

EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SETOR AGRÍCOLA DO ESTADO DE MINAS GERAIS^{1 2}

Dênis Antônio da Cunha³

Darline Ingrid dos Reis⁴

RESUMO: Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos das mudanças climáticas sobre o setor agrícola de Minas Gerais. Metodologicamente, foi utilizado o modelo Ricardiano, que permitiu estimar como as alterações do clima, em diferentes localidades, poderão afetar o valor da terra dos produtores. As projeções de mudança climática foram baseadas nas previsões de temperatura e precipitação dos cenários A1B e A2 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Em termos médios, os resultados indicaram que, em todos os períodos de simulação, o valor da terra dos produtores mineiros poderá apresentar uma pequena elevação (de, no máximo, 0,31% em relação ao período atual). Esse resultado, entretanto, não deve gerar a falsa impressão de que a agricultura de Minas Gerais não seria afetada pelas mudanças climáticas. Pelo contrário, quando se desagregam os resultados, verifica-se que aproximadamente 60% dos municípios poderão sofrer elevadas perdas, que poderão chegar a R\$24 milhões já em 2020. Portanto, os formuladores de políticas devem observar atentamente as avaliações de impacto de modo a identificar as opções de adaptação mais eficazes, sendo necessário programar ações locais e descentralizadas, o que permitirá mais flexibilidade e resultados mais benéficos localmente.

Palavras-chaves: Mudanças Climáticas, Agricultura, Modelo Ricardiano, Minas Gerais.

¹ Recebido em: 4/6/2012. Aceito em: 20/8/2013.

² Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Fapemig, pela assistência financeira, ao Núcleo de Estudos e Modelos Espaciais Sistêmicos - Nemesis/Ipea) e a Eustáquio José Reis, pela disponibilização das bases de dados climáticos e agrônômicos.

³ Doutor em Economia Aplicada. Professor Adjunto do Departamento de Economia Rural. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: denis.cunha@ufv.br

⁴ Estudante de Graduação em Ciências Econômicas. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: darline.reis@ufv.br

ABSTRACT: This paper aimed to analyze the effects of climate change on the agricultural sector of Minas Gerais. Methodologically, we used the Ricardian model, which allowed us to estimate how changes in climate, in different counties, may affect the farmers' land values. The climate change projections were based on forecasts of temperature and precipitation (A1B and A2 scenarios) of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In all simulation periods, on average, the results indicated that the land values may have a small increase. However, this result should not give the false impression that agriculture in Minas Gerais would not be adversely affected by climate change. When we consider the regional results, approximately 60% of the counties may suffer high losses, and these may reach R\$24 million in 2020. Therefore, policymakers should closely observe the impact assessments in order to identify the most effective adaptation options. It will be necessary to program local and decentralized actions, allowing more flexibility and more beneficial results locally.

Keywords: Climate Change, Agriculture, Ricardian Model, Minas Gerais.

1. Introdução

A análise das mudanças climáticas e suas consequências têm sido um dos principais desafios da comunidade científica nos últimos anos. A maior parte dos especialistas em clima concorda que a temperatura do planeta está mais elevada. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization, WMO, 2013), a primeira década do século XXI apresentou as temperaturas médias mais altas já observadas no registro instrumental da temperatura da superfície da global (desde 1850). A temperatura média global entre 2001-2010 foi estimada em 14,47°C, valor que está 0,21°C acima da média entre 1991-2000, que, por sua vez, já havia sido 0,14°C mais quente do que a década anterior.

O aumento das concentrações atmosféricas dos chamados gases de efeito estufa (GEEs) é apontado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) como a causa primária da alteração na temperatura. As emissões de natureza antrópica têm sido importante determinante desta tendência. De fato, a utilização de combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão, bem como o desmatamento de áreas naturais, contribui significativamente para as emissões dos GEEs, cujas

concentrações na atmosfera têm crescido rapidamente desde a revolução industrial. De valores pré-industriais de 280 partes por milhão (ppm), a concentração de CO_2 na atmosfera global aumentou para 389 ppm em 2010 (WMO, 2013). Além disso, na ausência de ações de mitigação, há previsões de que em 2025 essas emissões possam ser 50% maiores que as atuais (BAUMERT et al., 2005). Por essa razão, parcela expressiva dos pesquisadores concorda que a ação humana está acelerando o processo.

A compreensão dos efeitos das mudanças climáticas exige análises regionais e para setores econômicos específicos, já que seus impactos são muito distintos em termos locais e setoriais (STERN, 2008). O setor agrícola, por depender diretamente de temperatura e precipitação, é um dos mais vulneráveis à mudança climática. Mesmo com todos os avanços tecnológicos, as condições ambientais ainda são fatores-chave para a produtividade agrícola (DESCHÊNES; GREENSTONE, 2007; FISHER et al., 2009)⁵.

Embora não haja consenso sobre o exato impacto das mudanças climáticas no setor agrícola, aceita-se, em geral, que países em desenvolvimento terão maiores perdas. Uma das explicações para isso é a sua localização predominantemente em baixas latitudes, onde as temperaturas já estão próximas ou acima dos níveis ótimos para a agricultura. Em regiões tropicais, até mesmo elevações moderadas na temperatura levarão a perdas de produtividade. Além disso, como o setor é responsável por parcela expressiva da renda das nações em desenvolvimento, um dado percentual de redução no potencial agrícola levaria a prejuízos mais elevados do que nas economias desenvolvidas (CLINE, 2007; STERN, 2007).

