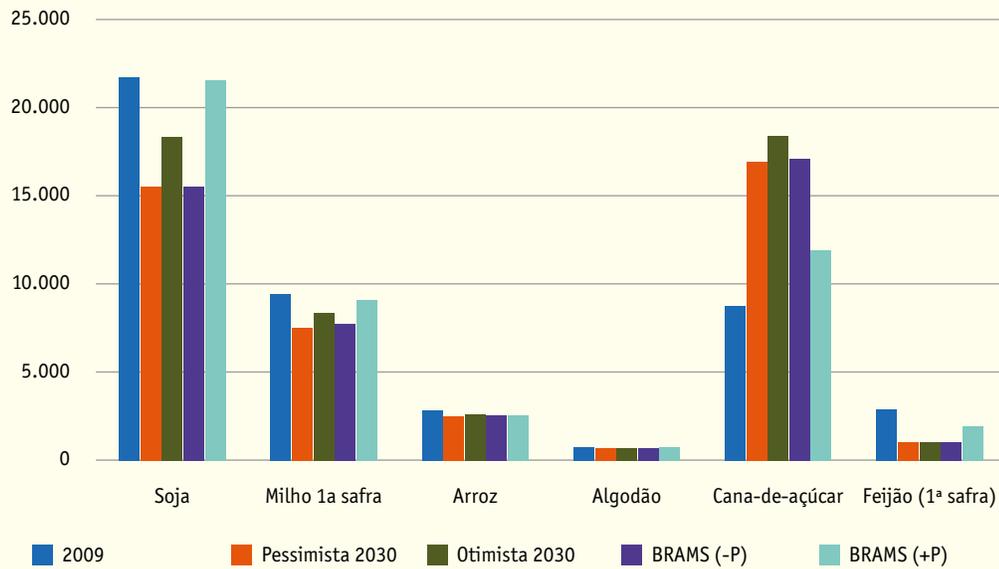
Para poder utilizar as projeções de áreas aptas para agricultura como dados de entrada para o BLUM, combinamos todos os resultados de lavouras e de pastagens que causaram impactos negativos nas áreas

dos cenários. Alguns municípios apresentaram impactos positivos nas pastagens e na cana-de-açúcar, devido aos cenários de mudanças climáticas. No caso dos impactos sobre as pastagens, a EMBRAPA os simulou em termos de alteração percentual relacionada a um ponto inicial em 2010, 2020 e 2030 para cada cenário de mudança climática. O BLUM adota diferentes fontes para a área de pastagem, que foi utilizada para calcular os valores dos impactos como proporção dos resultados da EMBRAPA. A Tabela 6 e a Figura 23 mostram os resultados compilados para cada lavoura e cada cenário simulados pela EMBRAPA, que foram adotados como dados de entrada no BLUM.

Tabela 6. Simulação de áreas de cultivo e de pastagem no Brasil (em 1000 ha)

	BLUM	Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030
Soja	21.743	15.634	18.434	15.617	21.588
Milho (1ª safra)	9.463	7.620	8.361	7.796	9.135
Arroz	2.909	2.617	2.640	2.614	2.560
Algodão	843	776	777	776	812
Cana-de-açúcar	8.846	16.922	18.419	17.125	11.997
Feijão (1ª safra)	2.894	1.122	1.188	1.137	1.923
Trigo	2.396	1.877	1.614	1.561	0
Milho (2ª safra)	4.901	4.064	4.456	4.122	4.500
Feijão (2ª safra)	1.254	519	587	525	970
Pastagem	183.485	183.320	183.489	183.478	162.915

Nota: BRAMS (-P) refere-se ao cenário do BRAMS sem nenhuma mudança na precipitação; BRAMS (+P) inclui as alterações na precipitação [Fonte: EMBRAPA e ICONE]

Figura 24. Simulação da área plantada para lavouras para diferentes cenários climáticos

Fonte: Embrapa e ICONE

Como o BLUM é um modelo de projeção anual, os impactos sobre a área plantada em 2020 e 2030 calculados pela EMBRAPA foram distribuídos ao longo do período de 2013 a 2030. Foi feita uma suposição para calcular os impactos de cada cenário sobre a terra disponível e adequada à expansão agrícola (vegetação remanescente). Partiu-se do pressuposto de que a terra disponível para expansão exercerá o mesmo impacto que as áreas consideradas nas la-

vouras e pastagens de cada cenário simulado. Em outras palavras, adotou-se a participação de cada cultivo na área total utilizada para a agropecuária e sua variação percentual em cada cenário, com o objetivo de calcular o impacto sobre a vegetação natural disponível e apta à agropecuária, como mostra a Tabela 7 para os cenários simulados.

Tabela 7. Vegetação disponível e apta à expansão agrícola em cada cenário (1000 ha)ⁱ

	Referência (BLUM 2009 e 2030)	Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
		2030	2030	2030	2030
Sul	2,081	1,763	1,898	1,761	1,745
Sudeste	4,324	4,272	4,288	4,275	4,257
Centro-Oeste Cerrado	8,872	8,697	8,814	8,698	8,529
Norte Amazônia	16,108	15,997	16,051	16,047	12,425
Nordeste Litorâneo	68	56	57	56	70
Nordeste Cerrado	12,066	11,474	11,643	11,482	10,805
Brasil	43,519	42,258	42,751	42,318	37,832

ⁱ Considerando apenas os impactos sobre os seguintes produtos: soja, milho (1ª safra), arroz, feijão (1ª safra), cana-de-açúcar e pastagem. [Fonte: ICONE]

Esta suposição se faz necessária porque é pouco realista esperar uma redução na área total alocada para a agropecuária e, ao mesmo tempo, a ausência de desmatamento nas terras adequadas à sua expansão.

No caso do cenário pessimista, a área total disponível para a expansão agropecuária deverá sofrer uma retração acima de um milhão de hectares. Esse impacto é muito menor do que o apresentado para as lavouras na Tabela 6. A explicação desse fato é que a área de pastagem considerada separadamente afetará muito menos essa redução. Por outro lado, quando os impac-

tos sobre as lavouras e as pastagens são analisados em conjunto, estes são significativamente maiores, como mostra a Tabela 8. Em 2009, dos 230 milhões de hectares utilizados no cultivo de grãos (1ª safra), cana-de-açúcar e nas pastagens, os cenários de mudanças climáticas poderão reduzir essa área em mais de 10 milhões de hectares nos cenários pessimista e BRAMS (sem precipitação), enquanto no cenário otimista a diminuição da área poderá atingir sete milhões de hectares em 2030.

Tabela 8. Área disponível e apta para a agricultura em 2009 e projeção do seu potencial em 2030 para cada cenário (em 1000 ha)

	Referência	Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
Sul	32.362	27.412	29.513	27.380	29.717
Sudeste	41.517	41.015	41.169	41.044	46.463
Centro-Oeste Cerrado	67.870	66.535	67.425	66.536	66.784
Norte Amazônia	67.737	67.271	67.495	67.480	52.605
Nordeste Litorâneo	14.859	12.066	12.475	12.128	17.237
Nordeste Cerrado	49.165	46.753	47.445	46.787	47.802
Brasil	273.509	261.053	265.523	261.357	260.607

Nota: Foram consideradas apenas as primeiras safras de milho e de feijão e excluídas as safras de inverno (trigo e cevada).

Fonte: ICONE

Como também é apresentado na Tabela 8, em termos de área total disponível e apta às atividades agrícolas, que é a soma das áreas cobertas por vegetação natural aptas à produção e das terras atualmente utilizadas para essas atividades, a região Sul será a mais afetada em todos os cenários de mudanças climáticas, exceto no BRAMS (+P). Neste último cenário, a região Norte Amazônia foi a mais afetada, com impacto negativo de 15 milhões de hectares na área apta a agricultura.

De acordo com a Tabela 8, o Brasil deverá apresentar uma redução acima de 12 milhões de hectares para a produção agrícola nos cenários BRAMS (-P) e BRAMS (P) para 2030. Para o cenário otimista, a área potencial para a produção agrícola poderá ser reduzida em 8 milhões de hectares comparada aos dados originais de 2009. A Tabela 8 mostra os resultados que foram utilizados com dados de entrada para a variável A_t^T , a qual é uma variável explicativa na equação

(1) descrita na metodologia. Considerando que esta base de dados está pronta para ser usada no BLUM foram simulados cenários considerando restrições de área na equação (1), afetando também as equações (2) e (3). No modelo de alocação, a terra disponível e apta para a agricultura é calculada por microrregião e utilizada nas equações (19) e (29).

Outra importante questão a ser levantada é: quantos hectares de pastagens podem ser convertidos em lavouras nos cenários de mudanças climáticas?. Nas projeções do BLUM, por exemplo, a produção de carne e leite aumenta mesmo com a diminuição das terras destinadas ao pasto no futuro, caso seja economicamente viável. A dinâmica de uso da terra a partir das bases de dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) foi usada para determinar a tendência da intensificação da produção pecuária. Em 2009, o Brasil apresentou 42,2 milhões de hectares de pastagens ade-

quadas à produção agrícola, dos quais 32% estão concentrados no Centro-Oeste Cerrado, 22% no Sul, 16% no Sudeste, 16% no Norte-Amazônia, 9% no Cerrado do Nordeste e 4% no Nordeste Litorâneo. Para

2030, o impacto sobre as áreas de pastagens que poderiam ser convertidas para a agricultura deverá ser reduzido, como é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9. Pastagens aptas para lavouras na comparação de cenários para 2030 (1000 ha)

	Referência	Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
Sul	8.528	3.870	5.856	3.841	8.380
Sudeste	6.043	5.593	5.729	5.618	5.974
Centro-Oeste – Cerrado	12.306	11.134	11.915	11.134	12.302
Norte- Amazônia	5.983	5.850	5.850	5.850	5.670
Nodeste-Litorâneo	1.652	-63	247	-45	1.049
Nordeste Cerrado	3.547	1.644	2.172	1.669	2.601
Brasil	38.060	28.028	31.769	28.067	35.976

Fonte: Sparovek e ICONE

Apesar da estimativa de redução de quase 10 milhões de hectares na área de pastagem apta à produção agrícola, em relação à linha de base de 2009, o pasto poderá continuar a ser convertido para as atividades agrícolas por meio da maior intensificação da produção de carne em todos os cenários simulados, devido à maior restrição de terra para a produção agrícola.

