UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O PADRÃO DO USO DO SOLO NO BRASIL

Eduardo Colagrossi Paes Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Amaral Haddad

SÃO PAULO

2011

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Reinaldo Guerreiro
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Denisard Cnéio de Oliveira Alves
Chefe do Departamento de Economia

Prof. Dr. Pedro Garcia Duarte
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

EDUARDO COLAGROSSI PAES BARBOSA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O PADRÃO DO USO DO SOLO NO BRASIL

Dissertação apresentada ao
Departamento de Economia da
Faculdade de Economia, Administração
e Contabilidade da Universidade de São
Paulo como requisito para obtenção do
título de Mestre em Economia.

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo
Amaral Haddad**

Versão Original

SÃO PAULO

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Barbosa, Eduardo Colagrossi Paes

Mudanças climáticas e o padrão do uso do solo no Brasil / Eduardo Colagrossi Paes Barbosa. -- São Paulo, 2011.
63 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2011.
Orientador: Eduardo Amaral Haddad.

1. Economia regional 2. Mudança climática 3. Uso do solo – Brasil
4. Agricultura – Brasil 5. Microeconomia I. Universidade de São Paulo.
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade II. Título.

CDD – 338.09

Aos meus pais.

Esta dissertação é o produto final de meses de estudo para a ANPEC, inúmeras listas, provas e trabalhos durante os créditos do mestrado e, finalmente, a dissertação em si, na qual tenho trabalhado desde 2009. A jornada até aqui foi árdua, porém gratificante, e não teria chegado ao final se não fossem algumas pessoas. Por isso, gostaria de agradecê-las aqui.

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Silas e Regina, e aos meus irmãos Fábio, Renata e Isabela, que mesmo sem ter ideia do que era um mestrado em economia, apoiaram-me incondicionalmente nos momentos mais difíceis e, acima de tudo, acreditaram sempre em mim, até quando nem eu mesmo acreditei.

Aos colegas do IPE-USP, que me ajudaram no desenvolvimento acadêmico e pessoal e proporcionaram momentos dos quais jamais irei me esquecer. Ao pessoal mais velho do IPE, pela ajuda no começo do mestrado. Ao pessoal do meu ano, em especial aos colegas como o Luís, o Sérgio e o Thomaz, pelo companheirismo. Ao pessoal mais novo, pelas tardes na salinha de micros. Ao pessoal do Nereus, em especial ao Weslem, sempre muito prestativo e um grande companheiro de pesquisa. Todos grandes amigos, que levarei para toda a vida.

Na elaboração da dissertação gostaria de agradecer ao meu orientador, Eduardo Haddad, sempre muito presente e prestativo e que me apresentou à área de Economia Regional. Ao meu co-orientador José Féres do IPEA, pelas sugestões, foi muito proveitoso poder contar com a ajuda tão próxima de uma referência no campo de pesquisa deste trabalho. Finalmente, ao professor Antonio Paez, que me deu a oportunidade de escrever parte desta dissertação no Canadá e que também foi de grande auxílio no desenvolvimento da mesma. Além deles, vale também mencionar o professor Carlos Azzoni, que acompanhou de perto o desenvolvimento do trabalho sempre com críticas e sugestões pertinentes, além do professor Naércio que também fez sugestões valiosas no desenvolvimento do mesmo.

Também não poderia esquecer-me de agradecer à Talita, pela ajuda na formatação e na revisão do texto.

Por fim, agradeço o CNPq, a FIPE e a Rede CLIMA pelo apoio financeiro.

**“Até agora não pudemos saber se há ouro
ou prata nela, ou outra coisa de metal, ou
ferro; nem lha vimos. Contudo a terra em si
é de muito bons ares frescos e temperados
como os de Entre-Douro-e-Minho, porque
neste tempo, d'agora assim os achávamos
como os de lá. Águas são muitas; infinitas.
Em tal maneira é graciosa que, querendo-a
aproveitar, dar-se-á nela tudo... “**

Pero Vaz de Caminha

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os impactos de mudanças climáticas sobre o padrão do uso da terra no Brasil. Para tanto foi utilizado um modelo microfundamentado de alocação ótima do solo para diferentes usos, derivado a partir de um agente representativo com seis opções de uso do solo: soja, milho, cana-de-açúcar, outras lavouras, pastos e florestas. A partir da estimação dos coeficientes deste modelo foram realizadas simulações com previsões de temperatura e níveis de precipitação fornecidos pelo CNTP/INPE, para cenários de mudanças climáticas elaborados pelo IPCC, nos períodos de 2010-39, 2040-69 e 2070-2099. Os resultados encontrados se mostraram heterogêneos no espaço, mas foi identificada uma tendência em todo país de aumento das áreas de pasto e diminuição das áreas de floresta.

ABSTRACT

The objective of this dissertation is to assess the impacts of climate change on the land use pattern in Brazil. To do so an economic model for optimal land use allocation was used. This model was derived from the profit maximization problem of a representative agent that has six options of land use: soybean, corn, sugar cane, other crops, pasture land and forests.

From the estimated coefficients of the model simulations were carried using forecast data for temperature and precipitation in three periods of times 2010-39, 2040-69 and 2070-99. The results varied greatly in different regions but in general the area for pasture land increased while the areas for forests declined.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Aplicações Para o Caso Brasileiro	8
3. METODOLOGIA	11
3.1 Modelo Econômico	11
3.2 Especificação Econométrica.....	13
3.3 Simulação	18
4. BASE DE DADOS.....	19
4.1 Uso da terra	19
4.2 Preços dos produtos: soja, milho, cana, lavoura, pasto e floresta.....	19
4.3 Preços dos insumos: terra e mão de obra.....	20
4.4 Variáveis climáticas observadas.....	21
4.5 Variáveis climáticas previstas	21
4.6 Variáveis agronômicas	22
4.7 Estatísticas Descritivas	22
5. RESULTADOS	25
5.1 Modelo de uso da terra	25
5.2 Simulações	28
5.2.1 Simulações – Resultados para o Brasil.....	29
5.2.2 Simulações – Resultados Regionais	32
6. COMENTÁRIOS FINAIS	37
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação das Regiões no Uso da Terra	22
Tabela 2 - Uso da Terra por Região.....	23
Tabela 3 - Variação nas Áreas Cultivadas 06/95	24
Tabela 4 - Resultados da Regressão	25
Tabela 5 - Coeficientes e Significância das Variáveis Climáticas	27
Tabela 6 - Resultados das Simulações para o Brasil – Variação Percentual e em Mil Hectares.....	29
Tabela 7 - Participação de cada Cultura no Uso da Terra - Atual e Simulações.....	31
Tabela 8 - Resultados das Simulações para Região Norte.....	33
Tabela 9 - Resultados das Simulações para Região Nordeste.....	34
Tabela 10 - Resultados das Simulações para Região Sudeste.....	34
Tabela 11 - Resultados das Simulações para Região Sul.....	35
Tabela 12 - Resultados das Simulações para Região Centro-Oeste.....	36