A seca na fase inicial das culturas (semeadura, germinação e emergências de plântulas) e o excesso de chuva na colheita respondem por parcela expressiva da redução das safras na agricultura brasileira (GÖPFERT

⁵ Deve-se notar que as atividades agropecuárias não apenas sofrem os efeitos das mudanças climáticas, mas também as influenciam. Segundo o IPCC (2007), os aumentos da concentração de metano e de óxido nitroso são devidos, principalmente, à agricultura. Além disso, o setor é responsável por aproximadamente 13,5% das emissões anuais de CO_2 -eq (gás carbônico equivalente, unidade-padrão que mede a capacidade de contribuir para o aquecimento global de todos os GEE, em quantidade de CO_2).

et al., 1993). Além disso, segundo Pinto et al. (2003), o Brasil, com sua extensa dimensão continental, caracteriza-se por considerável heterogeneidade climática, apresentando, portanto, condições favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento de determinadas culturas. Esses fatores fazem com que o setor agrícola nacional seja particularmente susceptível às alterações climáticas.

Segundo Batalha e Scarpelli (2005), a importância do setor agrícola está ligada, fundamentalmente, ao papel que seus produtos ocupam em qualquer grupo social, sendo que os alimentos, além de serem fundamentais para a vida, estão ligados a fatores sociológicos, antropológicos e psicológicos que conferem valores comportamentais e identidade cultural a uma população.

Especificamente, o setor agrícola é de grande importância para o estado de Minas Gerais. Segundo Barros et al. (2012), o agronegócio mineiro cresceu 0,27% no período de janeiro a dezembro de 2012, o que elevou a renda estimada em 2012, a preços de 2012, para R\$ 132,42 bilhões. Desse valor, R\$ 69,22 bilhões, ou 52,3%, correspondem ao agronegócio da agricultura e R\$ 63,2 bilhões, ou 47,7%, ao agronegócio da pecuária. Esses valores fazem com que o setor represente aproximadamente 10% do agronegócio brasileiro. Entre as atividades agrícolas, merece destaque a produção café, pois o estado é o maior produtor nacional e, conforme a Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA, 2010), também é o maior exportador mundial do grão.

Todavia, esse desempenho favorável pode ser comprometido pelas mudanças climáticas. Para o café, por exemplo, há estimativas de grande redução da produção no estado. De acordo com a Pinto e Assad (2008), o número de municípios que atualmente são aptos à produção de café em Minas pode ser reduzido à metade já em 2020, considerando um cenário menos pessimista de mudança climática.

Nesse contexto, este artigo teve como objetivo a análise dos efeitos das mudanças climáticas sobre o setor agrícola de Minas Gerais. Especificamente, procurou-se identificar qual será o possível impacto das

mudanças futuras no clima sobre o valor da terra dos produtores mineiros por meio de simulações em diferentes períodos e cenários climáticos.

O estudo espera contribuir para o aumento do conhecimento sobre o tema numa perspectiva estadual. Ainda que existam estimativas dos impactos no setor agrícola em nível nacional, a importância deste estudo reside no fato de que praticamente inexistem estudos regionais. As análises precisam ser desmembradas e detalhadas para aplicação em nível local. O aumento do conhecimento está diretamente ligado à capacidade do governo de obter as informações necessárias e definir políticas e incentivos apropriados.

De acordo com Margulis e Dubeux (2010), ainda que o nível de incerteza sobre a magnitude do aquecimento global seja grande, não há dúvidas sobre a inexorabilidade da mudança do clima. Dessa forma, os tomadores de decisão no Brasil devem identificar e pôr em prática, apoiando-se na maior quantidade de conhecimento científico possível, as opções de políticas públicas que sacrifiquem o mínimo possível de recursos futuros e ao mesmo tempo produzam o máximo de benefícios à sociedade. Portanto, pretende-se fornecer subsídios para futuras políticas públicas que visem a mitigar os impactos das mudanças climáticas no setor agrícola de Minas Gerais, dada sua grande importância social e econômica.

Além desta introdução, este artigo contém mais quatro seções. A segunda apresenta a metodologia, em que será descrito o referencial analítico; a terceira contém a descrição das variáveis e a fonte dos dados utilizados; a quarta expõe os resultados e discussões; por fim, a última seção se refere às conclusões do estudo.

2. Metodologia

Para estimar os efeitos das mudanças climáticas sobre o setor agrícola mineiro, será utilizado o modelo Ricardiano (ou hedônico) desenvolvido

por Mendelsohn et al. (1994). Esse modelo permite estimar como o clima, em diferentes localidades, afeta a receita líquida dos produtores.

Assume-se que cada produtor escolha entre agricultura, pecuária ou uma combinação entre os dois de modo a maximizar sua receita líquida, sujeita à disponibilidade e ao preço dos insumos (sementes, fertilizantes, pesticidas, trabalho, capital etc.), às características do solo de sua propriedade e a condições climáticas (temperatura e precipitação). Dessa forma, a receita líquida do produtor pode ser representada como dependente de um conjunto de variáveis exógenas:

$$\pi = f(Q, P_q, X, P_x, S, C) \quad (1)$$

em que π representa a receita líquida, Q é um vetor de produtos agrícolas e X um vetor de variáveis socioeconômicas; P_q e P_x se referem, respectivamente, aos vetores de preços exógenos dos produtos e dos insumos; S é um vetor de características agrônômicas (tipos de solo, potencial de erosão, altitude etc.); e C é um vetor de variáveis climáticas.