A próxima seção apresenta os resultados preliminares de três cenários no BLUM: linha de base, pessimista, otimista e BRAMS (com e sem precipitação). Conforme descrito acima, a variável dinâmica no modelo para cada cenário em 2020 e 2030 foi a área disponível e apta à agricultura, combinada à quantidade de pastagem que pode ser convertida em terra de cultivo.

Resultados da Simulação do Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (BLUM)

Antes de apresentar os resultados dos cenários simulados, é importante descrever o cenário macroeconômico utilizado em todas as simulações, o qual é considerado como exógenos ao BLUM.

Para o preço internacional de petróleo, considerando que é um importante indicador para os custos dos insumos agropecuários e também para os preços das commodities, espera-se que alcançará

US\$ 143,5 por barril em 2030, com algumas oscilações ao longo do período projetado.

Espera-se que o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro apresente um crescimento anual médio de 4,6% ao ano até 2030, enquanto que o PIB mundial deverá crescer a uma taxa anual de 3,2%. As projeções do Banco Mundial para o PIB de 2013 e 2014 são similares às utilizadas nas simulações, inclusive a média de crescimento para 2030, mas as projeções para o Brasil podem ser consideradas mais otimistas em relação a esta instituição. A redução no crescimento econômico de curto prazo, em especial devido a crise na Europa, estão consideradas nas projeções mundiais, mas espera-se que as políticas públicas brasileiras afetarão positivamente a economia doméstica no curto

prazo. Assim, as projeções de longo prazo apresentadas neste relatório já consideram as expectativas de curto prazo.

Os resultados são apresentados em três subseções: uso da terra e produção, consumo doméstico, comércio internacional e preços. Foram comparados os resultados dos cenários pessimista, otimista e BRAMS (com e sem precipitação) para 2030 com relação ao cenário de referência (sem mudanças climáticas).

Uso da Terra e Produção

A Tabela 10 mostra os resultados referentes à terra destinada à produção agropecuária, considerando as lavouras e as pastagens para cada cenário em 2009 e 2030.

Tabela 10. Terras utilizadas por pastagens e pelas lavouras (primeira safra)(1000 ha)

Região	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Sul	30.281	29.823	25.084	27.031	25.114	24.847
Sudeste	37.193	37.317	36.784	36.963	36.835	36.677
Centro-Oeste Cerrado	58.998	59.678	58.698	59.396	58.725	57.890
Norte Amazônia	51.629	58.688	58.003	58.054	58.165	48.483
Nordeste Litorâneo	14.790	14.911	12.672	14.384	12.725	15.669
Nordeste Cerrado	37.100	38.255	36.871	37.224	36.903	35.665
Total	229.990	238.671	228.112	231.640	228.467	219.232

ⁱ Foram consideradas somente as primeiras safras de milho e de feijão e excluídas as safras de inverno (trigo e cevada).

Fonte: ICONE

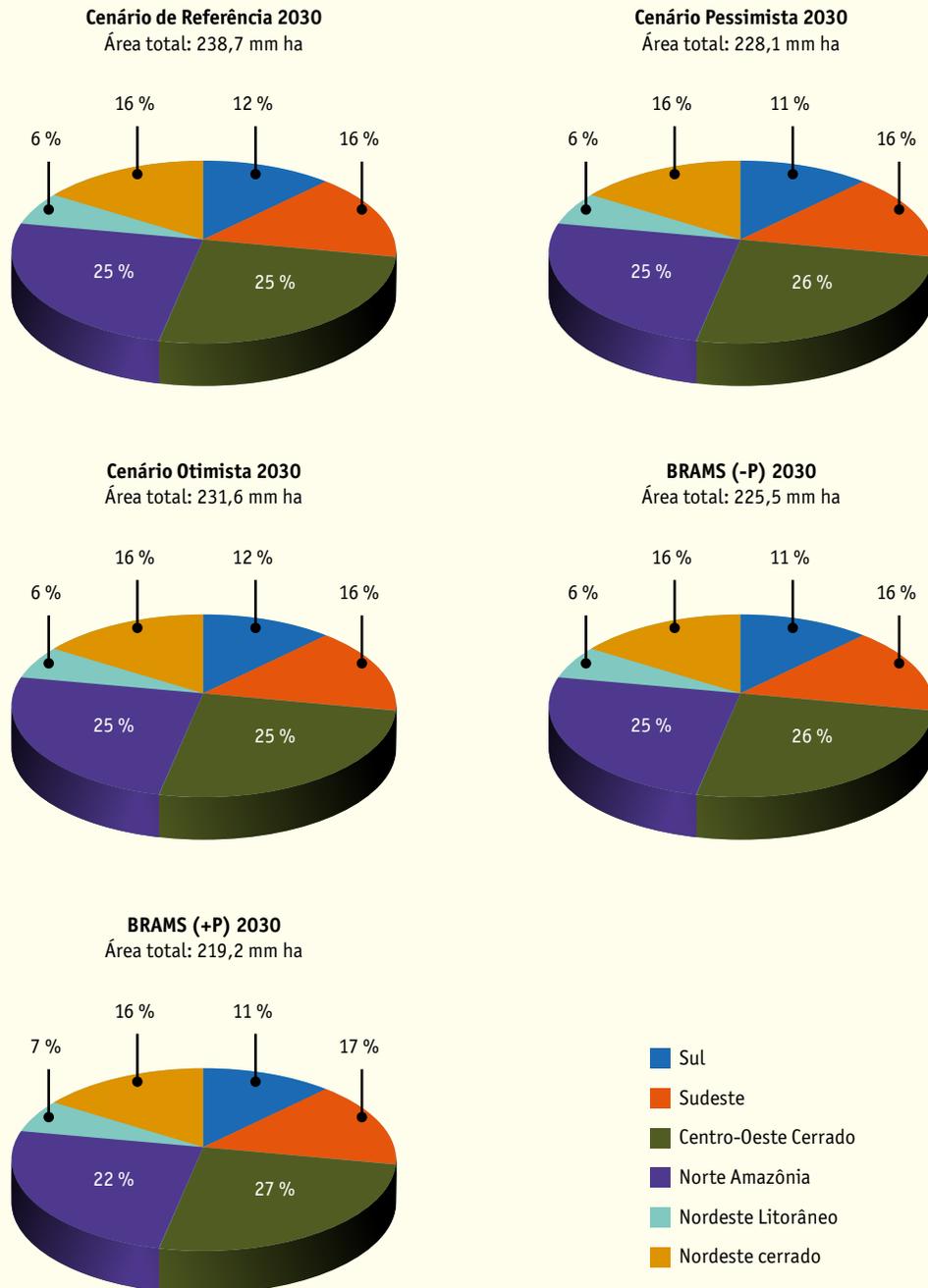
No cenário de referência, a área total alocada às lavouras e às pastagens no Brasil aumenta 2% em 2020 e 4% em 2030, tomando como base o ano de 2009. A demanda por terra para a produção agropecuária deverá ser de 10 milhões de hectares em 2030, aproximadamente, comparada com o ano de 2009.

Entre os cenários analisados, o impacto das restrições das mudanças climáticas foi maior no BRAMS com precipitação. A área total utilizada por pastagens e lavouras de primeira safra poderá ser reduzida em 19 milhões de hectares em 2030, comparada ao cenário de referência. A região Norte Amazônia deverá ser a mais afetada, na qual a área foi reduzida em 10 milhões de hectares, seguido pelas regiões Sul e Nordeste Cerrado que apresentaram reduções de 5 e 2,6 milhões de hectares, respectivamente.

Os resultados do cenário pessimista para 2020 e 2030 com relação ao cenário de referência, em termos da área total alo-

cada para agropecuária, mostram que a região Sul poderá ser a mais afetada, devido às restrições das mudanças climáticas nesse cenário. Em 2020, a área total poderá diminuir 4,4 milhões de hectares em relação à linha de base, aumentando para 4,7 milhões de hectares em 2030. Em geral, é provável que o Brasil tenha menos 10,6 milhões de hectares de terra destinada às atividades agrícolas em 2030. O BRAMS sem precipitação apresentou resultados semelhantes ao cenário pessimista.

No cenário otimista, os impactos foram muito menores. A região Sul reduziu a área total utilizada pela produção agrícola em 2,5 e 2,8 milhões de hectares em 2020 e 2030, respectivamente, em relação ao cenário de referência (linha de base). Da mesma forma, no Brasil como um todo, a diminuição total da área deverá se situar em torno de 7,1 milhões de hectares em 2030, comparada à linha de base. A Figura 24 mostra a participação da área alocada para a agropecuária em cada região.

Figura 25. Área alocada para a agropecuária para cada cenário: distribuição entre regiões

Fonte: ICONE

No entanto, é interessante notar que a maior parte dessa redução foi alocada sobre a área de pastagem, como é mostrado na Tabela 12. Este é o resultado da inten-

sificação da produção pecuária, porque há pastagens muito aptas à lavoura e devido à viabilidade econômica resultante dos aumentos de preços.

Tabela 11. Área alocada para pastagens (milhões de hectares)

Região	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Sul	16.191	13.789	11.313	12.321	11.331	11.058
Sudeste	27.466	24.287	23.680	23.892	23.720	23.618
Centro-Oeste Cerrado	49.003	42.777	41.393	42.182	41.422	40.527
Norte Amazônia	47.831	53.623	52.585	52.744	52.736	43.700
Nordeste Litorâneo	10.845	10.444	8.822	9.051	8.860	10.906
Nordeste Cerrado	32.149	29.445	27.993	28.419	28.024	26.902
Total	183.485	174.364	165.785	168.609	166.092	156.710

Fonte: ICONE

As projeções mostram que no Brasil a área total de pastagens em 2030 poderá ser reduzida em 17,6 milhões de hectares no cenário BRAMS com precipitação, 8,6 e 8,3 milhões de hectares no cenário pessimista e no BRAMS (sem precipitação) e 5,8 milhões de hectares no cenário otimista, em comparação ao cenário de referência. Apesar da significativa redução em termos relativos, os impactos foram de 10% no cenário BRAMS (+P), 5% no cenário pessimista e no BRAMS (-P) e de 3% no cenário otimista, em relação à linha de base.