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente a preocupação de diversos setores da sociedade com os possíveis impactos econômicos e sociais das mudanças climáticas. Evidências empíricas cada vez mais consistentes indicam que o aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera levará a consideráveis mudanças no clima do planeta. Assim sendo, a discussão sobre os possíveis impactos econômicos das mudanças climáticas tem ganhado espaço no debate acadêmico e o estudo destes impactos, tanto globais quanto regionais, é fundamental para o entendimento do problema e para subsidiar a tomada de decisões de políticas públicas.

É consensual que as mudanças climáticas deverão gerar impactos em diversos setores da economia. O setor agropecuário é primordial para o entendimento dos impactos econômicos destas mudanças nas diversas regiões do globo, já que é diretamente influenciado por alterações na temperatura e na precipitação. No caso do Brasil, especificamente, têm-se que a agropecuária representa parte significativa da pauta de exportações do país, tendo sido responsável por 37,9% das exportações em 2010. Portanto, é um setor de grande relevância para a estabilidade macroeconômica e da balança de pagamentos do país observada na última década. Ademais, a relevância da agropecuária no contexto das mudanças climáticas é especialmente grande no Brasil por ser este o setor responsável por parte considerável da emissão de gás carbônico (CO₂).

Assim sendo, a agricultura é um dos mais importantes elos entre as mudanças no clima e os impactos gerados na economia.

Faz muitos anos que os meteorologistas estudam o clima de uma perspectiva científica. Num primeiro momento, não é trivial perceber como o estudo relacionado ao clima pode ser enquadrado dentro da metodologia de trabalho da ciência econômica moderna. Para tanto, é importante notar que este elo ocorre a partir do momento em que as variáveis climáticas tidas como constantes no tempo passam a não mais apresentar esta característica e os possíveis efeitos de tais mudanças passam a afetar as populações ao redor do globo de diversas maneiras.

A partir do cenário descrito acima, o ferramental microeconômico permite a construção de modelos teóricos que relacionam a tomada de decisões dos agentes em uma economia com as variáveis do clima. A teoria microeconômica possibilita a construção de um modelo analítico que relaciona as variáveis climáticas às diferentes opções de tomada de decisões. Uma vez que há um modelo microfundamentado, pode-se usar dados observados para estimar seus parâmetros e, assim, entender como as variáveis climáticas influenciam a variável estudada. Para a estimação do modelo, utiliza-se o ferramental econométrico moderno, que tem evoluído cada vez mais.

No presente trabalho, busca-se analisar como mudanças em variáveis climáticas – mais especificamente temperatura e precipitação – podem alterar o padrão de uso do solo no Brasil, buscando fornecer informações de como o mapa da agropecuária brasileira pode vir a ser afetado dadas as projeções de mudanças no clima. Para tanto, propõe-se um modelo econômico microfundamentado derivado a partir do problema de maximização de lucro de um agente representativo que aloca a área disponível para diferentes usos. A partir da estimação dos parâmetros deste modelo e de projeções de longo prazo sobre temperatura e precipitação, pode-se construir um cenário consistente para o padrão de uso da terra no Brasil até o final do século XXI.

Este trabalho está dividido da seguinte maneira: na primeira seção é feita uma revisão da literatura atual acerca dos efeitos das mudanças climáticas sobre a produção da agropecuária, enfatizando-se os resultados para o caso brasileiro. A seguir, apresentam-se o modelo econômico e uma discussão sobre a especificação econométrica empregada. A seção seguinte detalha a construção da base de dados utilizada, seguida pelos resultados do modelo estimado e das simulações. Por fim, há a conclusão do trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O estudo de impactos econômicos causados pelas mudanças climáticas é, por natureza, multidisciplinar. Portanto, grande parte da literatura que aborda o tema é derivada de estudos de outras áreas do conhecimento diferentes da economia. Os primeiros trabalhos que abordavam os efeitos das mudanças climáticas globais na agricultura sob uma perspectiva econômica surgiram na década de 1980, fruto da crescente preocupação de diversos países em relação a possíveis efeitos maléficos de alterações no meio ambiente. Estes trabalhos buscavam entender as mudanças de produtividade que poderiam ser causadas pelas mudanças climáticas em culturas e regiões específicas. É interessante notar que tais artigos foram derivados de estudos que analisavam o impacto de outros fatores no setor agrícola, como o nível de CO₂ ou a quantidade de irrigação ou adubo utilizada (Moore e Negri, 1992).

Durante as últimas duas décadas, com o crescente interesse em entender os potenciais impactos das mudanças climáticas, o tema passou a fazer parte da agenda de pesquisa dos economistas. Dada a maior atenção destes profissionais e o aumento da capacidade computacional necessária para algumas abordagens de métodos quantitativos, os modelos e a estimação dos mesmos se sofisticaram, buscando não apenas entender as influências das alterações nas variáveis climáticas na produtividade de culturas específicas, mas também como essas alterações influenciariam o setor agrícola como um todo. Assim, diversos modelos foram propostos, incluindo os que buscavam entender a dinâmica do padrão do uso do solo e do desmatamento.

Pode-se dividir a literatura sobre o tema em quatro tipos de abordagens: a da função de produção; a Ricardiana; a de efeitos fixos; e os modelos ABLUM (*agent-based land-use models*).