Em mercados competitivos, o valor da terra poderia ser considerado igual ao lucro líquido da terra (RICARDO, 1817). Assim, os valores da terra seriam boa aproximação para a receita líquida do produtor, pois representam o valor presente do fluxo das rendas líquidas futuras. Segundo Mendelsohn et al. (1994), valores da terra proporcionam uma melhor medida de análise dos efeitos do clima pois refletem a expectativa de receita líquida em muitos anos, considerando que a terra é sempre utilizada para a atividade mais lucrativa. Conforme Schlenker et al. (2005), é possível afirmar também que futuras mudanças nos custos de produção, incluindo aquelas associadas à implantação do sistema de irrigação e captação de água, serão capitalizados nos valores futuros da terra, da mesma forma que os custos de produção no passado foram capitalizados nos valores da terra passados.

O valor de uma parcela de terra é determinado pela renda líquida que ela pode gerar e, por conseguinte, as diferenças em termos de quantias

pagas por parcelas distintas resultam de diferenças de produtividade. Dessa forma, qualquer fator que influencie a produtividade será refletido no valor da terra. O impacto da mudança no clima é, então, capturado pela alteração no valor da terra, utilizada para produções irrigadas e de sequeiro, entre diferentes condições climáticas (Mendelsohn et al., 1994).

Com base na formulação geral de Mendelsohn et al. (1994), a equação estimada no estudo foi:

$$y_i = \beta X_i' + \sum_j \theta_j f_j (\overline{W}_{ij}) + \varepsilon_i \quad (2)$$

em que y_i é o valor médio da terra no município i ; X_i é o vetor de determinantes observáveis do valor da terra (características agrônômicas e socioeconômicas); (\overline{W}_{ij}) representa as variáveis climáticas j para cada localidade i (médias de temperatura e precipitação); f indica a forma funcional para as variáveis climáticas (termos lineares e quadráticos); e ε_i é o termo de erro aleatório independente e identicamente distribuído (*i.i.d*) com distribuição normal.

É importante ressaltar que foram consideradas apenas a temperatura e a precipitação de verão e inverno, ao invés das quatro estações do ano. Segundo Féres et al. (2008), essa especificação sazonal diminui a perda de informações associadas com a utilização convencional de um mês a partir de cada estação. Esse tipo de especificação tem sido comum em análises referentes à América do Sul, como pode ser observado nos estudos de Seo e Mendelsohn (2008) e Seo (2010 e 2011). De acordo com esses autores, nessa região, as quatro estações não são bem definidas como no hemisfério Norte e, dessa forma, verão e inverno tendem a captar melhor os efeitos das mudanças climáticas.

Analiticamente, a etapa inicial da pesquisa consistiu em estimar a equação relativa ao valor da terra, considerando o padrão atual do clima. O modelo foi estimado pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

Esse é o padrão adotado na literatura, visto que se trata de um modelo linear com variáveis explicativas exógenas (SEO et al., 2009)⁶. Deve-se mencionar, no entanto, que a estimativa consistente do efeito das variáveis climáticas somente é possível se não houver fatores permanentes ou transitórios no termo de erro que covariem com as variáveis climáticas. Em termos econométricos, a estimação consistente de θ requer que seja satisfeita a condição de ortogonalidade para cada variável climática, ou seja, $E[f_j (\overline{w}_{ij})_i \varepsilon_i | X_i] = 0$. Segundo Deschênes e Greenstone (2007), as características não mensuráveis são determinantes importantes do valor da terra em ambientes agrícolas. Dessa forma, a abordagem hedônica pode confundir clima com outros fatores. Para superar essa limitação, foram incluídas características dos municípios que não se alteram ao longo do tempo, como, por exemplo, a qualidade do solo e altitudes.

Como o objetivo principal do estudo foi analisar os efeitos da mudança climática sobre o setor agrícola em médio e longo prazo, posteriormente foram feitas simulações, a partir das estimativas anteriores, utilizando as projeções de temperatura e precipitação para a média de três períodos de tempo, 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, sob dois diferentes cenários climáticos (A1B e A2), de acordo com o 4º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007).

Para as simulações, primeiramente foi estimado o valor da terra, considerando as médias de temperatura e precipitação projetadas para o período atual, tendo essa variável sido chamada de \hat{y}_{BASE} . Em seguida, simulou-se o valor da terra (\hat{y}_{T1}), considerando as mudanças climáticas

6 Eventualmente, quando se trata de um modelo estimado para diferentes países ou múltiplas regiões de um mesmo país, é comum a utilização de um modelo de efeitos fixos, com a inclusão de *dummies* representando as diferentes localidades consideradas, como alternativa ao MQO. Procura-se, com esse expediente, superar o possível viés resultante de variáveis omitidas que poderia ser causado por diferentes políticas agrícolas ou comerciais, direitos de propriedade ou taxas de juros específicas de cada localidade. Como o presente estudo se limita ao estado de Minas Gerais, supõe-se que esse tipo de viés seja inexistente ou muito pouco representativo.

projetadas pelo IPCC (2007) em determinado período, aqui denominado de T_i (T_i corresponde à média de cada um dos três períodos de tempo, sob os distintos cenários climáticos). Finalmente, a variação percentual do valor da terra decorrente das mudanças climáticas foi calculada por meio da fórmula:

$$\Delta \hat{y} = \left(\frac{\hat{y}_{T1} - \hat{y}_{BASE}}{\hat{y}_{BASE}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