Como era de se esperar em termos regionais, devido aos impactos das mudanças climáticas, o Sul foi mais afetado no que se refere a substituição das pastagens pelas culturas agrícolas. Para os cenários pessimista e BRAMS (com e sem precipitação), as pastagens foram reduzidas em 2,5 milhões de hectares em média, o que representa uma diminuição de 19% em 2030, comparada à linha de base. No entanto, mesmo no cenário de referência, a área destinada

ao pasto apresentou uma retração de 2,4 milhões de hectares, em relação às pastagens observadas em 2009. Isto mostra a tendência de diminuição dessas áreas na região Sul, que foram substituídas por lavouras. Todas as outras regiões, exceto no Norte-Amazônia, também apresentam uma tendência de redução dos pastos no cenário de referência.

A região Norte Amazônia apresentou uma redução de 10 milhões de hectares de pastagens no cenário BRAMS (+P) em 2030, comparado ao cenário de referência no mesmo ano, enquanto que nos outros cenários esta redução foi de 935 mil hectares em média. Este resultado mostra que quase toda a redução da área disponível e apta nesta região no cenário BRAMS (+P) foi alocada sobre pastagens em maior proporção em relação a lavouras, o que é esperado devido ao uso corrente da terra na região. Em resumo, a área alocada para pastagens em 2030 deverá apresentar redução em todos os cenários simulados

em comparação ao cenário de referência, exceto na região Nordeste Litorâneo para o cenário BRAMS (+P), devido a serem terras com baixa aptidão para lavouras.

A Tabela 13 mostra que a área total de lavouras foi reduzida, mas não de forma tão substancial quanto a das pastagens. Mais uma vez, a maior parte da retração se concentrou no Sul, porque essa região foi a

mais afetada pelos cenários de mudanças climáticas, ou seja, não será possível substituir o pasto na mesma proporção da demanda por área de lavoura na região Sul, o que implica em uma redistribuição regional da produção. No Cerrado das regiões Centro-Oeste e Nordeste, houve um aumento na área de lavouras nos cenários simulados de mudanças climáticas em relação ao cenário de referência.

Tabela 12. Terra destinada às lavourasⁱ (1000 ha)

Região	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Sul	14.090	16.034	13.771	14.710	13.783	13.789
Sudeste	9.727	13.030	13.104	13.071	13.115	13.059
Centro-Oeste Cerrado	9.994	16.901	17.305	17.214	17.302	17.363
Norte Amazônia	3.798	5.065	5.419	5.310	5.429	4.783
Nordeste Litorâneo	3.945	4.468	3.850	3.921	3.867	4.764
Nordeste Cerrado	4.951	8.810	8.878	8.805	8.880	8.763
Total	46.506	64.308	62.328	63.031	62.376	62.522

ⁱ Foram consideradas somente as safras de verão de milho e de feijão e excluídas as safras de inverno (trigo e cevada).

Fonte: ICONE

Na ausência de alterações climáticas, o cenário de referência (linha de base) mostra que a terra cultivável deverá aumentar para 17 milhões de hectares em 2030, em comparação a 2009. No entanto, devido aos impactos das mudanças climáticas, todos os cenários simulados resultam em uma diminuição da área de lavouras em 2020 e 2030, se comparados à linha de base. Contudo, é importante notar que a substituição das pastagens pelos grãos e a cana-de-açúcar compensa parcialmente as previsões

de perda de terra arável, o que explica os menores impactos iniciais mostrados na Tabela 2. Como resultado, conforme apresentado na Tabela 13, as terras destinadas ao cultivo deverão diminuir quase 2 milhões de hectares em 2030 nos cenários pessimista e BRAMS (sem precipitação), 1,8 milhão de ha no BRAMS (+P) e 1,3 milhão de ha no cenário otimista.

As simulações de áreas cultiváveis (Tabela 13) apresentam uma tendência interessante na dinâmica da mudança do uso re-

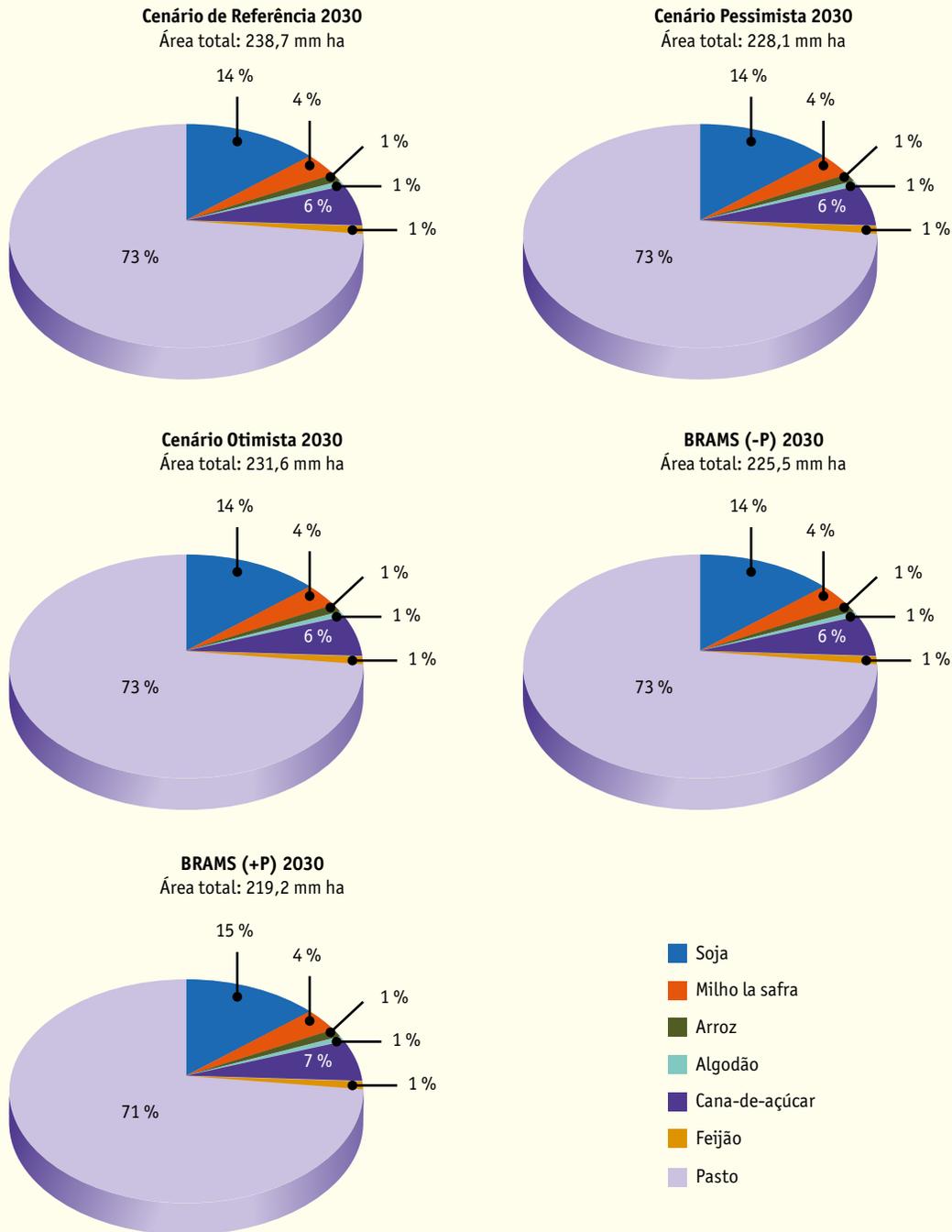
gional da terra no Brasil. Enquanto a área de plantio deve diminuir no Sul e no Nordeste Litorâneo, a área cultivada em todas as outras regiões poderá aumentar, compensando parcialmente os possíveis impactos das alterações no clima. Em essência, essas tendências do uso da terra parecem representar estratégias de adaptação autóctones – deslocamento dos sistemas de cultivo menos adequados e a sua redistribuição nas áreas mais favoráveis em relação às localizações atuais.

Diferente de todos os outros cenários climáticos, no BRAMS (com precipitação) a área de lavouras foi reduzida no Norte Amazônia e aumentada no Nordeste Litorâneo. Este é um resultado dos impactos da

disponibilidade de terras aptas à produção agropecuária destas regiões quando incorporadas as mudanças na precipitação no modelo BRAMS.

A Figura 25 mostra que a distribuição percentual da área alocada para cada lavoura e pastagens no Brasil foi modificada somente no cenário BRAMS com precipitação em 2030, comparado ao cenário de referência, apesar da diferença no total de área utilizada pela agropecuária entre os cenários. Considerando que a área de pasto no cenário BRAMS (+P) foi o mais afetado, espera-se que as lavouras aumentem participação no uso da terra em relação às pastagens.

Figura 26. Distribuição da área total alocada para os produtos agropecuários: comparação de cenários



Fonte: ICONE

Quanto à produção de grãos brasileira, como é mostrado na Tabela 14, as simulações preveem para 2030 uma redução na produção de grãos brasileira de 5,6 mil-

hões de toneladas no cenário BRAMS (com precipitação) e em torno de 4,6 milhões de toneladas, nos cenários pessimista e BRAMS (sem precipitação), em relação ao

cenário de referência. Conforme as expectativas, o cenário otimista estima cerca de metade deste impacto, prevendo um declínio na produção de 2,7 milhões de toneladas em 2030, comparado à linha de base.

Em geral, pode-se esperar que as quedas na produção afetem os preços, a demanda doméstica e as exportações líquidas desses produtos.

Tabela 13. Produção de grãos, somente a primeira safra* (mil toneladas)

Região	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Sul	42.160	67.849	58.973	62.687	58.996	58.852
Sudeste	14.622	23.372	23.775	23.574	23.793	23.915
Centro-Oeste Cerrado	28.853	50.561	52.634	51.979	52.601	53.065
Norte Amazônia	10.323	18.301	19.748	19.286	19.779	17.577
Nordeste Litorâneo	2.310	3.671	3.178	3.226	3.190	3.949
Nordeste Cerrado	10.222	30.247	31.079	30.557	31.063	30.983
Total	108.492	194.001	189.389	191.310	189.422	188.341

* Foram consideradas somente as safras de verão de milho e de feijão e excluídas as safras de inverno (trigo e cevada).

Fonte: ICONE

Apesar da previsão de queda na produção de grãos em torno de 8 milhões de toneladas em 2030 na região Sul, nos três primeiros cenários de mudança climáticas em relação à linha de base, o Sudeste, o Centro-Oeste, o Norte-Amazônia e a área de Cerrado do Nordeste irão aumentar a sua produção de grãos em 2030. Ou seja, a redistribuição da produção regional reduzirá quase à metade os impactos negativos das mudanças climáticas sobre os grãos. É especialmente importante notar que, apesar da redução prevista na área de pastagem,

a produção de carne diminuirá em uma quantidade muito menor em razão da intensificação tecnológica, como é mostrado na Tabela 15. Por isso, embora a produção de carne bovina no Brasil possa diminuir em média cerca de 7% em todos os cenários simulados para 2030 comparados à linha de base, as simulações preveem que ela continuará a crescer até 2030 em todos os cenários, em relação à produção observada em 2009, e poderá aumentar cerca de 3 milhões de toneladas.