A abordagem da função de produção tem como foco a função que relaciona a produção de uma determinada cultura com variáveis climáticas, como pluviosidade e média de temperaturas. A partir da estimação dos parâmetros, faz-se a projeção da produção dadas as previsões para as variáveis climáticas, obtendo-se resultados que podem tanto ser regionais quanto nacionais.

O primeiro tipo de modelo de função de produção é o chamado modelo agrônômico [Decker et al. (1986), Adams (1989), entre outros]. O modelo agrônômico é calibrado a partir de experimentos e captam a maneira como as culturas reagem ao aumento da concentração de CO₂ e às mudanças nas temperaturas e chuvas. O modelo calibrado oferece os parâmetros relacionados às variáveis climáticas de interesse, sendo usado para projeções na produção das culturas. Decker et al. (1986) e Adams (1989) utilizaram este ferramental para estudar os impactos de mudanças climáticas em culturas específicas dos Estados Unidos.

Outro tipo de abordagem de função de produção é a chamada função de produção empírica. Nela, analisam-se como os dados reais referentes à produção variam com diferentes condições climáticas. A partir de uma regressão de *cross section* é possível isolar os efeitos referentes às variáveis climáticas. Os resultados deste tipo de estimação mostram a sensibilidade de cada cultura em relação às variáveis estudadas. Um exemplo da aplicação deste ferramental pode ser encontrado em Sands e Edmonds (2005), que analisaram as culturas de sorgo e milho para o caso americano.

As críticas tanto ao modelo agrônômico como à abordagem da função de produção empírica baseiam-se em sua carência de habilidade para captar a capacidade de adaptação às novas condições climáticas por parte dos produtores rurais. Os modelos não se baseiam em hipóteses explícitas sobre o processo de decisão dos agentes econômicos, de modo que as mudanças captadas consideram exógenas as suas ações. Além disso, os modelos agrônômicos, por serem mais complexos tecnicamente, foram calibrados para poucas culturas em poucas localidades, o que não os torna boas ferramentas para análise global dos impactos das mudanças climáticas na agropecuária.

A abordagem Ricardiana, como o próprio nome sugere, baseia-se no conceito de renda Ricardiana da terra. Esse tipo de análise supõe que os mercados de terra funcionem de maneira eficiente e, portanto, o preço do hectare reflete o fluxo descontado das rendas agrícolas futuras, a análise então assume que os agentes tem informações suficientes para prever os rendimentos futuros e calcular o fluxo descontado. Outra suposição é a de que os produtores aloquem a produção em suas terras nas atividades mais rentáveis possíveis, levando-se em conta as variáveis econômicas e climáticas, de modo que o efeito das mudanças climáticas estaria já refletido nos preços das terras. Como os produtores rurais escolheriam otimamente os níveis de insumo de acordo com as condições dadas, a abordagem

Ricardiana conseguiria captar a adaptação dos agentes às mudanças no clima. Porém, como enfatizado por Mendelsohn e Dinar (2009) esta abordagem trata a adaptação dos agentes como uma “caixa preta” – não é explícito no modelo como os agentes se adaptam às circunstâncias para maximizar seu lucro.

Mendelsohn et al. (1994) foi pioneiro na utilização da abordagem Ricardiana para o caso americano. No entanto, mais recentemente, este tipo de abordagem vem sofrendo críticas. Uma delas é que a estimação dos modelos sofreria do problema do viés de variável omitida. Isto estaria ocorrendo, pois existiriam variáveis não observadas exercendo grande influência no preço das terras, tais como características específicas do mercado de cada região. Estas variáveis não estariam especificadas nos modelos da abordagem Ricardiana. Desta maneira, os efeitos das variáveis climáticas captados pela abordagem Ricardiana podem estar incorporando os efeitos das variáveis omitidas, gerando uma estimativa visada destes coeficientes.

Introduzido por Deschenes e Greenstone (2007), o modelo de efeitos fixos é proposto como alternativa ao problema da variável omitida da abordagem Ricardiana. Isso porque este novo modelo tem como variável a ser explicada o lucro dos produtores rurais, e utiliza os desvios de temperatura e precipitação observados em determinado ano com relação a média histórica para captar os efeitos de mudanças climáticas na lucratividade. Ao estimar o modelo com a metodologia de painel de efeitos fixos as possíveis variáveis omitidas, que são constantes ao longo do tempo, não mais causariam viés na estimação dos parâmetros.

Os modelos descritos anteriormente buscam captar a influência de variáveis climáticas na produção de determinada cultura e no lucro ou preço da terra de determinada região. Estes diferentes tipos de abordagem não levam em conta a tomada de decisão dos agentes. Os modelos ABLUM tentam captar, em um primeiro momento, como essas variáveis influenciam a tomada de decisão dos agentes para, então, estudar como a mudança nas decisões influenciariam o setor agropecuário como um todo. Matthews et al (2007) descreve os modelos baseados na tomada de decisão dos agentes da seguinte maneira:

“Agent-based modeling is an approach that has been receiving attention by the land use modeling community in recent years, mainly because it offers a way of incorporating the influence of human decision making on land use in a mechanistic, formal, and spatially explicit way, taking into

account social interaction, adaptation, and decision-making at different levels. Specific advantages of agent-based models include their ability to model individual decision making entities and their interactions, to incorporate social processes and non-monetary influences on decision-making, and to dynamically link social and environmental processes.”

Modelos ABLUM partem do problema de maximização de lucro de um agente, e a partir deste problema são derivadas áreas ótimas de cada tipo de uso de solo. Este tipo de modelo não é usado especificamente apenas para o estudo de mudanças climáticas, como é o caso de Platinga (1996), que usa esta abordagem para medir os impactos de subsídios agrícolas no uso do solo.

