

Os Efeitos da Mudança Climática sobre o Setor Agrícola Brasileiro: Uma Análise Teórica e Empírica

RESUMO

Desenvolve um modelo teórico pelo qual mostramos que o tamanho e a extensão dos impactos adversos da mudança climática podem ser associados ao grau de desenvolvimento de uma região. O modelo implica ainda que o investimento em capital humano, infraestrutura e tecnologia tem o potencial de contrabalançar os efeitos adversos da mudança climática. Finalmente, confronta as implicações do modelo teórico com os dados, e mostra que, muito embora a direção dos impactos seja incerta, melhor infraestrutura, disponibilidade de capital humano e tecnologia são associadas com níveis mais altos de produtividade e têm o potencial de mitigar os efeitos adversos da mudança climática sobre a agricultura brasileira. Em conjunto, esses resultados sugerem a proposição de políticas públicas que visem aumentar a disponibilidade desses elementos em regiões periféricas.

PALAVRAS-CHAVE

Mudança Climática. Agricultura. Modelo Hedônico.

Marcelo Eduardo Alves da Silva

- Prof. do Departamento de Economia da Universidade Federal de Pernambuco e do PIMES/UFPE.
- Ph.D. em Economia – University of North Carolina at Chapel Hill.

André Matos Magalhães

- Prof. do Departamento de Economia da Universidade Federal de Pernambuco e do PIMES/UFPE.
- Ph.D. em Economia – University of Illinois – Urbana – Champaign.

1 – INTRODUÇÃO

Os efeitos das atividades humanas sobre o meio ambiente vêm-se tornando objeto de preocupação nas mais diferentes esferas da sociedade. A divulgação de diversos relatórios, tais como os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, do *Stern's Review on the Economics of Climate Change*, *The House of Lords' The Economics of Climate Change*, dentre outros, ajudar a criar um sentimento de urgência no que diz respeito a esse tema, principalmente, diante das previsões de um mundo mais quente e com variações climáticas mais drásticas.

De fato, medições recentes da temperatura média global mostram que, nos últimos anos, a terra vem experimentando um aumento na sua temperatura média e alguns prognósticos levam a crer que este fenômeno tende a continuar em anos futuros, principalmente, como resultado das ações humanas (IPCC, 2007; STERN, 2008).

De uma maneira geral, as atividades humanas contribuem para o aquecimento global através da emissão de gases na atmosfera que criam um efeito estufa (*the greenhouse effect*) impedindo a dispersão do calor e resultando em um aumento da temperatura terrestre. Dentre os gases que contribuem para o *Greenhouse Effect*, as emissões de CO₂ são as mais importantes, contribuindo por cerca de 2/3 da parcela advinda das atividades humanas responsáveis pelo aquecimento global (STERN, 2008).

Diante desses resultados, a questão relevante parece ser quanto aos impactos que as mudanças climáticas (e.g., aumentos na temperatura, aumentos e reduções na precipitação, elevação dos níveis dos oceanos, frequência de furacões etc.) terão em regiões distintas do planeta. Dentro dessa questão principal, dois pontos parecem ser igualmente importantes. Primeiro, quais regiões observarão mudanças climáticas mais intensas e, segundo, quais regiões serão mais fortemente impactadas. A extensão desses impactos dependerá certamente da capacidade que cada economia terá em atenuar impactos adversos e em se adaptar às alterações no clima.

Particularmente, o setor agrícola parece ser aquele que enfrentará os maiores desafios, por ser o mais dependente das variáveis climáticas. Além disto, esperam-se impactos diferenciados entre as regiões agrícolas, com os mais fortes sendo sentidos em regiões periféricas. E isto por duas razões. A primeira, estas regiões já são tradicionalmente as mais quentes e áridas, portanto, um aumento na temperatura média poderá significar dificuldades ainda maiores para tais regiões. A segunda, os agricultores dessas regiões possuem baixa ou total inabilidade em se adaptar ao novo cenário que se configura (MENDELSONH; DINAR, 1999).

Sanghi e Mendelsohn, (2008), em uma simulação para avaliar os possíveis impactos de mudanças climáticas em regiões menos desenvolvidas, mostram que, mantidas as condições atuais e abstraindo o progresso tecnológico e possíveis ações de adaptação por parte dos agricultores, um ambiente mais quente e com maior precipitação pode levar a perdas importantes no produto agrícola dessas regiões. Para o caso brasileiro, por exemplo, esses autores estimam que um aumento de 2^o C na temperatura média e de 8% na precipitação média pode levar a perdas de 20% na renda líquida do setor agrícola. Evenson e Alves (1998) também apontam as regiões Norte e Nordeste como aquelas que serão mais impactadas por mudanças climáticas. Esses autores alertam até mesmo para a possibilidade de aumento das disparidades regionais de renda no Brasil, em função das maiores dificuldades a serem enfrentadas pelas regiões mais pobres.¹ Outro estudo que aponta para uma perda de renda das regiões mais pobres é o de Féres; Reis; Speranza, (2011). Diante das estimativas de queda de renda da atividade agrícola nas regiões Norte e Nordeste e aumento das desigualdades regionais, os autores chegam a recomendar o fortalecimento de políticas sociais para mitigar tais efeitos.

¹ Mendelsohn; Dinar (1998) também alertam para o fato de que, mesmo que o aquecimento global não impacte fortemente o setor agrícola como um todo, em função de comportamentos estratégicos por parte de produtores rurais que levem à adaptação ao novo clima e à compensação dos efeitos adversos das mudanças climáticas, produtores rurais com menor habilidade à adaptação, em regiões marginais, serão, com certeza, fortemente impactados.

Por outro lado, regiões mais desenvolvidas são, em geral, localizadas em áreas de clima mais temperado e, portanto, tenderiam a sofrer menos com aumentos na temperatura. Além disto, os agricultores de tais regiões têm maior capacidade em se adaptar a ambientes mais hostis, como, por exemplo, a um clima mais quente e com maior precipitação. É provável que os agricultores desses países adotem novas práticas de produção, invistam em novas tecnologias, tenham acesso a novas variedades de plantas mais resistentes ao calor etc. Todos esses elementos explicariam o menor impacto a ser sentido em regiões mais avançadas tecnologicamente.²

Historicamente, é esse tipo de comportamento que se tem observado. Olmstead e Rhode, (2009), por exemplo, mostram como a habilidade dos produtores de trigo, milho e algodão em se adaptar a diferentes condições de temperatura, solo, incidência de pestes e precipitação, em diferentes regiões nos Estados Unidos, levou à expansão da área plantada e da produção dessas culturas naquele país. Esses agricultores contrariaram prognósticos iniciais quanto ao futuro da produção e da área plantada e levaram a produção para regiões tipicamente não-favoráveis. As utilizações de variedades mais resistentes e de técnicas que induziam o uso mais eficiente da água permitiram a expansão da agricultura em regiões mais áridas e de clima mais variável e, portanto, os autores sugerem que o mesmo fenômeno de adaptação eficiente se possa observar novamente.