Tabela 14. Produção de carne bovina (mil toneladas)

Região	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Sul	1.072	1.942	1.700	1.748	1.700	1.711
Sudeste	2.483	3.292	3.158	3.144	3.157	3.189
Centro-Oeste Cerrado	2.997	4.927	4.594	4.629	4.597	4.603
Norte Amazônia	1.381	1.891	1.733	1.725	1.736	1.528
Nordeste Litorâneo	388	627	588	590	588	641
Nordeste Cerrado	839	1.012	954	956	954	955
Total	9.161	13.691	12.726	12.793	12.733	12.627

Fonte: ICONE

Consumo Doméstico, Preços e Comércio Internacional

Em termos de consumo doméstico, a Tabela 16 apresenta um resumo dos resultados para cada produto e cenário analisado.

Tabela 15. Consumo doméstico de cada produto analisado (1000 toneladas e bilhões de litros)

Atividades	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Grãos	106.940	175.286	173.643	174.466	173.665	173.317
Etanol	23.960	67.599	65.260	66.024	65.321	65.747
Farelo de Soja	12.000	18.922	18.807	18.898	18.810	18.749
Óleo de Soja	4.341	8.260	8.220	8.240	8.220	8.197
Açúcar	10.341	19.055	18.975	19.003	18.977	18.993
Carne bovina	7.433	10.089	9.250	9.304	9.255	9.166
Carne de frango	7.294	12.088	12.160	12.216	12.161	12.148
Carne suína	2.598	3.434	3.401	3.449	3.440	3.439

Fonte: ICONE

Na ausência de mudanças climáticas, o consumo nacional de todas as commodities deverá aumentar em 2030, comparado a 2009. No entanto, nossas simulações em todos os cenários de mudanças climáticas sugerem que, em relação à linha de base de 2009, as alterações no clima podem reduzir o consumo de quase todas as commodities, especialmente os grãos e o etanol. A principal causa dessa queda é a elevação dos preços reais de todas as commodities, quando a disponibilidade de terra para a produção agrícola for menor em função das mudanças climáticas. Os cenários pessimista e BRAMS (com e sem precipitação) resultaram em reduções mais acentuadas no consumo doméstico em relação à linha de base no futuro.

Projeção dos Impactos das Mudanças Climáticas nos Preços Reais das Commodities em 2020 e 2030

Os preços reais das commodities são apresentados na Tabela 17. A competição entre as lavouras e as pastagens levou ao aumento de preços nos cenários com restrições de disponibilidade de terra agricultável. Como esperado, o cenário pessimista apresentou maiores impactos sobre os preços do que os outros cenários.

Tabela 16. Preços reais das commodities (2011 = 100; t = tonelada)

	Uni- dade	Referência					
		2009	2030	Pessimista 2030	Otimista 2030	BRAMS (-P) 2030	BRAMS (+P) 2030
Milho	R\$/t	421	359	386	375	385	389
Soja	R\$/t	1.071	815	865	843	865	895
Algodão	R\$/t	1.415	1.415	1.455	1.437	1.454	1.487
Arroz	R\$/t	800	571	672	629	671	690
Feijão	R\$/t	1.682	1.523	1.691	1.639	1.689	1.658
Farelo de Soja	R\$/t	1.003	815	842	832	842	859
Óleo de Soja	R\$/t	2.787	2.463	2.558	2.511	2.557	2.613
Trigo	R\$/t	617	481	481	481	481	481
Cevada	R\$/t	603	368	368	368	368	368
Açúcar	R\$/t	1.099	343	374	364	373	367
Etanol	R\$/litro	1.40	0.66	0.71	0.69	0.71	0.70
Carne bovina	R\$/kg	7.30	9.43	12.09	11.83	12.07	12.42

	Uni-	Referência	Pessimista	Otimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	dade	2009	2030	2030	2030	2030
Carne de frango	R\$/kg	2.27	2.57	2.80	2.74	2.80
Carne suína	R\$/kg	2.78	3.90	4.21	4.12	4.20

Fonte: ICONE

Nota: os preços dos grãos, etanol, açúcar e carnes são ao produtor enquanto que farelo de soja e óleo de soja são preços no atacado,

É interessante notar que os preços ao produtor de gado de corte aumentaram mais de 25% em todos os cenários, mostrando que a intensificação do uso de pastagens e da produção pecuária poderão levar a uma elevação de preços para compensar os investimentos no aumento da produtividade. Os custos de produção crescem significativamente com a intensificação da produção pecuária. Como resultado do aumento dos preços relativos da carne bovina, o consumo doméstico das carnes de frango e suína deverá ser maior nos cenários de mudanças climáticas em 2030 em comparação ao cenário de referência.

Projeção do Impacto das Mudanças Climáticas no Valor da Produção Agrícola em 2020 e 2030

Com base nas projeções de preços acima, os impactos das mudanças climáticas podem impactar os valores da produção nos cenários que consideram as mudanças no clima, por causa dos preços mais elevados e dos impactos sobre a produção (Tabela 17). Assim, à medida que a produção diminui em uma região, a oferta se tornará menor do que a demanda, os preços irão subir e a produção em outras regiões vai responder de modo positivo. Vale ressaltar que a carne bovina e o óleo de soja representam cerca de 50% do valor da produção total prevista para a agropecuária brasileira (produtos selecionados na tabela).

Tabela 17. Valor da produção em milhões de reais (2011 = 100)

	Referência	Pessimista	Optimista	BRAMS (-P)	BRAMS (+P)
	2009	2030	2030	2030	2030
Milho (total)	16.678	31.889	33.717	33.037	34.032
Soja	47.550	96.181	101.625	99.258	105.165
Algodão	3.413	10.047	10.266	10.171	10.498
Arroz	7.831	9.254	10.131	9.789	10.415
Feijão (total)	4.562	9.268	10.138	9.870	9.941
Farelo de soja	18.350	33.022	33.832	33.589	34.337
Óleo de soja	71.615	150.100	155.060	152.464	158.560
Trigo	2.819	3.600	3.516	3.463	3.452
Cevada	86	43	43	43	43
Açúcar	28.248	20.906	22.684	22.076	22.291
Etanol	28.102	52.179	54.621	53.787	54.081
Carne bovina	51.963	129.121	153.907	151.305	156.881
Carne de frango	19.287	50.568	54.999	53.994	55.663
Carne suína	6.897	18.843	20.298	19.926	20.484
Total	307.401	615.023	664.839	652.771	675.844

Fonte: ICONE

Como é mostrado na Tabela 16, o aumento de preços também explica a retração no consumo doméstico e na exportação líquida (Tabela 19). Os cenários de mudanças

climáticas elevaram os preços e, consequentemente, reduziram a demanda total.

Tabela 18. Resultados da exportação líquida para cada cenário (1000 toneladas e bilhões de litros de etanol)

	Referência		Pessimista	Otimista	BRAMS(NP)	BRAMS(P)
	2009	2030	2030	2030	2030	2030
Grãos	30.471	68.654	67.044	67.556	66.932	66.057
Etanol	2.897	11.983	11.855	11.924	11.859	11.886
Farelo de soja	12.210	21.722	21.540	21.622	21.384	21.242
Óleo de soja	1.579	1.885	1.834	1.856	1.862	1.835
Açúcar	24.088	41.814	41.588	41.710	41.595	41.643
Carne bovina	1.728	3.549	3.477	3.536	3.478	3.461
Carne de frango	3.635	7.479	7.479	7.409	7.481	7.462
Carne suína	592	3.439	3.439	1.378	1.386	1.385

Fonte: ICONE

A exportação líquida sofreu menos impactos do que o consumo doméstico, mas as exportações de grãos foram mais afetadas e apresentaram uma redução superior a um milhão de toneladas em 2030, comparadas ao cenário de referência em todos os cenários simulados.

Resultados por estado

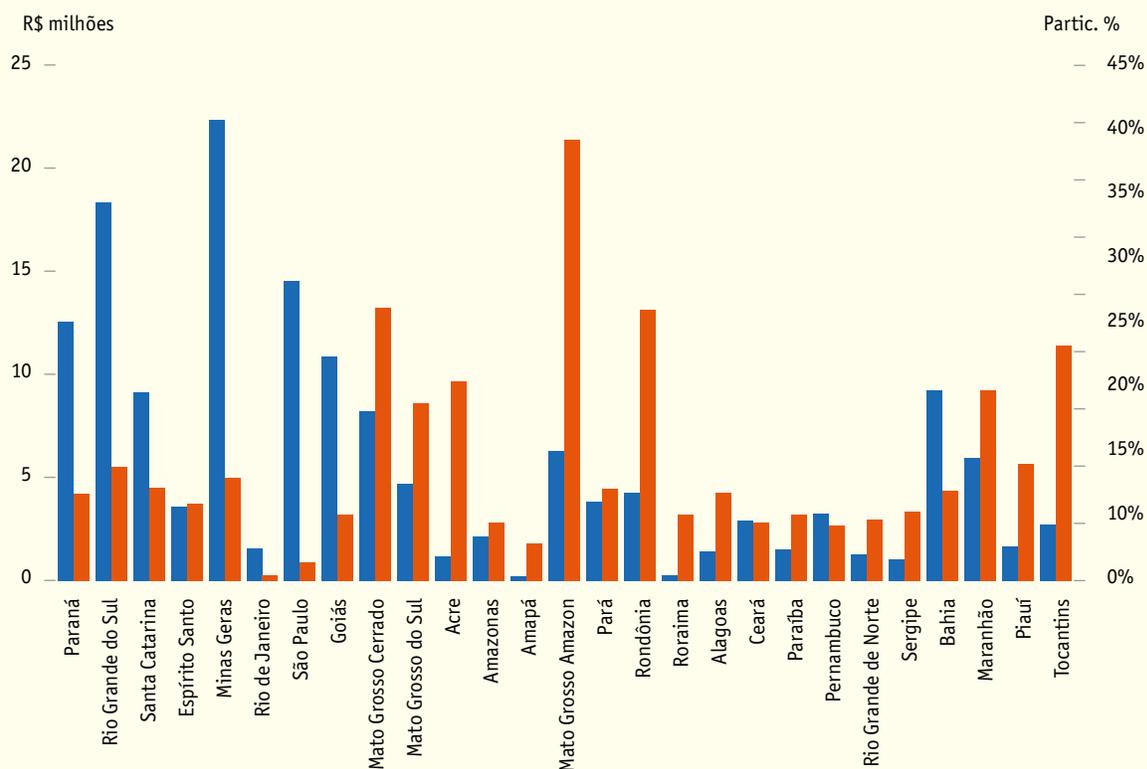
Em 2009 o setor agropecuário representou 5,6% do PIB do Brasil, enquanto que em 2000 esta contribuição foi de 7,5%. Apesar do aumento observado na produção agropecuária, o setor de serviços vem apresentando taxas de crescimento superiores às da indústria e agropecuária, passando de 52,3% para 67,5% do total do PIB nacional de 2000 a 2009. Entretanto, parte da demanda do setor de serviços é derivada da produção industrial e agropecuária, assim como da renda gerada por estes seto-

res. Isso significa que a redução da participação de um setor no PIB afeta a economia como um todo.