Como as mudanças climáticas são processos contínuos e dinâmicos, é natural pensar que a adaptação dos agentes também o seja, e assim, os modelos ABLUM seriam um bom ferramental para o estudo dos impactos das mudanças climáticas na decisão de alocação de terra dos agentes. Segundo Feres et al. (2009) o processo de decisão do agente é derivado a partir do problema de otimização abaixo:

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m \pi_i(p, r, n_i, X) \quad \text{s. a: } \sum_{i=1}^m n_i = N \quad (1)$$

em que o índice i representa cada tipo de atividade; n_i são as variáveis de escolha e representam a área escolhida para cada tipo de atividade, enquanto N é a área total disponível. Tem-se ainda p como o vetor de preços relativos das atividades; r como o vetor de preço dos insumos; e, finalmente, X como o vetor de variáveis climáticas.

A principal crítica a este tipo de abordagem é o fato de o modelo captar a maneira como os agentes tomam decisões no período atual. Ao usarmos este tipo de modelo para fazermos simulações com previsões das variáveis explicativas, nada garante que a maneira como os agentes tomam suas decisões hoje será exatamente a mesma maneira que as decisões serão tomadas no futuro.

2.1 Aplicações Para o Caso Brasileiro

Dois fatores colocam o Brasil como um país em que o estudo dos efeitos das alterações no clima sobre a agricultura é de vital importância para o seu desenvolvimento. O primeiro é o fato de o país ter dimensões continentais, de modo que é notável a grande variedade de condições climáticas e de diferentes culturas nas regiões do país. Esta característica é fundamental para o estudo empírico da dinâmica da ocupação das terras para diferentes usos, tendo-se em vista a heterogeneidade regional dos efeitos climáticos. O outro fator está relacionado à posição geográfica brasileira, predominantemente tropical. O Brasil apresenta, em grande parte de seu território, altas médias de temperatura, de modo que o aumento destas pode vir a prejudicar a produção de uma vasta gama de culturas. Diversos estudos já foram realizados na tentativa de captar os efeitos de mudanças climáticas sobre setor agropecuário brasileiro. Como será apontado a seguir, estes estudos utilizaram as diversas abordagens alternativas discutidas na seção anterior.

Para o caso brasileiro, Siqueira et al. (1994), usando a abordagem da função de produção empírica, e Sanghi et al. (1997), usando um modelo Ricardiano, concluíram que os impactos mais negativos das futuras mudanças climáticas aconteceriam na região Centro-Oeste, devido ao clima quente e seco, característico do cerrado brasileiro. Já os estados da região Sul poderiam até ser beneficiados por apresentarem temperaturas mais amenas.

Evenson e Alves (1998) analisaram o padrão do uso da terra frente às mudanças em variáveis climáticas. Para tanto, utilizaram um modelo que definia a alocação do uso da terra em seis tipos: lavouras temporárias, lavouras permanentes, pastos naturais, pastos plantados, florestas naturais e florestas plantadas. Este modelo considera apenas variáveis agrônomicas e climáticas como determinantes da escolha do uso da terra. Fazendo uma simulação para um aumento uniforme de 1°C na temperatura e 3% nos níveis de chuva, os autores concluíram que este cenário levaria a uma redução de 1,84% da área de floresta natural e um aumento de 2,76% nas áreas de pasto nacionais.

Féres et al. (2007) propuseram a estimação para o caso brasileiro do modelo de efeitos fixos usado por Deschênes e Greenstone (2007), analisando o impacto das mudanças climáticas nos lucros do setor agrícola. Outro ponto importante do trabalho foi a utilização de projeções não uniformes de variação na temperatura e níveis de chuva para as diferentes regiões. Ao invés de aumentos lineares na temperatura e precipitação, foram utilizados dados regionalizados referentes aos cenários construídos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Os autores estimaram impactos modestos no médio prazo (2040-2069), com redução de aproximadamente 3% na renda agrícola, e impactos mais intensos no longo prazo (2070-2099), quando as perdas de lucratividade podem alcançar até 26% da renda agrícola.

Feres et al. (2009) deram continuidade ao trabalho anterior, analisando os impactos das mudanças climáticas no padrão de uso da terra no Brasil, utilizando dados de *cross-section* referentes ao ano de 1996. Duas importantes contribuições foram feitas em relação ao modelo estimado por Evenson e Alves (1998). A primeira é o fato de o modelo econométrico proposto ser consistente com a teoria microeconômica, sendo derivado do problema de maximização de um agente representativo, o qual maximiza seu lucro alocando a terra entre pastos, lavoura ou floresta. A segunda, esta na estimação do sistema de equações, é a utilização de métodos de estimação simultânea, uma vez que as decisões do produtor sobre quanto alocar de sua terra para cada fim devem ser correlacionadas. Os resultados encontrados indicaram aumento na pressão por desmatamento na Região Amazônica e a conversão de grandes áreas de florestas em estabelecimentos agrícolas. Os efeitos encontrados foram fortemente distintos nas diferentes regiões brasileiras, com destaque para o aumento da área de lavouras na região Sul, diminuição das áreas de pastagens na mesma região e diminuição significativa de lavouras na região Nordeste.

Assad e Pinto (2008) utilizam uma metodologia diferente para avaliar impactos de mudanças climáticas no uso da terra no Brasil. Os autores realizam um zoneamento de riscos climáticos para as principais culturas brasileiras. Este zoneamento tem como objetivo indicar as regiões brasileiras aptas para o cultivo das diferentes culturas. Os autores concluem que mudanças climáticas diminuiriam as áreas com baixo risco climático de todas as culturas estudadas, com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca.

Embora não apresentem os mesmos resultados e a comparação destes deva ser feita com grande cautela devido às diferentes metodologias e base de dados utilizada, os estudos para o caso brasileiro apontam para um efeito global negativo no país e impactos diferentes nas diferentes regiões do Brasil. As regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste aparentam serem aquelas que mais sofreriam perdas potenciais com mudanças no clima, enquanto a região Sul poderia até mesmo beneficiar-se de uma eventual elevação em sua média de temperatura.

3. METODOLOGIA

Como descrito na seção anterior, Féres et. al. (2009) apresentam um modelo de uso da terra derivado dos pressupostos teóricos da microeconomia sobre o comportamento maximizador de lucro dos agentes econômicos. O presente estudo toma como base este modelo desenvolvido por Féres et. al. (2009) e, a partir dele, apresenta uma extensão que incorpora o uso de culturas específicas como diferentes tipos de uso de solo. Além disso, o trabalho propõe uma discussão mais profunda sobre a estimação econométrica dos coeficientes.