Essas lições históricas quanto à habilidade dos agricultores em se adaptar a ambientes mais hostis – e as mudanças tecnológicas que advêm com o objetivo de facilitar e/ou atenuar os efeitos de mudanças climáticas – devem ser mantidas sempre em perspectiva em trabalhos que visem avaliar os

efeitos que mudanças climáticas possam trazer sobre o setor agrícola, em particular, e sobre as atividades humanas, de uma maneira geral. Contudo, são essas mesmas observações que precisam ser levadas em consideração quando da análise dos impactos de mudanças climáticas em regiões menos desenvolvidas. Por serem menos avançadas tecnologicamente, essas regiões possuem menor habilidade em se adaptar e a contrabalançar os possíveis efeitos adversos associados a mudanças climáticas.

Este trabalho apresenta duas contribuições principais. Primeiro, o artigo desenvolve um modelo teórico que oferece a intuição básica para a observação de que os maiores efeitos das alterações climáticas deverão ser sentidos em regiões menos desenvolvidas. Além disto, dentro do modelo teórico, este trabalho procura avaliar quais ações podem ser relevantes na minimização dos efeitos adversos que um clima mais quente poderá trazer sobre o setor agrícola brasileiro. A segunda contribuição deste artigo consiste em testar empiricamente se os dados oferecem suporte às implicações do modelo teórico. Para tal fim, este trabalho utiliza a abordagem hedônica, a qual tem sido amplamente utilizada na literatura relevante (MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994; EVENSON; ALVES, 1998; MENDELSON; DINAR, 1999; SANGHI; MENDELSON, 2008).

Em consonância com as implicações do modelo teórico, os resultados de nossa análise empírica apontaram que as variáveis de infraestrutura, de tecnologia e de desenvolvimento humano, além de contribuírem positivamente para a produtividade do setor agrícola, têm o potencial de minimizar os efeitos adversos do aquecimento global sobre a agricultura brasileira. Estes resultados são mostrados pela interação dessas variáveis (infraestrutura, tecnologia e capital humano) com as variáveis de clima, em particular, as variáveis de temperatura. Em conjunto, esses resultados sugerem que pode trazer resultados bastante promissores a adoção de políticas públicas que ajudem os agricultores de regiões potencialmente mais afetadas a implementar ações de mitigação dos efeitos negativos e de adaptação eficiente a um clima mais adverso.

² Adicionalmente, maiores níveis de emissões de CO₂ e o conseqüente aquecimento global implicarão, ainda, efeitos adversos sobre a saúde e bem-estar das famílias, como, por exemplo, aumentos de casos de má nutrição e as conseqüências relacionadas com a saúde infantil; aumentos em mortes e doenças causadas por ondas de calor, enchentes, tempestades, incêndios e secas prolongadas; o aumento na frequência de doenças cardio-respiratórias, em função da maior concentração de poluentes na atmosfera, e também na distribuição espacial de doenças, dentre outros (IPCC, 2007). Por outro lado, existirão efeitos positivos, como, por exemplo, a redução de doenças causadas em função do frio.

Essas ações envolvem, por exemplo: a melhora na infraestrutura; na ampliação do número de propriedades que utilizam assistência técnica, que possuem eletricidade; na qualidade e quantidade de investimentos em capital humano; no investimento em pesquisa e desenvolvimento que foquem no desenvolvimento de variedades mais resistentes e de técnicas que permitam o uso mais eficiente da água, do solo etc. Na ausência de políticas públicas que visem compensar os efeitos adversos de um clima mais adverso e na falta de incentivos para a adaptação eficiente por parte dos agricultores localizados em regiões mais pobres, o resultado poderá ser a ampliação das desigualdades regionais de renda

Este trabalho é relacionado a duas abordagens principais na literatura. A primeira consiste em trabalhos que utilizam a ferramenta de teoria dos jogos para discutir os impactos e as possíveis ações de mitigação que possam ser implementadas para controlar emissões de poluentes e para reduzir os impactos ambientais. Por exemplo, Caplan; Cornes; Silva, (2003), Silva e Xie, (2009), dentre outros. A segunda consiste em trabalhos que utilizam a abordagem hedônica (Ricardiana) para avaliar os impactos da mudança climática (entendida como um aumento na temperatura e precipitação pluviométrica) sobre o setor agrícola. Nessa linha de trabalhos, encontram-se, por exemplo, Mendelsohn; Nordhaus; Shaw, (1994), Evenson e Alves, (1998), Mendelsohn e Dinar, (1999), Sanghi e Mendelsohn, (2008) dentre outros.

Além desta introdução, o artigo contém quatro outras seções. A próxima seção apresenta o modelo teórico utilizado em nossa análise, enquanto que a seção seguinte apresenta a estratégia empírica. A seção 4 apresenta os principais resultados da análise empírica, enquanto a seção 5 discute algumas conclusões.

2 – MODELO TEÓRICO

O modelo teórico baseia-se em Caplan, Cornes e Silva, (2003). Existem diversas regiões indexadas pela letra j e cada região é constituída por dois setores produtivos. Um setor que produz um bem industrial e um setor que produz um bem agrícola. Cada região é

habitada por um número grande de consumidores que consomem os dois bens.

O setor industrial produz um bem que é tanto consumido quanto utilizado como insumo na produção do bem agrícola. A produção do bem industrial gera emissões de CO_2 na atmosfera, resultando em efeitos não desejáveis (externalidade negativa) sobre o setor agrícola e sobre o bem-estar dos consumidores. O setor industrial, portanto, é o setor sujo da economia. Por outro lado, a produção do bem agrícola não gera emissões de CO_2 , mas sua produtividade é afetada pelo estoque de emissões de CO_2 . Este setor é denominado o setor limpo da economia. O efeito sobre o setor agrícola advém dos fatores negativos associados com mudanças climáticas resultantes, em parte, das emissões de CO_2 . Como as emissões de CO_2 não dependem do local de origem, o estoque total de emissões – a soma das emissões dos setores industriais de todas as regiões – afetará a produtividade do setor agrícola em cada uma das regiões.