3. Fonte de dados e variáveis utilizadas⁷

Foram utilizadas três tipos de variáveis: climáticas, agronômicas e socioeconômicas. As variáveis socioeconômicas (características dos produtores relacionadas à educação, experiência, acesso a informação etc.) foram obtidas no Censo Agropecuário (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2006), em nível de Áreas Mínimas Comparáveis (AMCs). Segundo Reis et al. (2007), as AMCs se referem à área agregada do menor número de municípios necessários para garantir comparações de uma mesma área geográfica entre diferentes anos censitários⁸. Foram utilizadas também variáveis referentes à qualidade do solo, com base no potencial agrícola e de erosão, disponibilizadas pelo Núcleo de Estudos e Modelos Espaciais Sistêmicos (Nemesis/Ipea). Por fim, as informações sobre as médias históricas (1961-1990) de temperatura (°C) e precipitação (mm), que representam o padrão atual do clima, foram obtidas da base de dados CL 2.0 10' do Climate Research Unit – CRU/University of East Anglia.

⁷ Andersen e Reis (2007) foram responsáveis por uma parte considerável da compatibilidade do banco de dados climático e agronômico utilizado neste estudo.

⁸ A opção por essa unidade deveu-se à necessidade de compatibilizar informações disponíveis em malhas municipais de diferentes anos. Por exemplo, as informações agronômicas fornecidas pela Embrapa (tipo de solo etc.) estavam disponíveis na malha municipal IBGE de 1996, enquanto os dados do Censo estavam na malha 2006. Tal agregação já foi utilizada nos estudos de Anderson e Reis (2007) e Féres et al. (2008 e 2009).

Diferentemente das análises já feitas para o Brasil, nas quais se inclui apenas o primeiro momento das distribuições de temperatura e precipitação, neste estudo foi considerada a variabilidade climática pela utilização do segundo momento das distribuições de probabilidade climática.

Os dados das projeções climáticas para o período 2010-2099, correspondentes à média de 10 Modelos de Circulação Geral (GCMs) do IPCC (2007) (Cenários A1B e A2)⁹, foram fornecidos pelo Nemesis/Ipea. A opção pela utilização dos cenários A1B e A2 foi baseada no estudo de Le Quére et al. (2009), que demonstra que os padrões atuais de emissão de GEEs estão mais próximos aos cenários A1/A2 do que dos cenários B, os quais, por sua vez, são considerados não realistas no período atual.

A base de dados continha, originalmente, 720 observações referentes às AMCs de Minas Gerais. No entanto, foram desconsideradas as áreas urbanas, já que, segundo Schlenker et al. (2005), a forte influência da urbanização sobre os valores da terra nessas regiões poderia causar viés. Além disso, foram retiradas as localidades para as quais o banco de dados não registrava os valores da terra, além de outros dados considerados questionáveis (por exemplo, observações cuja área agrícola reportada era maior que a área total da AMC). A base de dados final foi composta por 641 observações.

A descrição de cada variável foi apresentada na Tabela 1.

⁹ Os modelos utilizados foram: CNRM_cm3, CSIRO_MK3.0, GFDL CM2.1, GISS ER, IPSL_CM4, MIROC3.2_medres, MPI ECHAM5, MRI CGCM2.3.2, UKMO_HADCM3 and UKMO_HadGEM1.

Tabela 1 – Descrição das variáveis utilizadas no estudo

Variáveis	Descrição
Climáticas	
Temperatura Verão	Temperatura média de verão (°C) (1961-1990).
Precipitação Verão	Precipitação média de verão (mm) (1961-1990).
Temperatura Inverno	Temperatura média de inverno (°C) (1961-1990).
Precipitação Inverno	Precipitação média de inverno (mm) (1961-1990).
Variabilidade Temperatura	Variância da temperatura (1961-1990).
Variabilidade Precipitação	Variância da precipitação (1961-1990).
Agronômicas	
<i>Solo1</i>	Proporção da área de solo das AMCs com potencialidade agrícola na classe média/alta.
<i>Solo2</i>	Proporção da área de solo das AMCs com potencialidade agrícola na classe baixa.
<i>Altitude1</i>	Proporção da área das AMCs com altitude entre 100 e 499 metros
<i>Altitude2</i>	Proporção da área das AMCs com altitude entre 500 e 799 metros
<i>Altitude3</i>	Proporção da área das AMCs com altitude entre 800 e 1199 metros
<i>Altitude4</i>	Proporção da área das AMCs com altitude entre 1200 e 1799 metros
<i>Erosão</i>	Proporção da área das AMCs com baixo potencial de erosão.
Socioeconômicas	
<i>Internet</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs com acesso à Internet.
<i>Experiência</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs cujo proprietário ou pessoa que dirige o estabelecimento tem 10 ou mais anos de experiência.

<i>Superior</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs cujo nível de instrução do proprietário ou da pessoa que dirige o estabelecimento é o superior completo.
<i>Assistência</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs que recebe orientação técnica regularmente.
<i>Máquinas</i>	Número de máquinas e implementos agrícolas existentes nos estabelecimentos agropecuários das AMCs (arados, grades, roçadeiras, pulverizadores, colheitadeiras e semeadeiras).
<i>Cooperativa</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs que são associados a cooperativas ou entidades de classe (sindicatos, associações, movimentos de produtores etc.).
<i>Financiamento</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs que recebeu algum tipo de financiamento (público ou privado).
<i>Arrendamento</i>	Número de estabelecimentos agropecuários nas AMCs cuja condição do produtor é a de arrendatário.
<i>Valor Terra*</i>	Valor médio da terra das AMCs (1000 R\$).