A utilização de lavouras como agregado no estudo de impactos de mudanças climáticas no padrão de uso da terra pode levar a resultados menos precisos, uma vez que se espera que diferentes culturas não reajam da mesma maneira frente às mudanças no clima. Assim, neste trabalho, considera-se como diferentes tipos de uso da terra os seguintes cultivares: soja, milho, cana-de-açúcar, outras lavouras, pasto e floresta. Juntas, as áreas cultivadas das três culturas explicitadas equivalem a aproximadamente 60% da área de lavoura do país. Assim, o melhor entendimento dos impactos no uso do solo destas três culturas fornece informações relevantes na análise econômica dos impactos das mudanças climáticas sobre o setor agropecuário nacional.

A apresentação da metodologia do modelo de uso da terra utilizada no presente trabalho foi dividida em três partes: o modelo econômico, a especificação econométrica e a simulação, como é possível ver nas próximas seções.

3.1 Modelo Econômico

O modelo de uso de solo usado no presente estudo é o mesmo sugerido por Féres et al (2009). Este modelo é derivado do problema de maximização de lucro de um agente representativo. Dados os preços dos produtos, os custos dos insumos e as características agroclimáticas de cada região, o agente deve escolher a alocação dos diferentes tipos de uso do solo que maximiza seu lucro. Ou seja, o agente escolhe as áreas de soja, milho, cana, lavoura, pasto e floresta que ocuparão sua propriedade de maneira a maximizar seu lucro. Temos então o seguinte problema de maximização restrita:

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m \pi_i(p, r, n_i, X) \text{ s. a: } \sum_{i=1}^m n_i = N \quad (2)$$

em que o subscrito i indica a atividade exercida, p é o vetor de preços dos produtos das atividades agrícolas, r é o vetor de preço dos insumos, n_i é a área alocada para a atividade i , X é o vetor de variáveis agroclimáticas e N é a área total do estabelecimento. No modelo desenvolvido temos seis tipos de uso de solo, logo $m = 6$. A restrição imposta na maximização representa apenas o fato de que a soma das áreas alocadas às diferentes atividades não pode ultrapassar a área total do estabelecimento.

Para resolver o problema proposto em (2), tem-se o seguinte lagrangeano:

$$L = \sum_{i=1}^m \pi_i(p, r, n_i, X) + \lambda (N - \sum_{i=1}^m n_i) \quad (3)$$

E as seguintes condições de primeira ordem:

$$\frac{\partial L}{\partial n_i} = \frac{\partial \pi_i}{\partial n_i} - \lambda = 0, i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ e } 6. \quad (4)$$

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (5)$$

A partir das condições (4) e (5) acima, podem-se obter as alocações ótimas para cada tipo de uso de solo (n_i^*) como função do preço da cultura derivada a partir de tal uso, dos preços dos insumos, da área total do estabelecimento e das variáveis agroclimáticas do estabelecimento. Têm-se, então, seis equações que determinam a área ótima para cada tipo de uso:

$n_i^*(p, r, N, X)$, para $i = \text{soja, milho, cana, lavoura, pasto e floresta}$.

É importante notar que ao se substituírem as alocações ótimas na condição de primeira ordem (5) e diferenciar-se a expressão, obtêm-se as seguintes equações:

$$\sum_{i=1}^m \frac{\partial n_i^*(p,r,N,X)}{\partial N} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{\partial n_i^*(p,r,N,X)}{\partial p} = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{\partial n_i^*(p,r,N,X)}{\partial r} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{\partial n_i^*(p,r,N,X)}{\partial X} = 0 \quad (9)$$

As equações acima garantem a consistência lógica do modelo. Pela equação (6) tem-se que a soma das alterações nas alocações causadas por um aumento na área total do estabelecimento deve ser igual ao aumento ocorrido. As equações (7), (8) e (9) garantem que as alterações nas áreas ótimas dos seis diferentes tipos de uso causadas por variações nos preços e nas variáveis agroclimáticas tenham efeito líquido nulo. Em outras palavras, caso uma alteração na temperatura cause variação da área ótima de, por exemplo, cana-de-açúcar, necessariamente a soma das variações nos outros cinco tipos de uso do solo deverá ser de igual magnitude e sinal inverso à variação da área da cana.

3.2 Especificação Econométrica

Para a estimação do modelo apresentado acima, foi utilizada a forma funcional quadrática normalizada¹ para representar a função lucro. Este tipo de forma funcional é frequentemente encontrado na literatura e seu uso justifica-se por diversas razões. Trata-se de uma forma funcional flexível, ou seja, que não impõe restrições *a priori* sobre as elasticidades de substituição dos insumos. Além disso, a função apresenta propriedades consistentes com a teoria microeconômica, como homogeneidade de grau um nos preços. Outro ponto importante é o fato das alocações ótimas do uso da terra derivadas desta função serem lineares nos parâmetros, possibilitando a estimação das equações por métodos lineares de estimação. Por fim, como pode ser visto abaixo, outra vantagem deste tipo de forma funcional frente a outras é que não há grande dificuldade na interpretação dos parâmetros estimados.

Utilizando esta função, obtêm-se as seguintes equações de alocações ótimas dos diferentes usos da terra a serem estimadas:

¹ Para mais detalhes sobre as derivações referentes a essa forma funcional encontradas neste trabalho consultar Lao (1978).

$$n_i^* = \beta_0^i + \sum_{f=1}^j \beta_{1f}^i p_f + \sum_{k=1}^t \beta_{2k}^i r_k + \beta_3^i N + \sum_{l=1}^s \beta_{4l}^i X_l + \varepsilon, i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ e } 6 \quad (10)$$

sujeitas às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^6 \beta_3^i = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^6 \beta_{1f}^i = 0 \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^6 \beta_{2k}^i = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^6 \beta_{4l}^i = 0 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^6 \beta_{1f}^i = \sum_{i=1}^6 \beta_{1f}^f \quad (15)$$

As restrições (11), (12), (13) e (14) são equivalentes às condições encontradas nas equações (6), (7), (8) e (9). A restrição (15) é decorrente da simetria da forma funcional quadrática normalizada. Desta maneira, tem-se um sistema com seis equações a ser estimado respeitando-se as restrições descritas acima.