Cada região j pode ser pensada como uma sub-região geográfica, como, por exemplo, o Semiárido nordestino, Zona da Mata, zona urbana, resto do país etc. A diferenciação das regiões pode ser determinada pelas diferentes dotações iniciais dos dois bens. Portanto, regiões mais ricas (e.g., Sudeste do Brasil) são dotadas de maiores quantidades iniciais dos dois bens, enquanto regiões mais pobres (e.g., Nordeste) possuem menor dotação inicial. Além disto, as regiões diferenciam-se por sua capacidade de contrabalançar os efeitos adversos das mudanças climáticas e de se adaptar à nova realidade climática. Diante disto, os efeitos das emissões de CO_2 serão assimétricos dentre as regiões, de modo a capturarem os efeitos de maiores proporções sentidos nas regiões menos desenvolvidas do país, em particular, na região Nordeste.

Finalmente, os efeitos das emissões serão sentidos não apenas no setor agrícola mas também afetarão o bem-estar dos consumidores. Como discutido anteriormente, maiores níveis de emissões de CO_2 e as mudanças climáticas associadas impactam negativamente a saúde das famílias. O modelo teórico, portanto, capturará estes efeitos adversos sobre o bem-estar.

2.1 – Setor Industrial

O setor industrial é composto por um grande número de produtores idênticos, onde I_j representa um número fixo de produtores na região j . Cada produtor industrial utiliza uma quantidade $\bar{x}_j < 0$ do produto agrícola para produzir $f^j(\bar{x}_j)$ unidades do produto industrial. A função de produção do setor industrial, $f^j(\bar{x}_j)$ é, por suposição, decrescente nos insumos e estritamente côncava.³

Definindo $\bar{X}_j \equiv I_j \bar{x}_j$ como a demanda pelo produto agrícola do setor industrial da região j e $F^j(\bar{X}_j) \equiv I_j f^j(\bar{X}_j/I_j)$ como a função de produção desse setor, podemos definir a quantidade total do produto industrial da região j como $Y_j = F^j(\bar{X}_j)$. Definindo p_x e p_y como o preço do produto agrícola e do produto industrial, respectivamente, podemos definir o lucro do setor industrial na região j como $p_y Y_j + p_x \bar{X}_j$.⁴

O setor industrial é o setor sujo da economia. Como resultado não desejável, a produção do bem industrial gera uma externalidade negativa através da emissão de CO_2 na atmosfera, que, como veremos a seguir, afeta diretamente a produção do setor agrícola e o bem-estar dos consumidores. O nível de emissões de CO_2 é definido como $E \equiv \sum_{j=1}^J F^j(\bar{X}_j)$. Por simplicidade, abstraímos a possibilidade de abatimento das emissões por parte do setor industrial.

Para fins da estratégia empírica e com base em estudos anteriores (IPCC, 2007; STERN, 2009), o

3 O modelo teórico segue o padrão comumente utilizado na literatura correlata de definir insumos com valores negativos e produtos com valores positivos. A moderna teoria da produção, na definição de um vetor ou plano de produção, adota a convenção de que valores positivos representam o produto e valores negativos representam os insumos. No caso específico do setor industrial em nosso modelo, o insumo utilizado na produção do bem industrial, y_j , é o bem agrícola, \bar{x}_j , e, portanto, $\bar{x}_j < 0$. Como os preços são sempre positivos, os lucros são definidos como uma soma dos valores do produto (positivos) e os valores dos insumos (negativos). No final, a definição de lucros é exatamente a mesma, i.e., lucro é a diferença entre receitas e despesas. Ver, por exemplo, Caplan, Cornes e Silva, (2003), Silva e Xie, (2009) para artigos correlatos que utilizam a mesma definição ou, ainda, em manuais de Microeconomia, como, por exemplo, Mas-Colell, Whinston e Green (Cap. 5, 1995). Portanto, nossa opção foi manter a definição comumente utilizada na literatura para facilitar a comparabilidade de nosso modelo a modelos semelhantes.

4 Ver nota de rodapé n. 3 para uma explicação sobre a definição de lucros no nosso modelo.

pressuposto é que existe uma relação positiva entre estoque de emissões, E , e mudança climática. Esta última sendo entendida como um aumento da temperatura média da superfície terrestre e aumento das precipitações pluviométricas.

2.2 – Setor Agrícola

Similarmente, o setor agrícola é composto por um grande número de produtores idênticos, onde A_j representa o número fixo de produtores na região j . Cada produtor agrícola utiliza uma quantidade $\bar{y}_j < 0$ do produto industrial para produzir unidades do produto agrícola. Observe que a produção do setor agrícola é afetada pelo nível de emissões de CO_2 na atmosfera. Por simplicidade, não se considera a possibilidade de aumento na fertilização de algumas variedades agrícolas, através do aumento no estoque de CO_2 na atmosfera (*carbon fertilization*). A ideia é que maiores estoques de CO_2 na atmosfera contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas (IPCC, 2007). Diante da natureza da produção agrícola, que tem no clima um dos seus insumos fundamentais, um ambiente com maior variabilidade climática, portanto, é esperado causar danos à produtividade do setor agrícola.

Supõe-se que a função de produção do setor agrícola, $g^j(\bar{y}_j, \Psi^j E)$ é decrescente nos dois argumentos e estritamente côncava. O parâmetro Ψ^j governa o grau de impacto das emissões sobre a produtividade do setor agrícola na região j , onde $0 \leq \Psi^j \leq 1$. A presença deste parâmetro permite que o impacto das emissões seja assimétrico, refletindo a hipótese de que impactos de maiores proporções sejam sentidos mais fortemente em regiões menos avançadas tecnologicamente, e.g., região Nordeste. O conceito por trás desta pressuposição é que, quanto mais avançada tecnologicamente uma região, mais preparada ela está para implementar medidas que reduzam os efeitos adversos do aquecimento global e para se adaptar à nova realidade climática (MENDELSON; DINAR, 1999).