Nota: (*) Assim como em Féres et al. (2008), a variável referente ao valor da terra utilizada neste estudo refere-se ao valor médio total, em Reais, dos “bens imóveis (terras), inclusive matas naturais” das AMCs, disponibilizada pelo IBGE por meio do Sistema *IBGE* de Recuperação Automática_SIDRA (Tabela 831).

4. Resultados

Primeiramente são apresentados os resultados das estimações do modelo Ricardiano, cuja variável dependente foi o valor da terra (Tabela 2). Essa estimação foi o primeiro passo para a análise da vulnerabilidade da produção agrícola mineira, dados os cenários de mudança climática.

Tabela 2 – Modelo Ricardiano estimado para as AMC's do estado de Minas Gerais

Variáveis	Coefficiente	Valor t	P-valor
Intercepto	220720,8	0,16	0,8760
Temperatura Verão	95515,7	0,49	0,6260
Temperatura Verão ²	-1792,8	-0,40	0,6900
Temperatura Inverno	-280844,3**	-2,51	0,0120
Temperatura Inverno ²	8515,3***	2,69	0,0070
Precipitação Verão	7188,0***	4,60	0,0000
Precipitação Verão ²	-15,2***	-4,41	0,0000
Precipitação Inverno	14676,9***	3,95	0,0000
Precipitação Inverno ²	-209,3***	-2,78	0,0060
Variabilidade Temperatura	-107422,6***	-4,31	0,0000
Variabilidade Precipitação	6,3	0,76	0,4490
Arrendamento	618,1*	1,80	0,0730
Experiência	48,8	1,42	0,1560
Máquinas	135,8*	1,65	0,0978
Cooperativa	48,1	0,42	0,6780
Superior	2329,2***	3,90	0,0000
Financiamento	-275,0	-1,64	0,1020
Assistência	394,1**	2,59	0,0100
Internet	244,8	0,33	0,7450
Solo1	46139,0*	1,93	0,0540
Solo2	45988,3**	1,98	0,0480
Altitude1	35818,0	0,89	0,3720
Altitude2	73559,3	1,34	0,1800
Altitude3	99097,4*	1,82	0,0690
Altitude4	256261,7***	2,81	0,0050
Erosão	47511,2***	3,02	0,0030

Notas: (1) Valor t obtido após a correção de heterocedasticidade; (2) (***), (**) e (*) indicam significância a 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Pode-se verificar que a maior parte dos coeficientes foram estatisticamente significativos aos níveis convencionais de significância. O Valor F indica que as variáveis independentes, em conjunto, foram importantes para a explicação das variações no valor da terra. A presença de heterocedasticidade foi identificada por meio do teste de White ($x^2 = 611,20$ [p - valor = 0,0000]) e, posteriormente, corrigida.

Confirmou-se que o clima tem efeito sobre o valor da terra das AMCs mineiras (exceto pelas variáveis referentes à temperatura de verão e variabilidade da precipitação, que não foram significativas). Assim como em Seo et al. (2009), a resposta do valor da terra à temperatura de inverno foi convexa e à precipitação, tanto de verão quanto de inverno, foi côncava. Importantes considerações podem ser feitas sobre esses resultados. Segundo Tol (2009), regiões de clima mais quente possivelmente serão aquelas que sofrerão os maiores impactos se as previsões de elevação na temperatura média da terra se concretizarem. Este aspecto foi também observado em outros estudos que também analisaram as diversas regiões do Brasil, como, por exemplo, Sanghi e Mendelsohn (2008) e Evenson e Alves (1998). Aumentos de precipitação, tanto no verão quanto no inverno, inicialmente levam à valorização do preço da terra. Segundo Sanghi e Mendelsohn (2008), o efeito de períodos mais chuvosos é positivamente relacionado à produtividade. No entanto, como indicado pela concavidade das respostas, a partir de certo limite, os aumentos de precipitação são prejudiciais. O sinal negativo da variável relativa à variabilidade da temperatura confirma que mudanças bruscas no padrão térmico aumentam os riscos de perdas agrícolas.

As variáveis agronômicas indicam que quanto maior o percentual de terra com alta potencialidade agrícola nas AMCs, maior tende a ser o valor da terra. Além disso, a existência de terras com baixo potencial de erosão aumenta os ganhos dos produtores. Com relação às variáveis representativas da altitude das terras, verificou-se que apenas as mais elevadas apresentaram efeitos significativos e positivos sobre o valor da terra.

No que se refere às variáveis socioeconômicas, pode-se afirmar que, quanto maior o número de estabelecimentos agropecuários cujo dirigente da propriedade tem curso superior e acesso regular à assistência técnica, maior o valor da terra. Em geral, esses produtores têm maior conhecimento sobre técnicas produtivas e, possivelmente, estão mais aptos a empreender medidas de adaptação que têm potencial de reduzir os impactos negativos das mudanças climáticas. Quanto maior o número de máquinas e implementos agrícolas disponíveis nas propriedades, maior tende a ser o valor da terra. Destaca-se também o fato de que, quanto maior o número de propriedades arrendadas nas AMCs, maiores são os retornos esperados. Esse resultado está de acordo com a literatura sobre desenvolvimento agrícola. Segundo Meier (2005), por meio do arrendamento, garante-se a interface entre o proprietário de terra e o produtor, garantindo que ambos tenham os mesmos riscos. O sistema possibilita incentivo para que o arrendatário trabalhe na ausência de monitoramento, o que gera um nível mais elevado de eficiência.