Como visto na Seção 2, segundo Matthews et al (2007) os modelos de uso da terra baseados na decisão de agentes são uma maneira de incorporar a influência da interação social, mecanismos de adaptação e tomada de decisão dos agentes no estudo da alocação do solo para diferentes usos. Nesse contexto, três aspectos importantes devem ser levados em consideração: o aspecto espacial, a simultaneidade das equações e a dinâmica temporal do problema.

Kumar (2011) argumenta que o problema espacial deve ser incorporado no estudo de impactos de mudanças climáticas na agricultura por dois motivos. Do ponto de vista teórico, é natural pensar que os agentes distribuídos no espaço se comunicam sobre as atividades exercidas em cada região e trocam experiências sobre práticas e técnicas de produção que gerariam uma dependência espacial na variável dependente (área de cultivo). Do ponto de vista econométrico, devemos tomar cuidado com a possível ineficiência dos estimadores devido a presença de correlação espacial no termo de erro das equações especificadas. Portanto, um método de estimação que leve em conta o fator espacial pode trazer ganhos de eficiência na estimação das equações.

A estimação simultânea das seis equações de alocação ótima de uso de solo é importante uma vez que a tomada de decisão do agente ocorre de forma simultânea. A alocação da terra para

cada tipo de uso é feita no mesmo momento e, portanto, existe uma relação entre os parâmetros das equações. Esta relação é descrita pelas restrições derivadas do modelo econômico, como por exemplo, o parâmetro que capta a influência da temperatura em determinado uso de solo apresenta uma relação com o mesmo parâmetro das demais equações. Além disso, a estimação do sistema por um método não simultâneo não leva em conta a possível correlação nos resíduos entre as equações.

A dimensão temporal para o estudo deste problema deveria ser levada em conta, uma vez que, para simular como as decisões dos agentes podem mudar com o passar do tempo, a informação de como estas decisões aconteceram em diferentes períodos é importante. O objetivo do estudo é avaliar como as decisões dos agentes são influenciadas por determinadas variáveis ao longo do tempo. Logo, a variação no tempo dentro de uma mesma região é fator primordial no correto entendimento do problema. Se levarmos em conta apenas a variação no *cross-section* em um período de tempo, estamos usando as variações dos dados climáticos nas diferentes regiões para explicar a alocação do uso do solo. Se fizermos este exercício os resultados da simulação na verdade tenderiam a mostrar que se as variáveis explicativas de uma dada região A se tornassem parecidas com as variáveis explicativas de uma dada região B, o uso da terra na região A tenderia a ser parecido com o observado na região B.

Nesse sentido, para incorporar o processo de adaptação dos agentes da região A às mudanças climáticas seria necessário utilizar dados da região A em diferentes períodos e usar a variação temporal do clima para explicar a variação no uso da terra. Para este tipo de abordagem a metodologia de painel de efeitos fixos seria a mais adequada. No entanto, cabe aqui uma discussão sobre a real relação entre mudanças no clima e uso da terra.

A relação entre as médias históricas observadas de temperatura e precipitação em cada região e a atividade agrícola desenvolvida no local é clara e direta, dependendo da temperatura e da precipitação algumas culturas são mais produtivas do que outras, e cada região tem uma vantagem comparativa na produção de uma determinada cultura. O agente que toma a decisão de alocação busca maximizar o lucro e escolherá as atividades em que sua região tem vantagem comparativa perante a outras. No presente trabalho, o objetivo é captar como os agentes desta região se adaptariam frente às mudanças no clima. Seguindo o raciocínio acima, queremos entender como os agentes de uma região A se adaptam às mudanças de temperatura e precipitação na própria região A. Poderíamos responder esta pergunta utilizando a variação

dos dados climáticos no tempo e a variação no uso da terra. No entanto, o ponto central ao decidir utilizar a metodologia de painel seria observar que mudanças climáticas já ocorridas teriam influenciado a decisão de alocação do uso da terra. No entanto alguns fatores indicam que este comportamento ainda não foi observado.

O tipo de cultura produzida em determinada localidade tende a ser persistente. Uma série de fatores está envolvida para que um produtor em uma determinada região que produz a cultura A passe a produzir uma cultura B. Para que essa mudança ocorra, além de uma lucratividade maior esperada, é necessário tempo de adaptação para o novo cultivo, tempo de aprendizado da tecnologia, além de condições de infraestrutura condizentes com a nova cultura. Variáveis climáticas certamente poderiam influenciar essa decisão, uma vez que tornariam uma cultura mais produtiva que a outra e consequentemente trariam maior lucro para o agente. No entanto as mudanças climáticas são um fenômeno de longo prazo e para captarmos este efeito seriam necessários dados de longo prazo para o setor agrícola.

Para o caso brasileiro, teríamos dois problemas neste tipo de análise. O primeiro problema é a confiabilidade dos dados mais antigos tanto de uso da terra quanto das variáveis climáticas, quanto mais distante temporalmente são os dados, menos precisos eles se tornam. O segundo e principal problema tange à questão central da nossa análise, a relação de uso de terra e mudanças no clima. Ao observarmos os dados climáticos já realizados, notamos uma baixa variabilidade temporal nas variáveis de temperatura e precipitação em uma mesma região. A pouca variabilidade temporal dos dados climáticos e a persistência e complexidade da decisão de alocação do uso da terra pelos agentes torna pouco provável que nos dados já observados a variação nas áreas cultivadas tenha tido relação com as variações na temperatura e precipitação. Desta maneira, ao aplicar a metodologia de painel correríamos o risco de captar uma relação espúria entre mudanças no clima e uso da terra.

