

# O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA LUCRATIVIDADE DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NO BRASIL\*

José Feres\*\*  
Eustáquio J. Reis\*\*\*  
Juliana Speranza\*\*\*\*

## 1 INTRODUÇÃO

Há evidências científicas cada vez mais consistentes de que o aumento de concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera conduzirá a temperaturas mais elevadas e a variações no regime de chuvas ao longo do século XXI. Essas mudanças, por sua vez, deverão acarretar impactos econômicos significativos sobre diversos setores de atividade.

Neste contexto, o setor agropecuário destaca-se como particularmente sensível aos efeitos das mudanças climáticas. Em regiões onde são registradas baixas temperaturas, o aquecimento global pode criar condições climáticas mais propícias a práticas agropecuárias e levar a um aumento da produtividade do setor. Nessas regiões, a adaptação dos produtores rurais a condições climáticas mais favoráveis poderá levar ao avanço das áreas de lavoura e à conversão de florestas em áreas agrícolas, acelerando o processo de desmatamento. Já em regiões de clima quente, onde as altas temperaturas estão próximas ao limite de tolerância das culturas agrícolas, o aquecimento global poderá acarretar quedas de produtividade agrícola.

A perspectiva de queda de produtividade é uma questão crítica em países de clima tropical, como o Brasil. De fato, a agricultura brasileira é particularmente vulnerável aos efeitos do aquecimento global, uma vez que boa parte da produção está localizada em regiões de temperaturas elevadas. O potencial declínio da produtividade e da renda agrícola, por sua vez, poderá ter um expressivo impacto negativo sobre o desenvolvimento econômico, aumentar a pobreza e reduzir os níveis de bem-estar da população rural. Nesse contexto, avaliar o impacto econômico das mudanças climáticas sobre as atividades agrícolas é de fundamental importância para auxiliar a formulação de estratégias de adaptação para o setor.

\* Este artigo é uma versão resumida de Féres, Reis e Speranza (2010). Os autores agradecem a Thais Barcellos pelo eficiente trabalho de assistência a esta pesquisa.

\*\* Técnico de Planejamento e Pesquisa da Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura – DISET/Ipea.

\*\*\* Técnico de Planejamento e Pesquisa do Gabinete da Presidência – GABIN/Ipea.

\*\*\*\* Bolsista do Programa de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) do Ipea.

Este artigo propõe-se avaliar os efeitos de longo prazo das mudanças climáticas globais sobre a lucratividade das atividades agrícolas no Brasil. Para tanto, são apresentadas simulações baseadas nas projeções dos modelos climatológicos utilizados no *Terceiro Relatório de Avaliação* do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas<sup>1</sup> (IPCC, 2001a).

O trabalho está organizado da seguinte forma. Após esta seção introdutória, a segunda seção apresenta uma revisão bibliográfica da literatura empírica acerca dos impactos econômicos das mudanças climáticas sobre as atividades agrícolas. A terceira seção apresenta os resultados das simulações dos efeitos das mudanças climáticas globais sobre a lucratividade agrícola. Por fim, a quarta seção resume as principais conclusões.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Existe uma vasta literatura econômica sobre os efeitos das mudanças climáticas globais na agricultura. Os estudos pioneiros adotaram a chamada “abordagem da função de produção” (DECKER; JONES; ACHUTUNI, 1985; ADAMS, 1989; entre outros). Esta abordagem, também denominada “modelo agrônômico”, especifica a função de produção de determinada cultura e analisa de que forma mudanças nas variáveis climáticas afetam a produtividade da planta. A abordagem da função de produção permite estimar sem viés os efeitos da variação dos fatores climáticos sobre a produtividade de uma cultura específica, uma vez que todos os demais fatores que influenciam a produtividade são mantidos fixos durante o experimento. Contudo, estes modelos estritamente agrônômicos não levam em conta as diferentes possibilidades de adaptação dos agricultores frente a variações do clima. Em resposta a um aumento de temperatura, os agricultores podem mudar a quantidade de fertilizante utilizado, ou abandonar o cultivo de determinado produto e passar a produzir culturas mais tolerantes a temperaturas elevadas. Como tais estratégias adaptativas não são consideradas no modelo agrônômico, esta abordagem tende a sobreestimar o impacto das mudanças climáticas no setor agrícola.