Feitas essas considerações, podem-se apresentar os resultados das simulações dos efeitos das mudanças climáticas sobre a renda dos produtores de Minas Gerais. A partir, delas foi possível analisar como os agricultores responderão às mudanças na temperatura e precipitação previstas pelos cenários de mudanças climáticas globais. As previsões de temperatura e precipitação correspondentes à média dos três períodos de tempo utilizados nas simulações, 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Previsões de temperatura (°C) e precipitação (mm) para cenários futuros de mudança climática em Minas Gerais

Variáveis	Valor atual	Cenário A1B			Cenário A2		
		2010-39	2040-69	2070-99	2010-39	2040-69	2070-99
Temperatura Verão	22,89	23,87	24,85	25,93	23,85	24,90	26,47
Temperatura Inverno	17,98	19,67	20,73	21,73	19,51	20,55	22,24
Precipitação Verão	232,39	224,15	233,42	226,39	221,56	224,19	229,00
Precipitação Inverno	18,34	31,14	30,94	31,47	30,50	31,65	30,90

Nota: Os valores correspondem à média de 10 MCGs apresentados no 4º Relatório do IPCC (2007).

Fonte: CRU e Nemesis/Ipea, com dados trabalhados pelos autores.

Os valores apresentados na Tabela 3 indicam que a mudança climática resultará em aumento das temperaturas em Minas Gerais. As elevações de temperatura podem variar de 0,96°C a 3,58°C no verão e de 1,53°C a 4,26°C no inverno, em relação ao período atual, considerando o cenário pessimista A2. De acordo com Margulis e Dubeux (2010), as projeções indicam ainda aumentos dos extremos de calor, bem como reduções na frequência de geadas devidas à elevação da temperatura mínima (esta previsão se refere à região Sudeste como um todo e não apenas a Minas Gerais). Haverá, ainda, maior precipitação no inverno, cujos aumentos podem chegar a 12,6 mm no período de 2070 a 2099. No verão, para o mesmo intervalo temporal, espera-se redução na precipitação de aproximadamente 3,39 mm (Cenário A2).

A Tabela 4 contém as estimativas da variação do valor da terra em relação ao período base. Verifica-se que, em Minas Gerais, os impactos das mudanças climáticas sobre a rentabilidade agrícola no médio e longo prazo seriam positivos, embora muito baixos. É importante ressaltar, entretanto, que os dados apresentados na Tabela 4 são valores médios, considerando a totalidade dos municípios mineiros.

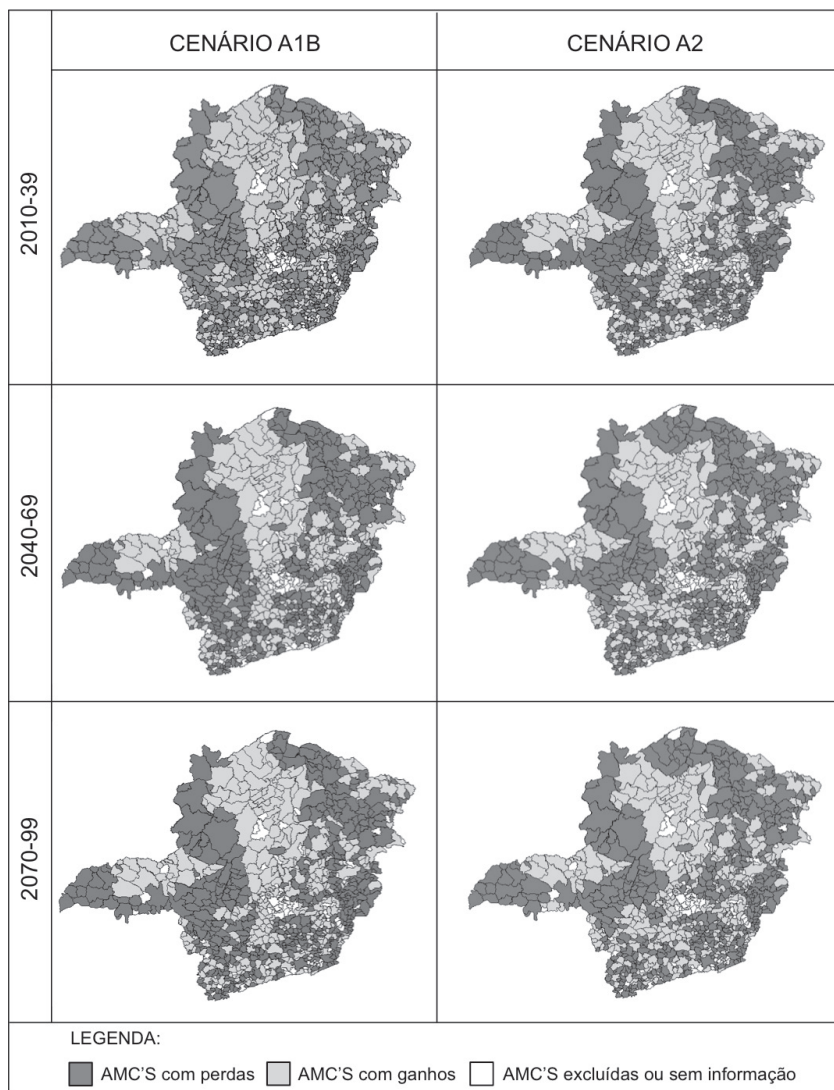
Tabela 4 – Estimativas do efeito das mudanças climáticas sobre o valor da terra dos produtores de Minas Gerais, valores percentuais

Período de Simulação	Cenário A1B	Cenário A2
2010-39	0.19	0.15
2040-69	0.20	0.23
2070-99	0.31	0.23

Fonte: Resultados da Pesquisa.