Para efeito de comparação, as equações foram estimadas pelo método de painel espacial desenvolvido por Elhorst (2003), o modelo estimado tendo sido o SAR (Spatial Auto-Regression) de efeitos fixos. Para esta estimação foram usados dados apenas dos censos agropecuários de 1995 e 2006 e as variáveis de temperatura e precipitação foram as médias

dos últimos cinco anos anteriores aos Censos². Os resultados podem ser encontrados na Tabela 1 do Apêndice e foram pouco significativos para as variáveis climáticas, trazendo nova evidência de que a variação do clima no tempo ainda não pode ser usada como explicação para alocação de uso da terra, pelo menos em um período de tempo não tão longo. Vale notar que diversos trabalhos utilizaram a metodologia de painel para o estudo do impacto de mudanças climáticas na lucratividade do setor agrícola. Para esse tipo de estudo a realização dos dados de temperatura e precipitação em um instante de tempo é considerada com relação ao desvio da média histórica, e podemos estimar como este desvio influenciou a lucratividade do setor.

Dada a pergunta que queremos responder, e a discussão acima apresentada, a estimação das equações apenas no *cross-section* foi a alternativa utilizada. Ao estimarmos os parâmetros apenas no *cross-section* com o objetivo de fazer uma simulação no tempo, assumimos a premissa de que o atual mapa do uso da terra brasileiro representa o equilíbrio de longo prazo dos agentes, ou seja, os agentes estão realizando as melhores escolhas possíveis de áreas de culturas dados os preços e as condições climáticas. A simulação feita a partir da estimação de *cross-section* apresenta um caráter mais de longo prazo, que é justamente o tipo de simulação que queremos fazer. O método utilizado foi o *Seemingly Unrelated Equations* iterado (ISUR), o mesmo utilizado por Feres et al (2009).

Além disso, para tentar captar o fator espacial e ao mesmo tempo algum efeito de inércia temporal foi adicionado na equação o termo W95 que representa a área das culturas em 1995 ponderada pela matriz de pesos espaciais W. A matriz utilizada foi a do tipo *queen*³. A utilização de um termo defasado tanto espacialmente como temporalmente é sugerida por Lopez e Chasco (2004) e tenta captar o efeito espacial ao longo do tempo, ou seja, a influência do vizinho não ocorre simultaneamente e sim ao longo do tempo. Dessa maneira além de captar o efeito espacial da influência dos vizinhos, o termo também capta alguma inércia temporal no uso da terra das regiões. Outra variável incluída no modelo foi a área das culturas em 1996, este termo também capta a inércia na utilização do solo nas diferentes atividades.

² A metodologia de painel de efeitos fixos requer variabilidade temporal nas variáveis de interesse. Desta maneira foi utilizada a média dos últimos 5 anos anteriores à decisão de alocação do uso do solo em cada período de tempo. Ao utilizarmos médias de períodos mais longos ocorreria uma diminuição na variabilidade já pequena dos dados climáticos.

³ Ver Anselin (1988)

3.3 Simulação

A simulação das áreas alocadas para os diferentes usos a partir de projeções das variáveis climáticas foi feita a partir dos parâmetros estimados pelo modelo, obedecendo à seguinte equação:

$$\hat{n}_{i,C}^* = \hat{\beta}_0^i + \sum_{f=1}^j \hat{\beta}_{1f}^i p_f + \sum_{k=1}^t \hat{\beta}_{2k}^i r_k + \hat{\beta}_3^i N + \sum_{l=1}^s \hat{\beta}_{4l}^i X_{l,C} \quad (16)$$

em que $X_{l,C}$ é o vetor de variáveis agroclimáticas projetadas para o cenário C e $\hat{n}_{i,C}^*$ é a área estimada para o uso do solo i , levando-se em conta o cenário C. A partir desta área projetada, podem-se analisar as variações tomando como base as áreas observadas no período base de referência (no caso do presente trabalho, o ano de 2006).

Além disso, nos casos em que a área projetada para dada cultura foi negativa o valor considerado foi 0. Nesses casos, não podemos garantir que a soma das novas áreas dos diferentes usos do solo será igual à área total dos estabelecimentos da microrregião. É então necessário um ajuste nas áreas simuladas para mantermos a consistência lógica do modelo. Assim a partir das seis novas áreas calculamos a nova área total dos estabelecimentos:

$$\sum_{i=1}^6 \hat{n}_{i,C}^* = \hat{N}_{j,C}^* \quad (17)$$

em que $\hat{N}_{j,C}^*$ representa a área total dos estabelecimentos após as simulações para a região j . Podemos calcular a participação de cada uso do solo na região simulada e usar este resultado para a comparação com a atual área destinada para cada uso.

$$n_{i,C}^* = \left(\frac{\hat{n}_{i,C}^*}{\hat{N}_{j,C}^*} \right) n_{i,base}^* \quad (18)$$

Finalmente, a variação percentual das áreas destinadas aos diferentes usos é calculada partir da seguinte expressão:

$$\Delta n_i^* = \frac{\hat{n}_{i,C}^* - n_{i,base}^*}{n_{i,base}^*} \times 100 \quad (19)$$

4. BASE DE DADOS

Para a estimação do modelo de uso da terra foram utilizados dados em nível de microrregiões. A construção das variáveis utilizadas no modelo envolveu a compatibilização de dados provenientes de diferentes fontes. As informações agroeconômicas foram obtidas do Censo Agropecuário 2006, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além da PAM (Pesquisa Agrícola Municipal) fornecida pelo mesmo Instituto. Os dados agronômicos, por sua vez, foram fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa). Com relação às variáveis climáticas, as informações sobre temperatura e precipitação observadas foram obtidas a partir da base de dados da *Climatic Center Unit* (CRU/*University of East Anglia*). Por fim, o modelo regionalizado PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) do CPTEC/INPE forneceu as projeções de temperatura e precipitação para o período 2010-2099, considerado no presente trabalho. Os procedimentos utilizados na construção das variáveis estão detalhados a seguir.