O modelo hedônico<sup>2</sup> proposto por Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994) procura corrigir a tendência à sobreestimação observada nos modelos agrônômicos. Em vez de analisar o impacto das variáveis climáticas sobre uma cultura específica, os autores examinam como o clima, em diferentes áreas geográficas, afeta o valor das terras agrícolas. O modelo hedônico pressupõe que os mercados de terra são eficientes e, portanto, o preço da terra reflete o fluxo descontado das rendas agrícolas futuras. Estes modelos consideram ainda que os produtores rurais alocam suas terras para os usos mais lucrativos levando em conta as condições econômicas e agroclimáticas e, desta forma, o preço da terra seria capaz de incorporar também o efeito do clima sobre a atividade agrícola. Logo, a abordagem hedônica abrange tanto os impactos diretos do clima nos rendimentos de diferentes culturas quanto os impactos indiretos decorrentes da substituição entre culturas face a variações climáticas. Diversos estudos aplicaram a abordagem hedônica para analisar o setor agrícola norte-americano (MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1999; SCHENKLER; HANEMANN; FISHER, 2005, 2006; dentre outros), obtendo resultados bastante divergentes quanto à magnitude do impacto das mudanças climáticas sobre o preço da terra.

A abordagem hedônica foi recentemente criticada por Dêschenes e Greenstone (2007). Segundo estes autores, as estimações dos modelos hedônicos estão sujeitas ao viés de variável omitida, uma vez que variáveis não observadas excluídas da especificação dos modelos hedônicos podem estar correlacionadas com as variáveis climáticas. Desta forma, os coeficientes

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

2. O modelo hedônico também recebe a denominação de abordagem ricardiana.

das variáveis climáticas estariam incorporando os efeitos das variáveis omitidas e forneceriam estimativas viesadas do impacto dos fatores climáticos sobre o preço da terra.

Dêschenes e Greenstone (2007) propuseram um modelo de efeitos fixos que explora a variação aleatória da temperatura e da precipitação ao longo dos anos para estimar os impactos das mudanças climáticas sobre o lucro e a produtividade agrícola. Os efeitos atribuídos aos fatores climáticos são identificados a partir de desvios de temperatura e precipitação observados em determinado ano em relação às suas médias históricas. Esses desvios não podem ser antecipados pelos produtores agrícolas, e são, portanto, supostamente ortogonais aos determinantes não observáveis dos lucros agrícolas. Desta forma, o modelo oferece uma possível solução ao problema de viés de variável omitida apresentado pela abordagem hedônica. As estimações de Dêschenes e Greenstone (2007) sugerem que as mudanças climáticas conduzirão a um aumento de 4,0% nos lucros anuais do setor agrícola norte-americano. Dêschenes e Greenstone (2007) estimaram ainda um modelo hedônico e verificaram que os resultados encontrados não são robustos a mudanças na especificação do modelo. Os autores interpretam este resultado como uma evidência empírica da presença de viés de variável omitida no modelo hedônico.

No que tange às aplicações ao setor agrícola brasileiro, o estudo de Sanghi *et al.* (1997) propõe um modelo hedônico para avaliar os efeitos do clima sobre o preço da terra. Os autores estimam os efeitos decorrentes de um aumento uniforme de 2,5 °C da temperatura e de 7% da precipitação em todos os municípios brasileiros. Sanghi *et al.* (1997) encontram um efeito líquido negativo no valor da terra agrícola no Brasil, com reduções entre 2,16% e 7,40% no preço médio da terra.

Os resultados de Sanghi *et al.* (1997), assim como as estimativas pelo método da função de produção apresentadas por Siqueira, Farias e Sans (1994), fornecem evidências empíricas de que os estados situados na região Centro-Oeste serão os mais negativamente afetados pelas mudanças climáticas. De fato, nesta região encontram-se as áreas de cerrado, caracterizadas por elevadas temperaturas e baixa pluviosidade, portanto, bastante vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. Já os estados localizados na região Sul, por possuírem temperaturas mais amenas, poderiam até mesmo se beneficiar moderadamente com o aquecimento.