A economia brasileira possui elevada heterogeneidade entre os estados. A Figura 26 mostra a participação do setor agropecuário no PIB por estado para o ano de 2009. Elevados valores absolutos para a agricultura em relação ao PIB não significa necessariamente elevada participação deste setor na economia como um todo. Os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Goiás e Paraná são exemplos desta comparação. Estados ou regiões como Mato Grosso, Rondônia e Tocantins possuem mais de 20% do total do PIB de cada estado baseado na produção agropecuária. Entretanto, como parte das indústrias e serviços são integrados a agropecuária, a economia como um todo deverá sofrer com menores níveis de produção.

Conforme explicado na metodologia, os resultados do BLUM foram utilizados no modelo de alocação por microrregião, primeiramente por estado e depois para as respectivas microrregiões. A Tabela 20 mostra os resultados dos grãos e oleaginosas para 2009 e 2030 nos cenários de referência e pessimista.

Figura 27. PIB da agropecuária em 2009 por estado, valor absoluto e participação no PIB total



Fonte: IBGE

Tabela 19. Produção de grãos e oleaginosas (1000 toneladas)

	Referência		Pessimista	Pessimista/Referência	Pessimista-Referência
	2009	2030	2030	Variação (%)	Var. absoluta
Paraná	28.429	45.974	41.822	-9%	-4.152
Rio Grande do Sul	24.473	41.606	34.322	-18%	-7.284
Santa Catarina	8.900	12.507	12.335	-1%	-173
Espírito Santo	223	474	485	2%	11
Minas Gerais	16.748	25.911	25.860	0%	-51

	Referência		Pessimista	Pessimista/ Referência	Pessimista- Referência
	2009	2030	2030	Variação (%)	Var. absoluta
Rio de Janeiro	52	96	95	-1%	-1
São Paulo	9.482	15.487	16.193	5%	706
Goiás	16.787	30.188	31.998	6%	1.810
Mato Grosso (Cerrado)	17.642	35.381	36.853	4%	1.472
Mato Grosso do Sul	7.504	13.807	14.143	2%	336
Acre	123	185	154	-16%	-30
Amapá	13	48	47	-2%	-1
Amazonas	85	62	54	-12%	-7
Mato Grosso (Amazônia)	10.797	18.698	20.492	10%	1.793
Pará	2.105	3.684	3.591	-3%	-92
Rondônia	1.111	1.258	1.268	1%	10
Roraima	136	249	261	5%	12
Alagoas	102	89	70	-21%	-19
Ceará	822	830	717	-14%	-113
Paraíba	258	293	272	-7%	-21
Pernambuco	377	969	765	-21%	-204
Rio Grande do Norte	79	69	62	-10%	-7
Sergipe	672	1.421	1.292	-9%	-129
Bahia	7.404	18.002	18.206	1%	204
Maranhão	2.690	7.526	8.022	7%	496
Piauí	2.123	5.410	5.048	-7%	-362
Tocantins	1.753	5.213	5.460	5%	247
Brasil	160.891	285.437	279.886	-2%	-5.550

Fonte: ICONE

Grande parte dos impactos negativos na região Sul do Brasil devido às mudanças climáticas é esperada no estado do Rio Grande do Sul, que deve perder, em média, 3,2 milhões de hectares em 2030 compara-

do ao cenário de referência, o que representa 68% da redução de área total da região. A produção de grãos (milho total, feijão, soja, algodão e arroz) devem ser reduzidos em 7,3 milhões de toneladas, rep-

resentando 30% da produção observada em 2009. A produção de soja será a mais afetada negativamente em 2030. Enquanto que no cenário de referência deve-se alcançar uma produção de 15,3 milhões de toneladas, no cenário pessimista ela deverá ser reduzida em 18% ou para 12,6 milhões de toneladas. O estado do Paraná deverá reduzir a área em 1,6 milhões de toneladas e a produção em 15% para grãos e oleaginosas. A redução da produção de milho e soja deverá ter um efeito multiplicador sobre as indústrias de aves e suínos, por exemplo, pois a região Sul é a maior produtora destas carnes.

Os cenários de mudanças climáticas deverão afetar positivamente os estados de Goiás e Mato Grosso, aumentando a produção de grãos e oleaginosas e compensando parcialmente as perdas da região Sul. Espera-se que o estado do Mato Grosso compense 26% dos 12,7 milhões de toneladas de todos os estados que apresentaram impactos negativos nos cenários simulados.

Os estados da Bahia, Maranhão e Tocantins (pertencentes a região Nordeste Cercado no BLUM) deverão apresentar crescimento na produção de quase um milhão de toneladas, representando 7,5% das perdas. Apesar da redução de 798 mil hectares de área disponível para a agropecuária na Bahia em 2030 no cenário pessimista comparado ao de referência, a área de pastagem será substituída por lavouras e a produção será aumentada em 204 mil toneladas. Para o estado do Tocantins espera-se dobrar a produção em 2030 no cenário de referência em relação a 2009 e ainda mais no cenário

pessimista, apresentando impactos positivos na economia deste estado como um todo, já que a agricultura representou mais de 20% do PIB do estado em 2009.

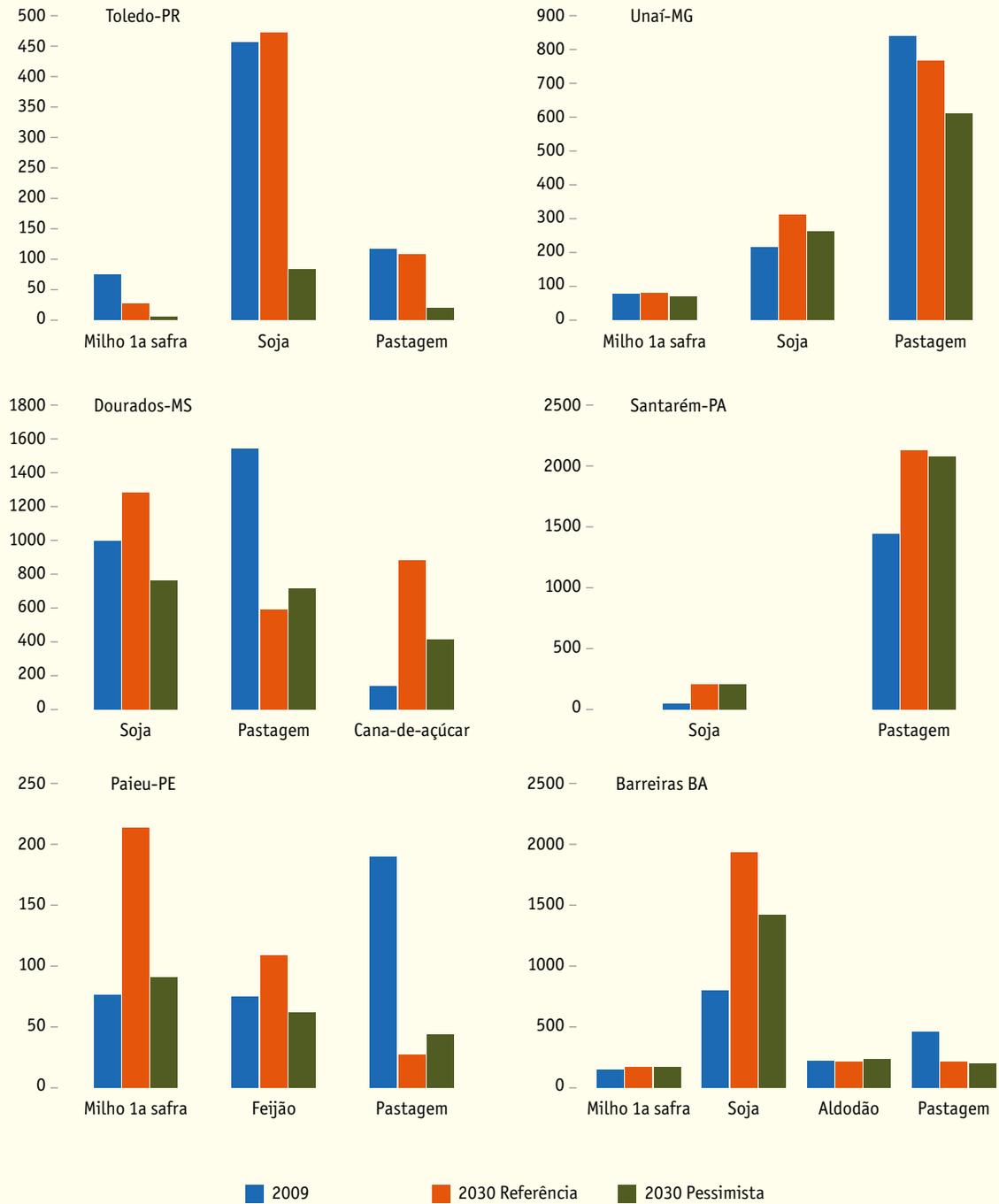
Os estados da região Nordeste Litorâneo, entretanto, deverão apresentar perdas na produção de grãos e cana-de-açúcar em todos os cenários de mudanças climáticas. A região possui, atualmente, baixos níveis de aptidão para a produção de grãos, o que deve piorar nos cenários de mudanças do clima simulados elevando ainda mais a pobreza e insegurança alimentar na região. O estado de Pernambuco, por exemplo, poderá reduzir a produção de grãos em 204 mil toneladas em 2030, representando uma perda de 54% da produção observada em 2009.