Para ilustrar esse aspecto, considere-se o conjunto hipotético de possibilidades de produção para o setor agrícola em duas situações distintas. Na primeira situação, que chamaremos de ideal, a

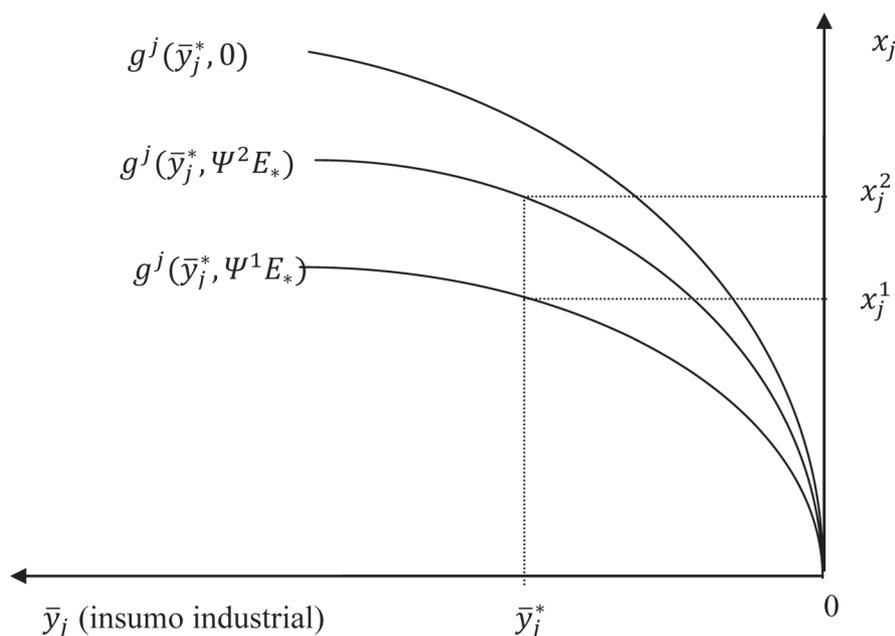


Figura 1 – Possibilidades de Produção do Setor Agrícola

Fonte: Elaboração própria

produção do setor agrícola $g^j(\bar{y}_j^*, 0)$ não é afetada pelo aquecimento global resultante das emissões de CO_2 . Nas demais, dado um mesmo nível de emissões E_* , o setor agrícola possui capacidades distintas de contrabalançar ou abater os efeitos negativos das mudanças climáticas, i.e., $0 \leq \Psi^2 < \Psi^1 \leq 1$. A Figura 1 ilustra essas situações.

Observe-se que, quando a produção não é afetada pelas emissões – ou pela ausência de emissões ou pela capacidade de abatimento total –, o nível de produção é máximo. Por outro lado, se a produtividade do setor agrícola for afetada pelas emissões de CO_2 , dado um mesmo nível de emissões e uso de insumos industriais, na situação em que a região é mais avançada tecnologicamente, Ψ^2 , a produção agrícola $g^j(\bar{y}_j^*, \Psi^2 E_*)$ superará a produção da situação em que a capacidade de abater os efeitos climáticos adversos é inferior, i.e., $g^j(\bar{y}_j^*, \Psi^1 E_*)$ $g^j(\bar{y}_j^*, \Psi^1 E_*)$.

Definindo $\bar{Y}_j \equiv I_j \bar{y}_j$ como a demanda total pelo produto industrial por parte do setor agrícola da região j , o produto total do setor agrícola da região j pode ser definido como $X_j = G^j(\bar{Y}_j, \Psi^j \sum_{i=1}^J F^i(\bar{X}_i))$, onde

$G^j(\bar{Y}_j, \Psi^j \sum_{i=1}^J F^i(\bar{X}_i)) \equiv A_j g^j\left(\frac{\bar{Y}_j}{A_j}, \Psi^j \sum_{i=1}^J F^i(\bar{X}_i)\right)$. Os lucros do setor agrícola da região j são definidos como $\pi_j^X \equiv p_x X_j + p_y \bar{Y}_j$.⁵

2.3 – Consumidores

Cada região j é habitada por um número grande de consumidores, por suposição, idênticos, dentro de cada região, com respeito à renda e preferências. Consumidores em cada região procuram maximizar uma função de utilidade $U^j(x_j, y_j) - \gamma^j(E)$ através do consumo de x_j unidades do bem agrícola e y_j unidades do bem industrial, tomando como dados os preços do produto industrial e do produto agrícola, e as emissões, E , de CO_2 .

Supõe-se que a função $U^j(x_j, y_j)$ é crescente em ambos os argumentos, quase-côncava e duas vezes continuamente diferenciável. O parâmetro γ^j

⁵ Como no caso do setor industrial, lucros são definidos como a soma entre receitas (valores positivos) advindas da venda dos produtos agrícolas, $p_x X_j$, e as despesas (valores negativos) com insumos, $p_y \bar{Y}_j$. Neste caso o bem industrial é utilizado como insumo na produção do bem agrícola. Ver nota de rodapé n. 3 para maiores detalhes da convenção utilizada neste artigo.

representa a desutilidade marginal causada pelas emissões de CO₂, refletindo, por exemplo, os danos causados à saúde dos consumidores. Por simplicidade, supõe-se que os danos são idênticos entre os indivíduos de todas as regiões, i.e., $\gamma^j = \gamma, \forall j$.

2.4 – Restrição de recursos

Cada região j é dotada inicialmente de X_j^0 unidades do bem agrícola e Y_j^0 unidades do bem industrial; portanto, o equilíbrio nos mercados requer que as seguintes condições sejam satisfeitas:

$$\sum_{i=1}^J (n_j x_j - X_j^0 - X_j - \bar{X}_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^J (n_j y_j - Y_j^0 - Y_j - \bar{Y}_i) = 0$$

Por simplicidade, o bem agrícola é usado como numerário e seu preço normalizado para 1, i.e., $p_x \equiv 1$. O preço do bem industrial pode então ser definido como $p_y \equiv p$, onde p representa o preço do bem industrial em termos do bem agrícola.

2.5 – Equilíbrio Centralizado

Imagine-se que exista um agente benevolente social que decida as alocações dos recursos de maneira a maximizar o bem-estar social de todas as regiões j . Esse agente maximizador, portanto, escolhe $\{x_j, y_j, X_j, Y_j, \bar{X}_i, \bar{Y}_i\}_{j=1}^J$ para maximizar $U^1(x_1, y_1) - \gamma(E)$, sujeito às condições de restrição. Como é bastante conhecido, a solução do problema do agente benevolente social produzirá condições que maximizarão o bem-estar social, o que incluirá necessariamente a internalização dos efeitos adversos causados pelas emissões de CO₂. Por outro lado, no equilíbrio descentralizado, pelo fato de os agentes individuais ignorarem os efeitos adversos que suas escolhas ótimas causam sobre os demais agentes, o resultado é um equilíbrio subótimo. Para restaurar a otimalidade do equilíbrio, faz-se necessária, portanto, a introdução de mecanismos que levem os agentes a internalizar os efeitos adversos causados sobre outros. Por exemplo, através da introdução de

quotas ou impostos Pigouvianos (CAPLAN; CORNES; SILVA, 2003; LAFFONT, 1988).