Evenson e Alves (1998) analisam os efeitos das mudanças climáticas sobre os padrões de uso da terra. Os autores estimam um modelo econométrico de alocação de terra para seis tipos de uso: lavouras temporárias, lavouras permanentes, pastos naturais, pastos plantados, florestas naturais e florestas plantadas. Seus resultados indicam que um aumento uniforme de 3 °C de temperatura e 3% nos níveis pluviométricos levaria a uma redução de 1,84% da área de floresta natural e a um aumento de 2,76% das áreas de pastagem. Os autores avaliam ainda que os ganhos de produtividade agrícola decorrentes do progresso tecnológico poderiam reduzir as perdas de áreas florestais. Desta forma, o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) para o desenvolvimento de cultivares mais resistentes a temperaturas elevadas seria uma estratégia eficaz de adaptação aos efeitos das mudanças climáticas. Assim como nos estudos anteriores para a agricultura brasileira, Evenson e Alves (1998) também identificam as regiões Norte, Nordeste e parte da região Centro-Oeste como as mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. Já municípios localizados nas regiões Sul e Sudeste poderiam se beneficiar com estas mudanças.

Em linhas gerais, a evidência empírica indica que o efeito líquido das mudanças climáticas na agricultura brasileira é negativo, embora existam expressivas variações regionais.

Contudo, há de se observar que estes estudos apresentam algumas limitações. Primeiramente, as simulações a respeito da mudança de clima são baseadas em cenários uniformes de aumento da temperatura e precipitação. Em segundo lugar, estes estudos são baseados em projeções de modelos climatológicos desenvolvidos no início da década de 1990, menos precisos e sujeitos a mais incertezas que os modelos atuais. Por fim, em nosso conhecimento, nenhum trabalho aplicado ao caso brasileiro utilizou o método de efeitos fixos. O presente trabalho busca contribuir para esta literatura ao propor uma análise baseada em projeções climáticas espacialmente diferenciadas a partir de modelos climatológicos mais recentes, bem como apresentar estimativas do impacto das mudanças climáticas a partir do método de efeitos fixos.

### 3 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

A avaliação dos impactos das mudanças climáticas é realizada em dois estágios. Primeiramente, é especificado e estimado o modelo econométrico de efeitos fixos proposto por Dêchenes e Greenstone (2007), cujos coeficientes permitem avaliar de que modo as variações climáticas influenciam a lucratividade das atividades agrícolas. Em seguida, os coeficientes estimados são usados para simular os efeitos das mudanças climáticas sobre a lucratividade agrícola, utilizando-se as projeções dos modelos climatológicos.<sup>3</sup>

O modelo econométrico é estimado a partir de um painel de municípios abrangendo o período 1970-1995. Os dados sobre as atividades agrícolas foram obtidos a partir dos censos agropecuários produzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A lucratividade agrícola é calculada como a diferença entre o total de receitas e despesas, dividida pelo total da área agrícola dos estabelecimentos localizados em determinado município.

A base foi complementada por uma série de informações agroclimáticas. As variáveis agrônomicas foram fornecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Estas incluem tipo de solo, potencialidade agrícola, propensão à erosão e declividade do terreno. Quanto às variáveis climáticas, foram utilizados dados sobre temperatura e precipitação. As informações para o período 1961-1990 foram obtidas a partir do banco de dados do Climate Research Unit (CRU) da Universidade de East Anglia, Inglaterra (<http://www.cru.uea.ac.uk>).<sup>4</sup> As projeções climáticas utilizadas nas simulações foram baseadas na média das temperaturas e precipitações de quatro modelos de circulação geral global usados no *Terceiro Relatório de Avaliação* do IPCC:<sup>5</sup> HadCM3, CSIRO, CCCma e CCRS/NIES. As simulações referem-se às temperaturas e precipitações médias projetadas para os períodos 2040-2070 e 2070-2100. Foram considerados dois cenários de emissões definidos pelo IPCC: o cenário A2, correspondente a uma perspectiva de altas emissões, e o cenário B2, de baixas emissões (ver IPCC, 2001b). Os resultados das simulações encontram-se na tabela 1.