Resultados por microrregião

Conforme descrito na seção de metodologia, foi usado o modelo de alocação por microrregião para distribuir os resultados do BLUM por microrregião. Como existem 558 microrregiões no Brasil, foi escolhida apenas uma de cada região BLUM para ser analisada, sendo aquela que apresentou maiores impactos negativos no cenário pessimista. A Figura 28 mostra impactos relevantes sobre lavouras e pastagens para as regiões selecionadas, excluindo aquelas atividades que possuem baixa importância na região. Por exemplo, na microrregião de Toledo no estado do Paraná (região Sul), as áreas de pastagens, soja e milho primeira safra representaram 99% da área agrícola total em 2009, sendo excluídos os outros

usos nesta análise. No caso de Dourados-MS (região Centro-Oeste Cerrado), 98% da área foi alocada para soja, pasto e cana-de-açúcar em 2009.

Figura 28. Área alocada para agropecuária para as microrregiões selecionadas



Fonte: ICONE

Em geral, o estado do Paraná (PR) reduziu a área total utilizada pela agropecuária em 1,6 milhões de hectares (cenário pessimista comparado com o de referência em 2030), o qual representa 31% da redução de 5,2 milhões de hectares na região Sul. A microrregião de Toledo-PR deve reduzir sua área disponível para a agricultura em 83% no cenário pessimista comparado ao de referência, de 647,3 para 107,5 mil hectares em 2030. As áreas de soja, pasto e milho poderão ser reduzidas em, respectivamente, 387,8, 88,4 e 19,3 mil hectares em 2030 no cenário pessimista em relação ao de referência. Os resultados refletem a redução na área disponível para a agropecuária na região Sul no advento das mudanças climáticas. Esta microrregião é responsável por 34% da redução de área disponível no estado do Paraná.

Unaí é uma microrregião pertencente ao estado de Minas Gerais e faz parte da região Sudeste do Brasil. Este estado é o único na região que possui vegetação nativa remanescente e apta para a produção agropecuária, considerando todas as restrições ambientais. No cenário de referência, espera-se que o estado expanda a área utilizada pela agricultura em 559 mil hectares em 2030 em relação a 2009. No cenário pessimista, o estado irá reduzir esta área disponível, seguindo o que ocorreu na microrregião de Unaí. Grande parte desta redução deverá ocorrer sobre áreas de pastagens, minimizando os impactos negativos sobre as lavouras.

A microrregião de Dourados localizada no estado de Mato Grosso do Sul (região Centro-Oeste Cerrado) é importante pro-

ductora de soja, bovinos, cana-de-açúcar e milho. No cenário de referência, espera-se que Dourados expanda a área utilizada em 527 mil ha em 2030 em relação a 2009 e, ainda assim, 95% da expansão das lavouras de soja e cana-de-açúcar ocorreram sobre áreas de pastagens. No cenário pessimista, a redução de área disponível poderá acarretar em diminuição da área agrícola em 807 mil ha no mesmo período, sendo o maior impacto sofrido pela cana-de-açúcar.

Resultados semelhantes são esperados para as microrregiões de Pajeu-PE e Barrreiras-BA. É importante notar que a pecuária deverá se intensificar significativamente no cenário pessimista em comparação com o de referência tanto em 2009 quanto 2030, parcialmente compensando a perda de área de lavouras.

Santarém localiza-se no estado do Pará, região Norte Amazônica. Sua economia baseia-se na produção pecuária e possui também um importante porto para a região. A área de pasto vem crescendo historicamente e espera-se a continuidade para 2030, ainda que em menor escala de expansão. Como existem 800 mil ha de área disponível para a expansão agropecuária em ambos os cenários pessimista e de referência, a microrregião sofrerá impactos menores no setor agropecuário se comparada a outras regiões.

Considerando as diversas atividades produtivas e regiões, os resultados estão apresentados em mapas para 2009 e 2030, para ambos os cenários pessimista e de referência, no Anexo 1.

Conclusões



O valor agregado deste estudo em relação a outros trabalhos conduzidos na região ao longo da última década pode ser resumido nos seguintes itens:

1. O estudo foi concebido no contexto da iniciativa nacional, regional e global em curso, *Cenários Regionalizados de Clima Futuro da América do Sul (CREAS)*, que tem como objetivo melhorar a eficiência das projeções de mudanças climáticas e de seus prováveis impactos sobre a produção agrícola. Utilizamos alguns dos modelos climáticos regionais e globais (MCRs e MCGs) adotados pelo CREAS para que os resultados deste estudo contribuam e se beneficiem desse projeto.
2. Enquanto os estudos anteriores utilizaram um único MCG e um MCR para prever os impactos nacionais e subna-

cionais, este estudo combinou modelos globais e regionais de alta resolução com conjuntos de dados de longo prazo hidrometeorológicos e de uso do solo para melhorar a calibração dos resultados do modelo climático. A integração entre os diferentes modelos climáticos e as fontes de dados proporcionou uma análise e uma síntese mais refinadas nas escalas subnacionais e também permitiu a identificação de lacunas nos dados essenciais como, por exemplo, densidade hidrometeorológica.

3. A implementação deste estudo exigiu uma colaboração ativa entre pesquisadores, agrônomos, professores e estudantes dos principais órgãos nacionais brasileiros como a EMBRAPA (agropecuária), a UNICAMP (modela-

gem climática), o INPE (modelagem espacial e meteorológica de mesoescala) e o ICONE (modelagem econômica). Agora a rede de profissionais poderá continuar a aperfeiçoar e ajustar as análises e os modelos integrados agroecológicos, biofísicos e econômicos desenvolvidos para este estudo. A inclusão da UNICAMP também estabelece as bases para a capacitação da próxima geração de modeladores climáticos no Brasil e na região da América Latina e do Caribe.

- Este estudo avaliou a vulnerabilidade e os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola brasileira partindo de valiosos trabalhos conduzidos na última década no Brasil e na região da América Latina e do Caribe. Os resultados deste relatório confirmam e ampliam as descobertas dos trabalhos anteriores, sugerindo que as alterações no clima podem exercer impactos cada vez mais significativos e em sua maior parte negativos sobre os principais sistemas de pasta-

gem e de cultivo de grãos no Brasil. Por exemplo, em comparação com o estudo anterior de Assad e Pinto (2008), que utilizou um MCG e um MCR e projetou substanciais impactos negativos na soja, no trigo, no milho e nos sistemas de pastagem, este estudo que usa uma série de MCGs e MCRs, além de muito melhores dados hidrometeorológicos e de adequação da terra, mostrou que, enquanto as projeções dos impactos climáticos sobre algumas culturas (soja e algodão) tendem a ser mais moderadas, sobre outras (feijão e milho) eles podem ser muito mais graves que do que a projeção contida no estudo de 2008. A tabela abaixo destaca essas diferenças em 2020 e ilustra, ao menos parcialmente, o valor do emprego de conjuntos de dados mais significativos sobre o clima, a terra e a água para que se possa realizar análises mais diferenciadas e eficientes das metodologias de modelagem das mudanças climáticas.

COMPARAÇÃO Área de baixo risco (%)	2020			
	Modelo PRECIS de Assad e Pinto (2008)		Séries de MCGs e MCRs	
	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista
Algodão	-11.4	-11.7	-4.6	-4.8
Arroz	-8.41	-9.7	-9.9	-7.4
Cana-de-açúcar	170.9	159.7	107	101
Soja	-21.62	-23.59	-13	-24
Feijão (safra de verão)			-54.3	-55.5
Feijão (safra de outono)	-4.3	-4.3	-63.7	-68.4
Trigo (safra de verão)			-12	-19
Trigo (safra de outono)	-4.3	-4.3	-6.1	-13

5. A combinação do impacto climático sobre os dados agrícolas acima com um instrumento de simulação econométrica – o Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (BLUM – *Brazilian Land Use Model*) – revelou os seguintes resultados prováveis nas escalas sub-regionais e nas localizações geográficas:
- a. Na ausência de mudanças climáticas, a área alocada para a agropecuária deverá aumentar em 17 milhões de hectares em 2030, comparadas àquelas observadas em 2009. No entanto, devido aos impactos das alterações climáticas, todos os cenários simulados levam a uma redução dessas áreas em 2020 e 2030.
 - b. No cenário pessimista, o Brasil poderá contar com menos 10,6 milhões de hectares de terra destinada à agricultura em 2030 como resultado das mudanças climáticas. A região Sul será a mais afetada, podendo perder quase 5 milhões de hectares em 2030.
 - c. Contudo, é importante notar que a substituição das pastagens pelas culturas de grãos e cana-de-açúcar compensa parcialmente as perdas previstas nas áreas cultiváveis e nas culturas de grãos. Os legisladores e o mercado irão determinar em parte a adaptação à perda das terras aptas à lavoura resultante das mudanças climáticas por meio da substituição das áreas de pastagens atualmente de baixa produtividade pelo cultivo de grãos e cana-de-açúcar. As projeções sugerem que também poderá haver uma redistribuição regional em que algumas culturas de grãos se deslocarão do Sul para a região central do Brasil.
 - d. Quanto à produção brasileira de grãos, as simulações preveem uma redução em torno de 4,6 milhões de toneladas em 2030 nos cenários pessimistas, em relação ao cenário de referência. Conforme esperado, o cenário otimista prognostica um reduzido impacto das mudanças climáticas e um declínio de 2,7 milhões de toneladas na produção em 2030, comparado à linha de base.
 - e. Apesar da queda prevista na produção de grãos na região Sul em torno de 8,9 milhões de toneladas em 2030, de acordo com o cenário pessimista e em relação à linha de base, o Centro-Oeste, o Cerrado do Nordeste e o Norte -Amazônia deverão aumentar a produção de grãos em 4,4 milhões de toneladas em 2030 nesse mesmo cenário, em comparação à linha de base. Ou seja, a redistribuição da produção regional diminuirá quase à metade os impactos negativos das mudanças climáticas sobre os grãos.
 - f. Embora a projeção mostre uma redução na área de pastagem, a produção de carne bovina deverá diminuir em quantidade muito menor do que o pasto, como resultado da intensificação tecnológica. A queda na produção de carne bovina no Brasil poderá ser de 7% em todos os cenários simulados para 2030 comparado