A despeito da importância dessa discussão, neste artigo, focaremos em um aspecto diferente.⁶ Particularmente, nosso interesse consiste em avaliar como regiões menos desenvolvidas poderão minimizar os efeitos adversos que alterações climáticas poderão potencialmente trazer sobre seu setor agrícola. Por trás deste interesse, está a observação histórica de que as ações de adaptação eficiente permitiram a introdução e adaptação da atividade agrícola em regiões consideradas inicialmente hostis a essa atividade, como foi observado por Olmstead e Rhode, (2009) para o caso dos Estados Unidos da América.

Estes autores notaram que a habilidade dos produtores de trigo, milho e algodão em se adaptarem a diferentes condições de temperatura, solo, incidência de pestes e precipitação em diferentes regiões nos Estados Unidos levou à expansão da área plantada e da produção dessas culturas naquele país. Tais agricultores pioneiros conseguiram contrariar prognósticos iniciais quanto ao futuro da produção e da área plantada e levaram a produção para regiões tipicamente não favoráveis. As utilizações de variedades mais resistentes e de técnicas que permitiam o uso mais eficiente da água levaram à expansão da agricultura em regiões mais áridas e de clima mais variável e, portanto, sugerem que o mesmo fenômeno de adaptação eficiente possa ser observado novamente.

Portanto, espera-se que ações de adaptação eficiente, que podem ser traduzidas em investimentos em formação de capital humano e melhoras no padrão tecnológico e na infraestrutura, serão elementos-chave na capacidade que a atividade agrícola, de um modo geral, seja em regiões desenvolvidas ou não, terá em se adaptar a uma nova realidade climática.

2.6 – A minimização dos efeitos adversos da poluição

Nosso interesse principal neste artigo é entender como a lucratividade do setor agrícola responderá a

⁶ Para essa discussão ver, por exemplo, Caplan; Cornes e Silva, (2003); Laffont, (1988).

mudanças climáticas advindas de um aumento na poluição atmosférica e de outras ações humanas. Em particular, o objetivo consiste em compreender como a lucratividade do setor agrícola responderá a mudanças nos fatores que determinam o grau de impacto das emissões sobre a agricultura. Intuitivamente, quanto maior a capacidade de abater os efeitos adversos da poluição, menor será o impacto sobre a lucratividade da atividade agrícola de uma região. Defina $\widetilde{\pi}_j^X$ como o lucro máximo obtido pelo setor agrícola de uma região j a partir da solução do problema de otimização. Da definição de lucro do setor agrícola, é possível mostrar que a lucratividade do setor agrícola sofrerá um impacto negativo em resposta a um aumento na poluição, ou seja:

$$\frac{\partial \widetilde{\pi}_j^X}{\partial E} = \psi^j G_E^j < 0$$

Onde G_E^j representa a primeira derivada da função de produção do setor agrícola, $G^j(Y_j, \psi^j E)$ em resposta a uma mudança no nível de poluição, E . Por definição, esta derivada apresenta valor negativo, capturando a ideia de que aumentos na poluição reduzem a produtividade do setor agrícola.

Note-se, mais uma vez, que os efeitos das emissões de CO_2 sobre a lucratividade do setor agrícola dependem do parâmetro ψ^j . Quando $\psi^j \rightarrow 0$, os efeitos são mínimos, enquanto, quando $\psi^j \rightarrow 1$, os efeitos são máximos. Este resultado bastante intuitivo nos leva a avaliar quais fatores determinariam o comportamento de ψ^j .

Suponha, por simplicidade, que o parâmetro ψ^j depende, dentre outras coisas, da disponibilidade de capital humano em uma região, H_j , e do padrão tecnológico, Z_j , e da infraestrutura, K_j . Portanto,

$$\psi^j = \psi(H_j, Z_j, K_j)$$

Onde ψ^j é, por suposição, estritamente decrescente em todos os argumentos, refletindo a ideia de que quanto maior o estoque desses três fatores, menor é a sensibilidade de uma região às emissões de CO_2 .

$$\frac{\partial \psi^j}{\partial H_j} < 0, \quad \frac{\partial \psi^j}{\partial Z_j} < 0, \quad \frac{\partial \psi^j}{\partial K_j} < 0$$

A partir disto, é possível perguntar, portanto, como a lucratividade do setor limpo da economia seria afetada por mudanças no estoque de capital humano, no padrão tecnológico e na infraestrutura econômica disponível. Em outras palavras, espera-se que

$$\frac{\partial \widetilde{\pi}_j^X}{\partial E \partial H_j} = G_E^j \frac{\partial \psi^j}{\partial H_j} > 0$$

$$\frac{\partial \widetilde{\pi}_j^X}{\partial E \partial Z_j} = G_E^j \frac{\partial \psi^j}{\partial Z_j} > 0,$$

$$\frac{\partial \widetilde{\pi}_j^X}{\partial E \partial K_j} = G_E^j \frac{\partial \psi^j}{\partial K_j} > 0$$

Ou seja, regiões com estoques maiores de capital humano, infraestrutura e padrão tecnológico sofrerão impactos menores das alterações climáticas causadas pela maior emissão de CO_2 . É precisamente este resultado que será objeto de nossa análise empírica.

3 – ESTRATÉGIA EMPÍRICA

Para avaliar como os estoques de capital humano, padrão tecnológico e infraestrutura afetam a capacidade de uma região em contrabalançar os efeitos adversos oriundos de alterações climáticas, será utilizada a abordagem hedônica ou Ricardiana.

A abordagem Ricardiana parte do pressuposto de que, se os mercados estiverem funcionando corretamente, o valor atual da terra reflete o valor presente de rendas futuras da terra e, portanto, reflete o valor líquido do melhor uso da terra, considerando todas as variáveis relevantes, e.g., tecnologia, clima, adaptação eficiente etc. Em outras palavras,

$$V_j = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{\widetilde{\pi}_{j,t}^X}{(1+r_t)^t}$$

Onde, como antes, $\widetilde{\pi}_{j,t}^X$ denota os lucros do setor agrícola na região j no período t ; r_t representa a taxa de juros; e V_j representa o valor atual da terra. Portanto, observando a relação entre o valor da terra, as variáveis climáticas e as demais variáveis relevantes, é possível inferir os impactos que as mudanças climáticas

poderão trazer sobre o setor agrícola. Além disso, será possível avaliar como as demais características de uma região determinam a sensibilidade de seu setor agrícola a variações climáticas.