De modo a explorar melhor os resultados da Tabela 4, foram feitas análises específicas das AMCs e mesorregiões do estado (Figura 1)¹⁰.

¹⁰ A Tabela A1 do Anexo apresenta os resultados médios regionais, complementando as informações da Figura 1.



Fonte: Resultados da Pesquisa

Figura 1 – Impacto das mudanças climáticas sobre o valor médio da terra das AMCs de Minas Gerais.

A partir dessa desagregação, verificou-se que, em todos os períodos de simulação e cenários climáticos, o número de AMCs que terão perdas é grande e superior às que terão ganhos. Considerando o cenário A2, no período de 2010 a 2039, 54% das AMCs poderão apresentar perdas, sendo que esse valor aumenta para 56% entre 2040 e 2069 e para 58% entre 2070 e 2099: para o cenário A1B, esses valores são 56%, 57% e 56%, respectivamente. Já em 2020, média do intervalo entre 2010 e 2039, poderia haver uma redução de aproximadamente R\$24 milhões no valor da terra. Esses resultados estão em conformidade com aqueles encontrados por Pinto e Assad (2008), que estimam perdas médias para o Brasil da ordem de R\$7,4 bilhões em 2020.

A Zona da Mata, por exemplo, é uma das que compõem o grupo no qual são esperados impactos negativos. No intervalo temporal de 2040 a 2069, por exemplo, são esperadas perdas no valor da terra que podem variar entre 4% (cenário A1B) e 14% (A2) em relação ao período corrente. Nesse período, os modelos climáticos considerados neste estudo estimam aumentos de temperatura da ordem de 1,81°C no verão e de 2,38°C no inverno. É importante ressaltar que essa mesorregião tem sua economia bastante dependente da produção de café arábica, uma das culturas que, segundo Pinto e Assad (2008), perderão condições de plantio em boa parte da área cultivada atualmente nos estados de Minas Gerais e São Paulo - cerca de 33%.

Distintos níveis de vulnerabilidade das AMCs do estado podem ocorrer, segundo análises do IPCC (2007), pois o grau em que uma localidade é susceptível aos efeitos adversos da mudança climática é função das características e da magnitude da variação do clima e também de sua capacidade adaptativa. Uma alta capacidade adaptativa reduz o potencial de perda para qualquer nível de exposição à mudança climática.

Esses resultados têm como consequência o possível agravamento das desigualdades regionais do estado. Algumas regiões terão sua capacidade de desenvolvimento agrícola severamente comprometida, o que demanda atenção por parte dos formuladores de políticas. De acordo com Féres

et al. (2011), é importante fortalecer os mecanismos de proteção social e formular estratégias de adaptação das populações mais vulneráveis.

5. Conclusões

Os resultados deste estudo indicaram que, em termos médios, em todos os períodos de simulação compreendidos entre 2010 e 2099, o valor da terra dos produtores mineiros poderá apresentar uma pequena elevação (de, no máximo, 0,31% em relação ao período atual). Mas esse resultado não deve gerar a falsa impressão de que a agricultura de Minas Gerais não seria afetada pelas mudanças climáticas. Pelo contrário, quando se desagregam os resultados, verifica-se que aproximadamente 60% dos municípios poderão sofrer elevadas perdas, que podem chegar a cerca de R\$24 milhões já em 2020.

Portanto, pode-se concluir que, embora as consequências esperadas das mudanças climáticas globais possam não ser negativas em termos gerais, os formuladores de políticas devem estar cientes de que seus efeitos podem aumentar sobremaneira a vulnerabilidade de algumas regiões do estado. Nesse sentido, os efeitos positivos no médio prazo devem ser vistos como um incentivo para a formulação de políticas públicas de adaptação e mitigação.

Consequentemente, espera-se que a habilidade econômica e institucional de implementar medidas reativas seja distinta entre os atores envolvidos. Produtores expostos a condições climáticas diferentes poderão sofrer impactos diversos, dependendo de suas condições econômicas. Assim, os formuladores de políticas regionais não devem programar ações gerais para o estado. Ao contrário, será preciso olhar atentamente para as avaliações de impacto de modo a identificar as opções de adaptação mais eficientes e de maior benefício líquido. Faz-se necessário programar ações locais, descentralizadas, que permitirão mais flexibilidade e, provavelmente, levarão a resultados muito mais benéficos em termos locais.

Por fim, deve-se ressaltar que os resultados deste estudo não pretendem esgotar as discussões sobre o tema. Devem ser feitas análises desagregadas também por tipo de produção agrícola: pecuária, lavouras temporárias e permanentes. Ademais, o trabalho apresenta limitações, a principal delas referente à técnica de simulação utilizada, que considera que os preços agrícolas, tecnologias, insumos e capital permanecem em cada cenário climático como são no presente. Essa é uma característica comum aos trabalhos de mudanças climáticas que pesquisas futuras devem superar.