- ao cenário de referência, mas as simulações preveem que, comparada à linha de base de 2009, é possível que a produção de carne bovina continue a aumentar até 2030 em todos os cenários e esse incremento poderá ser superior a 2 milhões de toneladas.
- g. Os preços dos produtores de carne bovina deverão aumentar acima de 25% em todos os cenários, mostrando que a intensificação do uso das pastagens e da produção pecuária poderá levar a um aumento de preços, com vistas a compensar os investimentos para elevar a produtividade.
 - h. Em geral, as quedas na produção deverão afetar os preços, a demanda doméstica e as exportações líquidas desses produtos. Na ausência de mudanças climáticas, a previsão é de aumento do consumo interno de todas as commodities em 2020 e 2030, em relação a 2009. No entanto, as simulações em todos os cenários de mudança climática sugerem que, quando comparadas à linha de base de 2009, esse fenômeno poderá reduzir o consumo de quase todas as commodities, especialmente os grãos e o etanol. A principal causa desse declínio é a elevação dos preços reais de todas as commodities, quando a disponibilidade de terra para a produção agrícola sofrer uma redução devido às mudanças climáticas. Os cenários pessimista e BRAMS projetam as retrações mais substanciais no consumo doméstico, em relação à linha de base.
 - i. As estimativas mostram que, ao contrário das previsões anteriores de redução do valor da produção agrícola, os impactos negativos sobre a oferta de commodities deverá resultar em preços significativamente mais elevados de alguns produtos, especialmente os alimentos básicos como arroz, feijão e todos os produtos de carne. Isto irá compensar o efeito de queda da produção sobre o valor da produção agrícola, mas poderá exercer grandes impactos negativos sobre a população mais pobre e o seu consumo desses produtos básicos. Vale ressaltar que a carne bovina e o óleo de soja respondem por quase 50% do valor total previsto para a produção agropecuária brasileira.
6. É importante elucidar que o nosso estudo não simulou o potencial efeito dos avanços tecnológicos (novas variedades, melhor e maior acesso à irrigação, manejo mais eficiente da terra e da água) como medidas de adaptação utilizadas para compensar os impactos negativos previstos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola como, por exemplo:
- a. O governo brasileiro e o setor privado vêm facilitando a adoção de melhores práticas agrícolas que promovem a conservação como plantio direto e sistemas mais eficientes em termos de recursos como, por exemplo, os planos de integração lavoura-pecuária que são por natureza mais resistentes aos choques climáticos do que algumas culturas intensivas.

- b. O governo está concedendo crédito e financiamento para o recém-lançado programa Agricultura de Baixo Carbono, tendo disponibilizado cerca de US\$ 1 bilhão para crédito com juros baixos apenas em 2011.
7. Neste estudo, as nossas iniciativas para acessar os mais recentes dados hidrometeorológicos e de uso da terra disponíveis melhorou de modo significativo a nossa capacidade de realizar modelagens e projeções de impacto mais eficientes. No entanto, a falta de dados sobre o clima de boa qualidade e longo prazo está prejudicando os esforços regionais e locais de modelagem climática, bem como a calibração e a validação das projeções atuais que estão sendo utilizadas para informar as decisões sobre políticas e investimentos em 2050 e posteriores. Como os fatores que influenciam nas mudanças climáticas operam tanto no interior quanto no exterior das fronteiras nacionais, há uma necessidade urgente de investimentos coordenados e direcionados a esse fenômeno nos próximos um a cinco anos para instrumentação, coleta, compartilhamento e sistemas de acesso aos dados. Os órgãos nacionais, bilaterais e multilaterais de investimento precisam coordenar suas estratégias nesse sentido a fim de apoiar essa necessidade específica e urgente.
8. A necessidade de melhores avaliações integradas do impacto das mudanças climáticas é especialmente urgente no setor agrícola. Uma recente pesquisa realizada pela Empresa Brasileira de Agricultura e Pesquisa Animal (EMBRAPA) revelou que, mesmo contando com técnicas de reprodução avançadas, gasta-se em torno de 10 anos de pesquisa e desenvolvimento (incluindo 2 a 3 anos para ampliar a produção e distribuir sementes) com custos na faixa de 6 a 7 milhões de dólares para desenvolver, testar e lançar uma nova cultivar ou variedade de cultura que seja resistente ao calor e/ou à seca.
9. Os resultados deste estudo serão incorporados ao Modelo de Zoneamento Agroecológico da EMBRAPA/UNICAMP para melhorar a simulação e as projeções dos impactos das mudanças climáticas que servem de base aos programas nacionais de crédito e seguro agrícola no Brasil. Isto significa que os resultados do estudo vão começar a ter implicações imediatas e de longo alcance nas operações e nas políticas brasileiras. As experiências do Brasil são altamente relevantes para outras regiões e países, onde um trabalho semelhante está sendo conduzido, e podem tanto enriquecer quanto se beneficiar de outras práticas regionais por meio de programas de intercâmbio Sul-Sul.

Bibliografia



Anderson, K e E. Reis. (2007). *The Effects of Climate Change on Brazilian Agricultural Profitability and Land Use: Cross-Sectional Model with Census Data*. Final report to WHRC/IPAM for LBA project Global Warming, Land Use, and Land Cover Changes in Brazil.

Assad, E e H. Pinto. (2008). *Global warming and future scenarios for Brazilian Agriculture*. EMBRAPA e CEPAGRI/UNICAMP. - www.climaeagricultura.org.br EMBRAPA e CEPAGRI/ UNICAMP.

Cline, W.R. (2007). *Global Warming and Agriculture: Impact Assessment by Country*. Washington DC: Centre for Global Development and Peterson Institute for International Economics.

Costa, C. et al. *Evolução das pastagens cultivadas e do efetivo bovino no Brasil*.

Arq. Bras. Med. Veter. Zoot., v. 15, n. 1, p. 8-17, 2008.

De Gouvello, C. (2010). *Brazil Low-carbon Country Case Study*. The World Bank, Washington, DC.

Decker, W.L., V. Jones e R. Achtuni. (1986). *The Impact of Climate Change from Increased Atmospheric Carbon Dioxide on American Agriculture*. DOE/NBB-0077. Washington, DC: U.S. Department of Energy.

Dêschenes, Olivier e Michael Greenstone. (2007). "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather". *American Economic Review*, 97(1): 354-85.

- Doorenbos**, J.; Kassan, A.H. *Yield response to water*. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)
- Evenson**, R.E. e D.C.O. Alves (1998). "Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture". *Planejamento e Políticas Públicas*, 18.
- Fernandes**, ECM, Soliman, A., Confalonieri, R., Donatelli, M. e Tubiello, F. (2011). *Climate change and agriculture in Latin America (2020-2050)*. The World Bank, Washington, DC.
- Freitas**, S. R., Longo, K. M., Silva Dias, M. A. F., Chatfield, R., Silva Dias, P., Artaxo, P., Andreae, M. O., Grell, G., Rodrigues, L. F., Fazenda, A. e Panetta, J. "The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 1: Model description and evaluation". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 2843-2861, 2009.
- Frizzone**, J.A. e Olitta, A.F.L. *Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento e na produção do trigo*. Engenharia Rural, Piracicaba, v.1, n.1, p.23-36; 1990.
- Giorgi**, F., B. Hewitson, J. Christensen, M. Hulme, H. von Storch, P. Whetton, R. Jones, L. Mearns e C. Fu, 2001. "Regional climate information – evaluation and projections". In: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. of global climatic changes". *Journal of Hydrology*, 88(1-2), pp.97-116.
- Golub**, A. T.W. Hertel, H. Lee, S. Rose e B. Sohngen (2009), "The Opportunity Cost of Land Use and the Global Potential for Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture and Forestry", *Resource and Energy Economics*, 31(4): 299-319, November.
- Grell**, G. A. e Dezsó Devenyi. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, 29, 14, 2002.
- IPCC** (2001). *Climate change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. Approved in detail at IPCC Plenary XVIII (Wembley, United Kingdom, 24-29 September 2001). World Meteorological Organization and United Nations Environmental Programme.
- Kjellstrom**, T., R.S. Kovats, S.J. Lloyd, T. Holt e R.S.J. Tol (2009), "The Direct Impact of Climate Change on Regional Labour Productivity", *Archives of Environmental and Occupational Health*, 64(4): 217-27, December
- Lobell**, D. B., M. Banziger, C. Magorokosho e B. Vivek (2011), "Nonlinear Heat Effects on African maize as Evidenced by Historical Yield Trials". *Nature Climate Change*, 1: 42-45, March.
- Longo**, K., S. R. Freitas, M. Andreae, A. Setzer, E. Prins e P. Artaxo. "The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: Model

- sensitivity to the biomass burning inventories". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010 (no prelo).
- Margulis**, S., Dubeux, C. B. S. e Marcovitch, J. (Coord.) (2010). *Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades*. IBEP, São Paulo
- Margulis**, S. e Dubeaux, C. B. S. *The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities*. Coord. Marcovitch, J. 84 p. 2011. FEA/USP. Embaixada Britânica.
- Marin**, F. R. ; Pandorfi, H.; Ferreira, A. S. . "Estimativa das temperaturas máximas, mínimas e médias para o Brasil". In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2003, Santa Maria, RS. *Anais do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2003. v. 2. p. 761-762.
- Maskell** e C.A. Johnson (eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. pp. 583-638.
- Mendelsohn**, R., W. Nordhaus e D. Shaw (1994). "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis". *American Economic Review*, 84(4): 753-71
- Mendelsohn**, Robert, William D. Nordhaus e Daigee Shaw (1999). "The Impact of Climate Variation on US Agriculture". In *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, ed. Robert Mendelsohn and James E. Neumann, 55-74. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nassar**, A. M.; Antoniazzi, L. B.; Moreira, M. R.; Chiodi, L. e Harfuch, L. 2010a. *An Allocation Methodology to Assess GHG Emissions Associated with Land Use Change: Final Report*. ICONE, September 2010. <http://www.iconebrasil.org.br/arquivos/noticia/2107.pdf>
- Nelson**, G.C., M.W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson, S. Tokgoz, T. Zhu, T.B. Sulser, C. Ringler, S. Msangi e L. You. (2010). *Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options*. Washington DC: International Food Policy Research Institute, December.
- Pinto**, Hilton S. e Assad, Eduardo D. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil*. Embaixada Britânica do Brasil. 82 pp. 2008.
- Pinto**, Hilton S. e Assad, Eduardo D. (2008) *Global Warming and the New Geography of Agricultural Production in Brazil*. http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento_agricola_en.html
- Sanghi**, A., D. Alves, R. Evenson e R. Mendelsohn. (1997). "Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model". *Economia Aplicada*, v.1, n.1, 1997.
- Santos**, M. E. R. et al. "Produção de bovinos em pastagens de capim-braquiária diferidas". *Revista Brasileira de Zootecnia* [online]. 2009, vol.38, n.4, pp. 635-642. ISSN 1806-9290.
- Schlehuber**, A.M.; Tucker, B.B. Culture of wheat. In: QUISENBERRY, K.S.; REITS,

- L.P., (Ed.). Wheat and wheat improvement. Madison: Am. Soc. Of Agronomy, 1967. p.154-160.
- Siqueira**, O.J.F. de, J.R.B. de Farias e L.M.A. Sans. (1994). "Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture, and adaptive strategies for wheat, maize, and soybeans". *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2 pp. 115-129.
- Valenzuela**, E. e Anderson, K. (2011) *Climate Change and Food Security to 2030: A Global Economy-wide Perspective*. Discussion paper No. 1102. Center for International Economic Studies, University of Adelaide. April.
- van der Mensbrugghe**, D. e R. Roson (2010), "Climate, Trade and Development", Paper presented at the 13th Global Economic Analysis Conference, Penang, 9-11 June.
- Walko R.**, Band L., Baron J., Kittel F., Lammers R., Lee T., Ojima D., Pielke R., Taylor C., Tague C., Tremback C. e Vidale P. "Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling". *Journal of Applied Meteorology*. 39: (6) 931-944, 2000.