O modelo empírico busca relacionar o valor da terra com um conjunto de variáveis que influenciam a produtividade da terra. Tipicamente, a formulação econométrica do modelo Ricardiano pode ser descrita da seguinte forma:

$$V_j = f(C_j, Z_j, H_j, K_j)$$

onde,

V_j representa a variável dependente do modelo (valor da terra);

C_j representa variáveis climáticas;

Z_j representa variáveis tecnológicas;

H_j representa capital humano;

K_j representa variáveis de infraestrutura;

Como é possível observar, dentre as variáveis que influenciam a produtividade da terra (e conseqüentemente o valor da terra), encontram-se variáveis climáticas, tecnológicas, de capital humano, de infraestrutura etc. No caso particular das variáveis climáticas – temperatura e precipitação – o modelo de regressão pressupõe que a relação entre estas e a produtividade da terra é possivelmente não linear. Portanto, na formulação do modelo de regressão, são incluídos termos quadráticos para as variáveis climáticas.

O objetivo da estimação econométrica é tentar capturar os efeitos das diversas variáveis sobre a produtividade da terra. Para isto, o modelo de regressão acima é estimado para o conjunto de municípios brasileiros onde há informações disponíveis. Como inexistem dados sobre o valor da terra nos censos agropecuários mais recentes (1995/1996 e 2005/2006), a análise utilizando o modelo Ricardiano será implementada com os dados dos censos agropecuários anteriores. No modelo econométrico, a variável dependente é o logaritmo natural do valor

da terra por hectare, o qual é a melhor estimativa dos proprietários sobre o valor da terra.⁷

As variáveis de clima usadas neste estudo são “normais climáticas”, uma média de trinta anos de temperatura (°C) e precipitação (mm/mês) para cada município. As médias são para os anos de 1961 a 1990. As observações mensais são agrupadas para se obter uma média sazonal para quatro estações: primavera, verão, outono e inverno. A Tabela 1, a seguir, sumariza algumas informações sobre as variáveis climáticas.

O aspecto tecnológico pode ser sumariado em algumas variáveis, como, por exemplo, utilização de assistência técnica, de adubos e fertilizantes etc. No modelo de regressão estimado, utilizou-se a variável de número de tratores por hectare como *proxy* para o desenvolvimento tecnológico do município. Para a variável que representa o estoque de capital humano, foi utilizado um indicador de capital humano disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Econômicas e Aplicadas (Ipea) para cada município. E finalmente, a taxa de urbanização do município foi utilizada como *proxy* para a disponibilidade de infraestrutura.

Um aspecto importante na determinação da produtividade consiste na qualidade do solo utilizado para agricultura nos diferentes municípios. Nosso modelo emprega o percentual de terras não aproveitáveis (em relação ao total da área dedicada à agricultura) como variável *proxy* para a qualidade do solo dos municípios. A ideia é que uma grande proporção de terras desertificadas, degradadas, erodidas, salinizadas, pântanos, areias, pedreiras etc. sinalizaria baixa qualidade das demais terras disponíveis para a agricultura.

7 Féres; Reis; Speranza, (2011) apontam uma possível restrição à aplicação do modelo hedônico ao caso brasileiro em função do processo inflacionário pelo qual o país passou durante a década de 1980 e parte da década de 1990. Segundo esses autores, há a possibilidade de que o preço das terras agrícolas no país inclua também um componente especulativo (gerado por uma estratégia de hedge contra os efeitos da inflação). Esse comportamento pode afetar a confiabilidade do coeficiente estimado (aumento do seu valor), caso o objetivo seja gerar projeções de impactos futuros. Todavia, no presente artigo, o interesse é unicamente no sinal do coeficiente estimado e não no seu tamanho.

Tabela 1 – Sumário Estatístico das Variáveis Climáticas

| | Brasil | Semiárido | Nordeste | Sudeste | Centro-Oeste | Norte | Sul |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Precipitação verão (mm por mês) | 24.6 [16,8; 28,8] | 25.96 [22,0; 28,8] | 26.14 [22,0; 28,8] | 23.47 [16,8; 26,9] | 25.14 [22,0; 28,1] | 26.18 [24,6; 27,3] | 23.17 [18,0; 26,2] |
| Precipitação inverno (mm por mês) | 130.15 [30,6; 496,1] | 109.3 [30,6; 288,1] | 143.33 [30,6; 392,1] | 92.38 [46,6; 286,0] | 128.38 [90,9; 257,6] | 243.88 [106,8; 496,1] | 123.38 [83,6; 192,7] |
| Precipitação outono (mm por mês) | 20.31 [10,4; 27,4] | 23.23 [18,8; 27,3] | 23.7 [18,9; 27,4] | 18.41 [10,4; 23,2] | 22.45 [18,2; 15,6] | 25.93 [23,2; 27,4] | 15.08 [10,8; 19,7] |
| Precipitação primavera (mm por mês) | 23.16 [13,9; 29,3] | 25.49 [21,0; 29,3] | 25.7 [21,0; 29,3] | 21.74 [14,4; 26,1] | 25.26 [22,2; 27,5] | 26.97 [25,4; 28,5] | 19.19 [13,9; 23,6] |
| Temperatura inverno (°C) | 22.86 [14,4; 27,6] | 24.91 [21,4; 27,6] | 25.24 [21,4; 27,6] | 21.55 [14,4; 25,7] | 24.39 [21,2; 26,8] | 26.19 [24,8; 27,1] | 19.37 [14,8; 22,8] |
| Temperatura outono (°C) | 20.31 [10,4; 27,4] | 23.23 [18,8; 27,3] | 23.7 [18,9; 27,4] | 18.41 [10,4; 23,2] | 22.45 [18,2; 25,6] | 25.93 [23,2; 27,4] | 15.08 [10,8; 19,7] |
| Temperatura primavera (°C) | 23.16 [13,9; 29,3] | 25.49 [21,0; 29,3] | 25.7 [21,0; 29,3] | 21.74 [14,4; 26,1] | 25.26 [22,2; 27,5] | 26.97 [25,4; 28,5] | 19.19 [13,9; 23,6] |
| Temperatura verão (°C) | 24.6 [16,8; 28,8] | 25.96 [22,0; 28,8] | 26.14 [22,0; 28,8] | 23.47 [16,8; 26,9] | 25.14 [22,0; 28,1] | 26.18 [24,6; 27,3] | 23.17 [18,0; 26,2] |
| Percentual de área não-aproveitável (%) | 2 [0,0; 55,4] | 4 [0,0; 55,4] | 3 [0,0; 55,4] | 2 [0,0; 31,9] | 1 [0,0; 31,1] | 2 [0,0; 31,9] | 2 [0,0; 35,7] |

Fonte: Ipeadata

Nota: As variáveis de precipitação são estimativas das médias trimestrais municipais de precipitação pluviométrica (em milímetros por mês) para cada estação sazonal nos 30 anos que se estendem de 1961 a 1990. Essas estimativas foram realizadas a partir da base de dados climáticos CRU CL. As variáveis de temperatura são estimativas das médias trimestrais municipais de temperatura (em graus centígrados) para as estações climáticas nos 30 anos que se estendem de 1961 a 1990. Essas estimativas foram realizadas a partir da base de dados climáticos CRU CL 2.0 10' d. O percentual de áreas não aproveitáveis é calculado como [Áreas das Terras Inaproveitáveis para agricultura ou pecuária (pântanos, areais, pedreiras etc.) (em hectares) + Áreas das Terras degradadas (erodidas, desertificadas, salinizadas etc.)] / Área total para a agricultura. Valores entre colchetes indicam mínimos e máximos. Elaboração Própria. Fonte: Ipeadata.