Referências

ANDERSON, K; REIS, E. **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. 2007.

BARROS, G. S. C.; FACHINELLO, A. L.; SILVA, A. F; ULTREMARE, F. **PIB do agronegócio mineiro encerra 2012 com crescimento modesto**. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pibmg/files/2012/01jan_dez.pdf>. Acesso em: jul. 2013.

BATALHA, M. O.; SCARPELLI, M. Gestão do agronegócio. In: BATALHA, M. O. (Org). **Gestão do agronegócio: textos selecionados**. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2005.

BAUMERT, K. A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy**. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.

CLINE, W. R. **Global warming and agriculture: impact estimates by country**. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics, 2007.

DÊSCHENES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **The 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**, v. 18, p. 223-258, 1998.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. In: 16th Annual EAERE Conference, 2008, Gothenburg. **Proceedings of the 16th Annual EAERE Conference**. Gothenburg: EAERE, 2008.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. **Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro**. In: MOTTA, R. S., HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G., GUTIERREZ, M. B. S. (Eds.). *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Brasília: Ipea, 2011.

FISHER, A. C.; HANEMANN, W. M.; ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W.; **Climate change and agriculture reconsidered**. Disponível em: <<http://www.columbia.edu/~ws2162/agClimateChange/agClimateChange.pdf>>. Acesso em ago. 2009.

GÖEPFERT, H., ROSSETTI, L. A., SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridade agrícola**. Brasília: IPEA, 1993.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: IBGE. 2006.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.

LE QUÉRÉ, C.; RAUPACH, M. R.; CANADELL, J. G.; MARLAND, G. *et al.* Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature Geoscience**, v. 689, p. 1-6, 2009.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. **Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades.** São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

MEIER, G. M.; RAUCH, J. E. **Leading issues in economic development.** 8 ed. New York: Oxford University Press, 2005.

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

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. (Eds.). **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira.** Campinas: Embrapa/Unicamp. 2008.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Variabilidade climática. In: HAMADA, E. (Ed.). **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. cap. I, 1 CD-ROM.

REIS, E.; PIMENTEL, M.; ALVARENGA, A. I. **Áreas mínimas comparáveis para os períodos intercensitários de 1872 a 2000.** 2007. Disponível em: <<http://www.nemesis.org.br>>. Acesso em fev. 2010.

RICARDO, D. **On the Principles of Political Economy and Taxation.** Londres: John Murray, 1817.

SANGHI, A.; MENDELSON, R. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. **Global Environmental Change**, v. 18, p. 655-665, 2008.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W. M.; FISHER, A. C. Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. **The American Economic Review**, v. 95, n. 1, p. 395-406, 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SEAPA. **Agronegócio de Minas Gerais bate recordes com exportação**. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br/noticias/1750-agronegocio-de-minas-gerais-bate-recordes-com-exportacao>>. Acesso em: nov. 2010.

SEO, N. A microeconomic analysis of adapting portfolios to climate change: adoption of agricultural systems in Latin America. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 32, n. 3, p. 489-514, 2010.

SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. **Ecological Economics**, v. 70, n. 4, p. 825-834, 2011.

SEO, N.; MENDELSON, R. A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. **Chilean Journal Of Agricultural Research**, v. 68, n.1, p. 69-79, 2008.

SEO, N.; MENDELSON, R.; DINAR, A.; HASSAN, R.; KURUKULASURIYA, P. A Ricardian analysis of the distribution of climate change impacts on agriculture across agro-ecological zones in Africa. **Environmental Resource Economics**, v. 43, p. 313-332, 2009.

STERN, N. **The economics of climate change: the Stern review**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

STERN, N. The economics of climate change. **The American Economic Review**, v. 98, n. 2, p. 1-37, 2008.

TOL, R. S. J. The economic effects of climate change. **Journal of Economic Perspectives**, v. 23, n. 2, p. 29-51, 2009.

World Meteorological Organization. The global climate 2001-2010: a decade of climate extremes. 2013. Disponível em: < http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_976_en.html>. Acesso em: jul. 2013.

ANEXO

Tabela A1 – Estimativas do efeito das mudanças climáticas sobre o valor médio da terra das mesorregiões de Minas Gerais, valores percentuais

Mesorregiões	Cenários					
	A1B			A2		
	2010-39	2040-69	2070-99	2010-39	2040-69	2070-99
Noroeste de Minas	-7.21	-6.01	-5.88	-7.12	-6.61	-7.10
Norte	16.43	17.13	14.25	13.63	10.27	13.44
Jequitinhonha	28.08	31.48	41.46	30.30	32.97	41.51
Vale do Mucuri	-9.60	-7.93	-6.51	-11.22	-6.53	-6.18
Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba	-1.81	-2.36	-1.97	-1.45	-0.34	-0.83
Central Mineira	-1.06	2.20	2.46	0.18	0.35	0.26
Metropolitana de Belo Horizonte	-8.33	-7.63	-4.74	-10.93	-13.31	-9.18
Vale do Rio Doce	-4.77	-4.33	-8.45	-7.78	-5.43	-8.85
Oeste de Minas	6.80	2.48	3.35	7.42	11.66	-3.35
Sul/Sudoeste de Minas	0.37	-0.31	-1.17	-0.51	0.97	1.28
Campo das Vertentes	37.83	31.49	32.88	40.98	42.20	20.10
Zona da Mata	-5.99	-3.63	-4.02	-0.89	-14.15	0.39

Fonte: Resultados da Pesquisa.