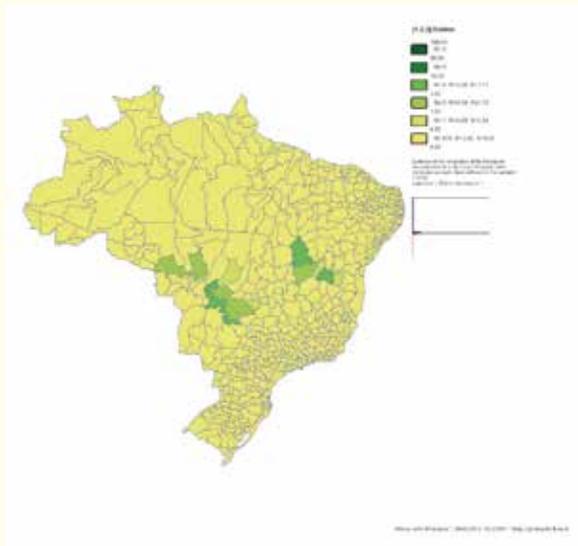
Anexo A – Mapas de resultados por microrregião

Figura 1a. Área plantada de 2009 a 2030: Algodão

2009



2030 Cenário de Referência

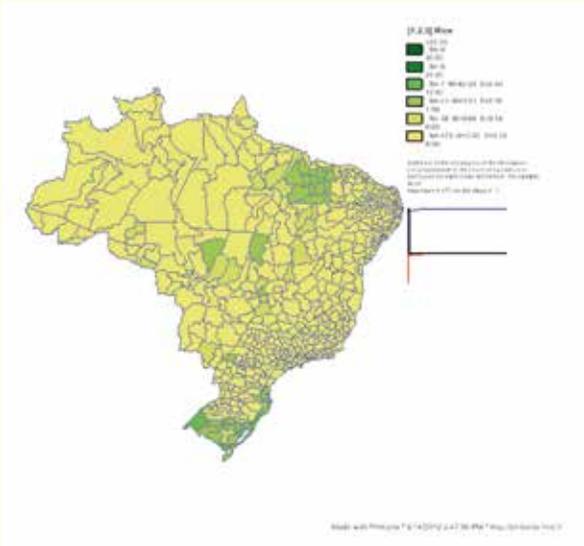


2030 Cenário Pessimista

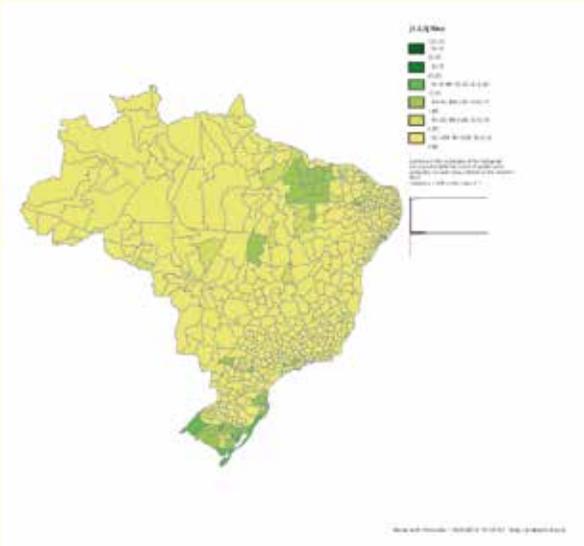


Figura 2a. Área plantada de 2009 a 2030: Arroz

2009



2030 Cenário de Referência



2030 Cenário Pessimista

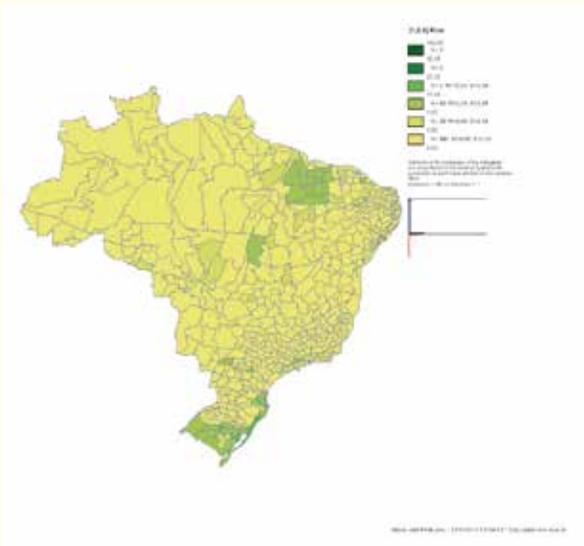


Figura 3a. Área plantada de 2009 a 2030: Cana-de-açúcar

2009



2030 Cenário de Referência



2030 Cenário Pessimista



Figura 5a. Área plantada de 2009 a 2030: Milho (primeira safra)

2009



2030 Cenário de Referência

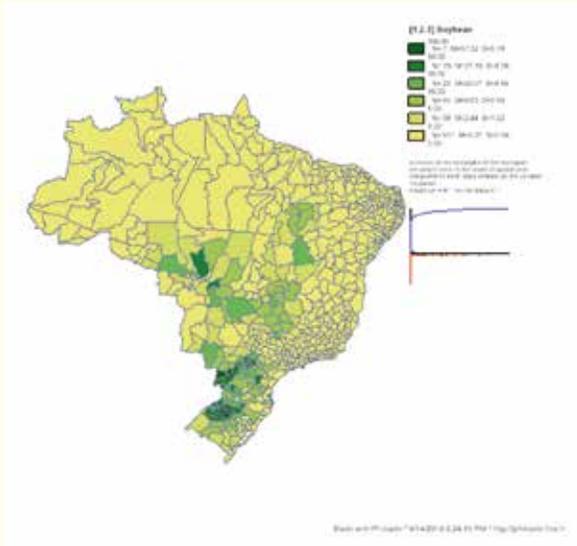


2030 Cenário Pessimista

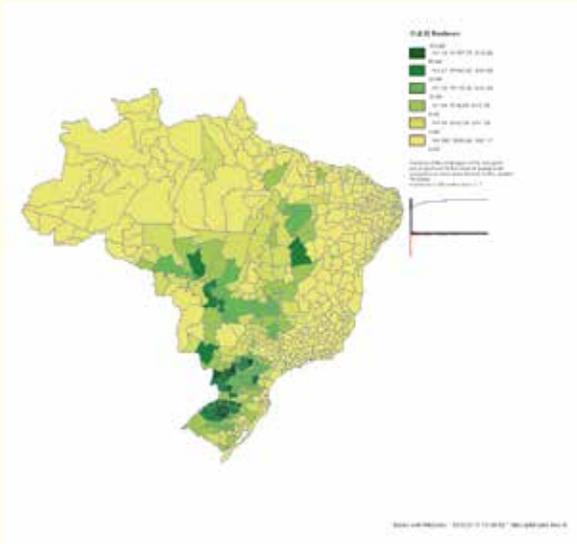


Figura 7a. Área plantada de 2009 a 2030: Soja

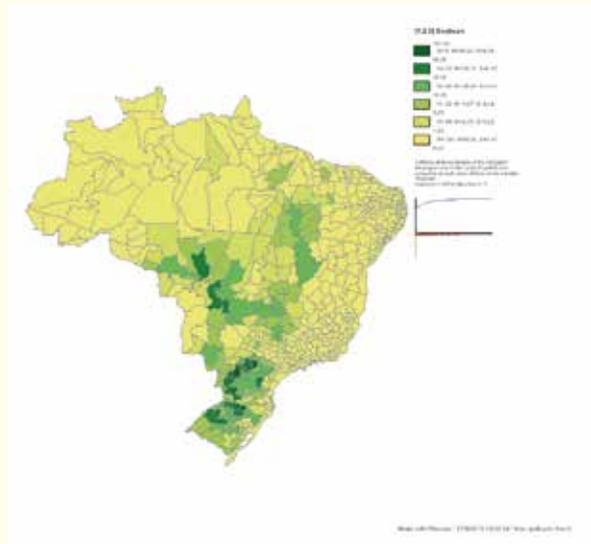
2009



2030 Cenário de Referência



2030 Cenário Pessimista



Reconhecimento

Este trabalho foi financiado pelo Programa de Florestas (PROFOR), uma parceria de multi-doadores, gerido por uma equipe central do Banco Mundial. O PROFOR financia análises e processos ligados à questão florestal os quais buscam dar suporte aos seguintes objetivos: melhorar a vida das pessoas através de uma melhor gestão das florestas e árvores; melhorar a governança florestal e aplicação da lei; financiar o manejo florestal sustentável e coordenar as políticas florestais em todos os setores. Dentre os doadores do Profor destacam-se: Comissão Europeia, Finlândia, Alemanha, Itália, Japão, Holanda, Suíça, Reino Unido e do Banco Mundial. Saiba mais em www.profor.info.



The World Bank
1818 H Street, NW,
Washington, DC 20433, USA.
www.worldbank.org