As variáveis climáticas foram utilizadas como desvios da média para facilitar a interpretação. As regressões foram ainda ponderadas pela área total na agricultura em cada município. Como observado por Sanghi e Mendelsohn, (2008), municípios maiores, incluindo um maior número de fazendas, tendem a ter menos erros de mensuração e, portanto, merecem maior peso nas estimações. A ponderação também tem o benefício de reduzir a importância do valor da terra das fazendas em áreas urbanas, fato este que tende a aumentar o valor da terra por conta da proximidade aos mercados.

O método de Mínimos Quadrados Ordinários ponderados foi adotado para estimar o modelo de regressão. A área total na agricultura foi utilizada como ponderador nas regressões, de maneira a reduzir a importância de municípios onde a atividade agrícola é pouco relevante.

4 – RESULTADOS DO MODELO RICARDIANO

A Tabela 2 apresenta os resultados para o modelo Ricardiano para o conjunto de municípios brasileiros.

Os resultados para as variáveis de temperatura indicam que invernos e primaveras mais quentes (acima da média) são, em geral, positivamente correlacionados com o valor da terra, enquanto verões e outonos mais quentes acabam afetando a produtividade da terra de maneira negativa.

Os coeficientes das variáveis quadráticas de temperatura foram todos estatisticamente significativos, à exceção do coeficiente para a temperatura de verão, o que sugere uma relação não linear entre temperatura e produtividade do setor agrícola. Os resultados empíricos ainda sugerem que invernos com chuvas acima da média apresentam um efeito negativo sobre a produtividade do setor agrícola, embora o impacto seja pequeno.

As variáveis que buscam capturar as informações sobre a qualidade da terra apresentaram sinal como esperado. A variável percentual de terras não aproveitáveis (como total da área dedicada à agricultura) reflete a ideia de que municípios

com grande proporção de terras desertificadas, degradadas, erodidas, salinizadas, pântanos, areias, pedreiras etc. sinalizariam baixa qualidade das demais terras disponíveis para a agricultura. Portanto, o sinal esperado para o coeficiente dessa variável seria negativo.

O interesse principal deste trabalho consiste em avaliar empiricamente as relações entre os efeitos de um clima mais quente sobre a lucratividade (produtividade esperada) da agricultura e em relação aos aumentos nos estoques de capital humano, padrão tecnológico e infraestrutura econômica disponível. Recapitulando, o objetivo é avaliar se as seguintes implicações obtidas a partir do modelo teórico encontram suporte nos dados

$$\frac{\partial \pi_j^x}{\partial E \partial H_j} > 0, \quad \frac{\partial \pi_j^x}{\partial E \partial Z_j} > 0, \quad \frac{\partial \pi_j^x}{\partial E \partial K_j} > 0$$

No nosso modelo empírico, essas relações são representadas pelos termos cruzados entre estoque de capital humano e temperatura, quantidade de tratores por hectare e temperatura e, finalmente, taxa de urbanização e temperatura. Note-se que verões e outonos mais quentes afetam a produtividade da terra negativamente; portanto, para que maiores disponibilidades de infraestrutura (taxa de urbanização), de capital humano e tecnologia (tratores por hectare) reduzam os impactos negativos de um clima mais quente, os sinais dos termos cruzados precisariam ser positivos, como implicado pelo modelo teórico. Portanto, a estratégia empírica adotada oferece suporte aos resultados do modelo teórico, segundo o qual regiões com estoques maiores de capital humano, infraestrutura e padrão tecnológico sofrerão impactos menores das alterações climáticas causadas pela maior emissão de CO₂.

5 – CONCLUSÕES

A contribuição principal deste trabalho consiste na elaboração de um modelo teórico que possa prover a intuição básica para a observação de que os maiores

Tabela 2 – Resultados dos Modelos de Regressão – variável dependente Valor da Terra 1985 (Valores deflacionados para R\$ de 2000) – Municípios Brasileiros

| Variável Independente | Coefficiente | Desvio Padrão | Estatística t | Valor p |
|---|--------------|---------------|---------------|---------|
| Constante | 11.00 | 1.11 | 9.91 | 0.00 |
| Temperatura inverno | 5.57 | 2.69 | 2.07 | 0.04 |
| Temperatura outono | -11.26 | 2.11 | -5.33 | 0.00 |
| Temperatura primavera | 10.52 | 1.76 | 5.98 | 0.00 |
| Temperatura verão | -1.98 | 2.10 | -0.94 | 0.35 |
| Quadrado da temperatura – inverno | -0.05 | 0.01 | -4.85 | 0.00 |
| Quadrado da temperatura – outono | 0.08 | 0.01 | 11.08 | 0.00 |
| Quadrado da temperatura – primavera | -0.06 | 0.01 | -8.53 | 0.00 |
| Quadrado da temperatura – verão | -0.01 | 0.01 | -1.32 | 0.19 |
| Precipitação – inverno | - 0.002 | 0.00 | -4.27 | 0.00 |
| Quadrado da precipitação – inverno | 0.00 | 0.00 | -6.21 | 0.00 |
| % de área não-aproveitável | -1.63 | 0.52 | -3.11 | 0.00 |
| Taxa de urbanização | 0.26 | 0.10 | 2.45 | 0.01 |
| Capital humano1991 | -0.10 | 0.12 | -0.86 | 0.39 |
| Tratores 1985 | 135.99 | 3.37 | 40.35 | 0.00 |
| Capital Humano * Temperatura verão | 0.12 | 0.22 | 0.56 | 0.58 |
| Capital Humano * Temperatura outono | 1.16 | 0.22 | 5.19 | 0.00 |
| Capital Humano * Temperatura inverno | -0.46 | 0.28 | -1.63 | 0.10 |
| Capital Humano * Temperatura primavera | -1.13 | 0.19 | -6.13 | 0.00 |
| Tratores * Temperatura verão | 47.93 | 5.26 | 9.10 | 0.00 |
| Tratores * Temperatura inverno | -169.29 | 7.42 | -22.82 | 0.00 |
| Tratores * Temperatura outono | 32.84 | 6.61 | 4.97 | 0.00 |
| Tratores * Temperatura primavera | 105.64 | 4.91 | 21.49 | 0.00 |
| Taxa de urbanização * Temperatura inverno | -0.65 | 0.28 | -2.29 | 0.02 |
| Taxa de urbanização * Temperatura verão | 0.68 | 0.19 | 3.59 | 0.00 |
| Taxa de urbanização * Temperatura outono | -0.20 | 0.22 | -0.89 | 0.38 |
| Taxa de urbanização * Temperatura primavera | 0.36 | 0.18 | 1.95 | 0.05 |
| Adubação 1995 | 0.67 | 0.53 | 1.25 | 0.21 |
| Controle pragas 1995 | 1.06 | 0.49 | 2.15 | 0.03 |
| Assistência técnica 1995 | 3.62 | 0.82 | 4.41 | 0.00 |
| Energia elétrica 1995 | 3.30 | 0.58 | 5.73 | 0.00 |
| Nordeste | -0.77 | 0.07 | -10.37 | 0.00 |
| R ² Ajustado | 0.85 | | | |
| Estatística F | 671.31 | | | |
| Probabilidade (Estatística F) | 0.00 | | | |
| Observações incluídas | 3689 | | | |