As simulações sugerem que, em nível nacional, os impactos de médio prazo das mudanças climáticas na lucratividade agrícola seriam relativamente modestos. De acordo com as temperaturas e precipitações médias projetadas para o período 2040-2070, a redução na lucratividade agrícola foi estimada em 0,8% para o cenário de baixas emissões B2 e 3,7%

3. Para uma apresentação detalhada do modelo econométrico e descrição da base de dados, ver Féres, Reis e Speranza (2010).

4. Para uma análise do tratamento e método de interpolação adotado pelo CRU na construção da base de dados climática do Brasil, ver Anderson e Reis (2007).

5. A base de dados das projeções climáticas foi fornecida por Wagner Soares, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

para o cenário A2. No entanto, os impactos seriam bem mais expressivos no longo prazo: a perda de lucratividade estimada alcança 26% no caso do cenário A2.

TABELA 1  
**Impacto das mudanças climáticas sobre a lucratividade agrícola no Brasil segundo os cenários de emissões A2 e B2**  
 (Em %)

	Cenário A2	Cenário B2
Variação relativa da lucratividade		
Período 2040-2070	-3,7	-0,8
Período 2070-2100	-26,0	-9,4

Fonte: Féres, Reis e Speranza (2010).

As simulações também sugerem que as consequências das mudanças climáticas irão variar entre as regiões brasileiras. Como observado na tabela 2, a lucratividade das atividades agrícolas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste podem ser severamente afetadas. Já no horizonte de médio prazo 2040-2070, as simulações sugerem perdas de lucratividade entre 20% e 50%. Este resultado pode ser justificado pelo fato de que nestas regiões as atividades agrícolas são realizadas em condições de altas temperaturas, com possibilidades limitadas de adaptação por parte dos produtores rurais. Por outro lado, as simulações apontam que as regiões Sudeste e Sul podem ser ligeiramente beneficiadas pelas mudanças climáticas. De fato, estas regiões se caracterizam por ter um clima mais moderado e terras férteis, possibilitando uma capacidade maior de adaptação a mudanças climáticas.

TABELA 2  
**Impacto das mudanças climáticas sobre a lucratividade agrícola das regiões brasileiras segundo os cenários de emissões A2 e B2**  
 (Em %)

	Cenário A2	Cenário B2
Variação relativa da lucratividade		
Região Norte		
Período 2040-2070	-50,0	-34,8
Período 2070-2100	-124,6	-65,7
Região Nordeste		
Período 2040-2070	-20,4	-14,3
Período 2070-2100	-51,8	-27,8
Região Sudeste		
Período 2040-2070	8,5	8,5
Período 2070-2100	-0,5	6,4
Região Sul		
Período 2040-2070	13,3	9,2
Período 2070-2100	17,3	12,8
Região Centro-Oeste		
Período 2040-2070	-46,0	-23,2
Período 2070-2100	-161,8	-9,4

Fonte: Féres, Reis e Speranza (2010).

#### 4 CONCLUSÃO

Este artigo teve por objetivo estimar os efeitos das mudanças climáticas globais na lucratividade das atividades agrícolas no Brasil. Para tanto, foi estimado o modelo de efeitos fixos proposto por Dêschenes e Greenstone (2007) para um painel de municípios abrangendo o período 1970-1995. Os coeficientes, depois de estimados, foram utilizados para simular

os efeitos das mudanças climáticas segundo os cenários de emissão A2 e B2, definidos no *Terceiro Relatório de Avaliação* do IPCC.

As simulações sugerem que o efeito das mudanças climáticas globais será modesto para a agricultura brasileira a médio prazo: para o clima projetado para o período 2040-2069, as perdas de lucro na agricultura serão na escala de 0,8% a 3,7%. Os efeitos são consideravelmente mais severos para o clima projetado para o período 2070-2099, quando se estimam que as reduções da lucratividade agrícola possam alcançar 26%. Tais resultados sugerem que, embora as consequências das mudanças climáticas globais possam ser amenas a médio prazo, os formuladores de políticas devem estar cientes dos efeitos significativos a longo prazo. Neste sentido, os efeitos modestos no médio prazo não devem ser vistos como um incentivo para não se tomar algumas ações, mas uma oportunidade para a implementação de políticas de adaptação e mitigação.