Fonte: Elaboração dos autores

Nota: os modelos foram estimados utilizando-se o método de mínimos quadrados ponderados. Ponderação: Área Total na Agricultura.

efeitos das alterações climáticas deverão ser sentidos em regiões menos desenvolvidas. Dentro deste objetivo, o trabalho procura avaliar quais ações podem ser relevantes para a minimizar os efeitos adversos que um clima mais quente poderá trazer ao setor agrícola brasileiro. Para tal fim, este trabalho utiliza a abordagem hedônica, a qual tem sido amplamente utilizada na literatura relevante (Mendelsohn, Nordhaus e Shaw, 1994; Evenson e Alves, 1998; Mendelsohn e Dinar, 1999; Sanghi e Mendelsohn, 2008).

Os resultados apontaram que as variáveis de infraestrutura, de tecnologia e de desenvolvimento humano são todas importantes e contribuem positivamente para a produtividade do setor agrícola. Adicionalmente, como previsto pelo modelo teórico, a interação dessas variáveis com as variáveis de clima possui o potencial de reduzir os impactos adversos causados pelas alterações climáticas, sugerindo, portanto, que a adoção de políticas públicas que possam ajudar os agricultores de regiões potencialmente mais afetadas a implementar ações de mitigação dos efeitos negativos e de adaptação eficiente a um clima mais adverso pode trazer resultados bastante promissores.

Essas ações envolvem, por exemplo, a melhora na infraestrutura, na ampliação do número de propriedades que utilizam assistência técnica, que possuem eletricidade, bem como na qualidade e quantidade de investimentos em capital humano, dentre outras ações. Na ausência de tais políticas públicas que visem compensar os efeitos negativos de um clima mais adverso e na falta de incentivos para a adaptação eficiente por parte dos agricultores localizados em regiões mais pobres, o resultado poderá ser a ampliação das desigualdades regionais de renda.

ABSTRACT

In this paper we develop a theoretical model wh This paper develops a theoretical model whereby we show that the size and extension of the adverse impacts of climate change in a particular region can be associated with its level of economic development. The model shows also that the investment in human capital, infra-structure and technology has the potential

to offset the adverse impacts of climate change. Finally, it faces the implications of the theoretical model with the data and shows that however the direction of the impacts is uncertain, better infrastructure, human capital availability and technology are associated with higher productivity levels, and all have the potential to mitigate the adverse effects of climate changes on the agricultural sector in Brazil. All together, these results suggest the proposition of public policies aiming to increase the availability of those factors in peripheral regions.

KEY WORDS

Climate Change. Agriculture. Hedonic Model.

REFERÊNCIAS

CAPLAN, A. J., CORNES, R. C.; SILVA, E. C. D., An ideal Kyoto protocol: emissions trading, redistributive transfers and global participation, **Oxford Economic Papers**. New Orleans. v.55, n. , p. 216-234, 2003. (New series).

EVENSON, R. E.; ALVES, D. C. O., Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture. **Planejamento e Políticas Públicas**, [s. l], n.18, p. 223-260, dez. 1998.

FÉRES, J, REIS, E, SPERANZA, J., Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro. *In*: MOTTA, Ronaldo Seroa da; HARGRAVE, Jorge; LUEDEMANN, Gustavo; GUTIERREZ, Maria Bernadete. **Mudança do clima no Brasil**: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília: Ipea, 2011, p. 299-312.

HOUSE OF LORDS- Select Committee on Economic Affairs. The Economics of Climate Change. London: The Stationery Office Limited, 2006. Volume I.

INTER-GOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2007**: Synthesis report Summary for Policymakers. Genebra, Suíça: Cambridge University Press, 2007, 104 p. Disponível em: < http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf> . Acesso em: 29 jan. 2014..

LAFFONT, J. J. **Fundamentals of public economics**, EUA: MIT press, 1988, 275 p.

MAS-COLELL, A., WHINSTON, M. D. e Green, J. R. **Microeconomic theory**, New York: Oxford University Press, 1995, 501 p.

MENDELSON, R.; DINAR, A., Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? **The World Bank Research Observer**, Washington v.14, n. 2. Aug. p.277-293, 1999.

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

OLMSTEAD, A. L.; RHODE, P. W., Responding to Climatic Challenges: Lessons from U.S. Agricultural Development. In: LIBECAP, G. D; STECKEL, R. H. (editors). **The Economics of Climate Change: Adaptations Past and Present**, Chicago: University of Chicago Press, 353 p.2011.

Reis, J. F. E. e Speranza, J., 2008, **Assessing the impact of climate change on the Brazilian agricultural sector**. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – Ipea (mimeo).

SANGHI, A.; MENDELSON, R., The impacts of global warming on farmers in Brazil

and India. **Global Environmental Change**, Washington, v.18, p. 655-665, 2008.

SILVA, E. C. D.; XIE. Z. Emissions trading of global and local pollutants, pollution havens, and free riding. **Journal of Environmental Economics and Management**, Atlanta, v.58, p.169-182, 2009.

THE NATIONAL ARCHIVES (A). HM Treasury, Stern review on the economics of climate change. Executive Summary. London, 2007. Disponível em: < http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm >. Acesso: 30 jan. 2014.

STERN, N. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

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

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