As simulações também sugerem que as consequências das mudanças climáticas irão variar entre as regiões brasileiras. As regiões Norte e Centro-Oeste poderão ser significativamente prejudicadas pelas mudanças climáticas. Este efeito é previsível, já que em ambas as regiões as produções são realizadas em condições de altas temperaturas. Por outro lado, as regiões Sudeste e Sul podem ser ligeiramente beneficiadas pelas mudanças climáticas.

O fato de os efeitos do aquecimento global serem espacialmente diferenciados no Brasil tem a implicação de que as desigualdades regionais brasileiras, já grandes, podem vir a se tornar ainda maiores, demandando atenção por parte das políticas públicas.

Uma segunda consequência econômica distributiva é que as regiões Centro-Oeste e Norte, nas quais o agronegócio se destaca e expande a fronteira agrícola, são as mais severamente atingidas pelo aquecimento global. Se o setor de agronegócios brasileiro tem sido atualmente importante para equilibrar o balanço de pagamentos do país, diante das perspectivas futuras dos efeitos do aquecimento global, o Brasil deveria repensar a direção do fluxo de investimentos dentro da sua matriz produtiva. No caso do setor agrícola, mesmo com o volume recente de investimentos significativo feito pela Embrapa, entre outras empresas, ainda assim os avanços tecnológicos passados parecem não ser capazes de compensar as perdas causadas pelo aquecimento global. Talvez seja preciso reequipar a indústria nacional para enfrentar a competição no mercado estrangeiro, enquanto nova fonte de divisas.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. Global climate change and agriculture: an economic perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 71, n. 5, p. 1.272-1.279, Dec. 1989.
- ANDERSON, K.; REIS, J. E. *The effects of climate change on Brazilian agricultural profitability and land use: cross-sectional model with census data*. 2007 (Final report to WHRC/IPAM for LBA project Global Warming, Land Use, and Land Cover Changes in Brazil).
- DECKER, W. L.; JONES, V.; ACHUTUNI, R. The impact of CO<sub>2</sub> induced climate change on U.S. agriculture. In: WHITE, M. R. (Ed.). *Characterization of information requirements for studies of CO<sub>2</sub> effects: water resources, agriculture, fisheries, forests and human health*. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, DOE/ER-0236, 1985, p. 69-93.
- DÊSCHENES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *American Economic Review*, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007.

EVENSON, R. E.; ALVES, D. C. O. Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture. *Planejamento e Políticas Públicas*, n. 18, dez. 1998.

FERES, J.; REIS, J. E.; SPERANZA, J. Climate change, land use patterns and deforestation in Brazil. WORLD CONGRESS OF ENVIRONMENTAL AND RESOURCE ECONOMISTS, 4. 2010, *Proceedings...* Montreal, Canada: EAERE, 2010.

IPCC. *Climate change 2001: synthesis report*. Summary for policymakers. Approved in detail at IPCC Plenary XVIII. Wembley, United Kingdom: World Meteorological Organization and United Nations Environmental Programme 24-29 Sept. 2001a.

\_\_\_\_\_. *Climate change 2001: working group III: mitigation*. From the Third Assessment Report (TAR). World Meteorological Organization and United Nations Environmental Programme. 2001b. Disponível em: <[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg3/341.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg3/341.htm)>

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W.; SHAW, D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *American Economic Review*, v. 84, n. 4, p. 753-771, 1994.

\_\_\_\_\_. The impact of climate variation on U.S. agriculture. In: MENDELSON, R.; NEUMANN, J. E. *The impact of climate change on the United States economy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 55-74.

SANGHI, A. *et al.* Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. *Economia Aplicada*, v. 1, n. 1, 1997.

SCHENKLER, W.; HANEMANN, W. M.; FISHER, A. C. Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *American Economic Review*, p. 395-406, Mar. 2005.

\_\_\_\_\_. The impact of global warming on U.S. agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions. *Review of Economics and Statistics*, v. 88, n. 1, p. 113-125, 2006.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B. de; SANS, L. M. A. 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, p. 115-129, 1994.