4.1 Uso da terra

As variáveis relativas às áreas dos estabelecimentos agrícolas e uso da terra foram construídas a partir de dados municipais do Censo Agropecuário 2006, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que foram agregados para microrregiões. Como apontado anteriormente, foram especificadas as áreas destinadas ao cultivo de soja, milho e cana – culturas essas que ocupam cerca de 60% da área total de lavouras no Brasil. A variável de área de outras lavouras, por sua vez, corresponde à soma das áreas dos estabelecimentos destinadas ao cultivo de outras culturas temporárias e permanentes. A área correspondente ao pasto foi calculada como a soma das pastagens naturais e plantadas. Por fim, a área de floresta corresponde ao total da área dos estabelecimentos ocupada por florestas naturais, florestas plantadas e terras produtivas não utilizadas.

4.2 Preços dos produtos: soja, milho, cana, lavoura, pasto e floresta

Os preços dos produtos soja, milho e cana foram calculados como base nos valores médios das toneladas produzidas em cada microrregião. O preço representativo dos produtos de outras lavouras foi construído como um índice de Laspeyres, em que a base considerada foi a

média nacional. Na construção do índice, consideraram-se os dados por microrregião de preços e quantidades produzidas das dez principais culturas em termos de áreas, além das especificadas no modelo, a saber: arroz, feijão, fumo, mandioca, trigo, algodão, banana, cacau, café e laranja. Por sua vez, o preço representativo dos produtos das atividades de pastagem foi construído com o valor médio das cabeças bovinas vendidas e abatidas no município. Já o preço das florestas foi representado pelo valor médio do metro cúbico (m³) de madeira extraída na microrregião. Assumiu-se, assim, a hipótese de que o preço da madeira extraída seja uma boa *proxy* para o custo de oportunidade de conservar áreas de florestas nos estabelecimentos agropecuários. Caso não houvesse valor de produção em qualquer dessas atividades em dada microrregião, atribuir-se-ia a ela o preço médio da respectiva região.

Com exceção do preço do gado, que foi o observado nos Censos Agropecuários de 2006, todos os outros preços considerados foram construídos a partir de uma média dos preços dos cinco anos anteriores aos censos obtidos com dados da PAM. Optou-se por utilizar essa média ao invés do preço observado no Censo, pois a decisão de alocação da terra é feita a partir de dados observados pelos agentes no passado que ajudam a formar a percepção do preço futuro. É natural pensar que no momento da decisão de alocação do solo para diferentes usos, o agente leva em conta o histórico recente dos preços relativos das culturas. Todos os preços foram trazidos a valores do ano de 2006.

4.3 Preços dos insumos: terra e mão de obra

No presente trabalho foram considerados apenas dois insumos da produção agropecuária: terra e mão de obra.⁴ Como não há dados relativos ao preço da terra no Censo Agropecuário, utilizou-se como *proxy* o preço médio da terra arrendada na microrregião, calculado como a razão entre a despesa total com arrendamento de terras e a área dos estabelecimentos sob condição legal de arrendamento. Já o preço da mão de obra foi representado pelo salário médio rural, dado pelo total do valor monetário dos salários (em dinheiro ou produtos) pagos a empregados ou membros familiares dividido pelo número total de pessoas ocupadas em atividades rurais na microrregião.

⁴ No Censo Agropecuário 2006 não há dados consolidados acerca do estoque de capital dos estabelecimentos, o que dificulta a consideração desse insumo na estimação do modelo de uso da terra. Por esse motivo, optou-se por não considerar o insumo capital.

4.4 Variáveis climáticas observadas

Foram utilizadas no modelo variáveis climáticas relativas à temperatura (°C) e precipitação (mm), ambas consolidadas para microrregiões brasileiras a partir da base de dados da CRU/*University of East Anglia*. A fim de dar conta da possibilidade de que variações climáticas em diferentes estações do ano tenham diferentes efeitos sobre as alocações de terra, foram construídas variáveis relativas às médias trimestrais de temperatura e precipitação. Desta maneira, incorporou-se ao modelo a questão da possível sazonalidade dos efeitos climáticos. As variáveis climáticas utilizadas são na verdade as médias dos 30 anos anteriores ao censo, no caso as médias entre 1975 e 2005.

4.5 Variáveis climáticas previstas

Como já apontado, as projeções de temperatura e precipitação para o Brasil no período 2010-2099, necessárias para as simulações efetuadas no presente trabalho, foram obtidas junto ao CPTEC/INPE. O modelo PRECIS forneceu projeções para dois cenários de emissões definidos pelo IPCC (*International Panel on Climate Change*), A2 e B2,⁵ de modo que ambos foram considerados na avaliação de como as alocações de terra se comportariam frente às mudanças climáticas.

O modelo PRECIS oferece projeções mensais das variáveis climáticas no período considerado. No entanto, no presente estudo, além da construção de médias trimestrais, justificada anteriormente, tais médias foram calculadas para períodos de 30 anos: 2010-2039; 2040-2069 e 2070-2099. Optou-se por trabalhar com as médias de precipitação e temperatura projetadas para intervalos de 30 anos por dois motivos principais. Primeiramente, é razoável esperar que as decisões de alocação da terra levem em consideração o comportamento do clima principalmente no longo prazo. Ademais, ao calcular-se a média ao longo de tal período relativamente extenso, reduzem-se as “incertezas” inerentes aos modelos de projeção

⁵ Segundo o IPCC, o cenário A2 é caracterizado por um prognóstico de países heterogêneos, com crescente população mundial, além de crescimento econômico lento e regionalizado. Por sua vez, o cenário B2 prevê maior ênfase em políticas locais de sustentabilidade, um crescimento populacional mais lento e desenvolvimento econômico mundial intermediário.

climática. O lado negativo de se trabalhar com essas médias é o fato de não capturarmos os efeitos de eventos extremos que estariam diluídos dentro das médias.

4.6 Variáveis agronômicas

Outras variáveis agronômicas foram incluídas na estimação do modelo de uso da terra, de modo a controlar fatores que possivelmente influenciam a decisão dos produtores rurais, em cada microrregião. As variáveis incluídas representam a proporção da área das microrregiões em diferentes níveis de altitude, em diferentes classes de potencialidade agrícola e em diferentes classes de solo, além da área da microrregião ocupada por corpos hídricos. A área irrigada em cada microrregião também foi incluída no modelo. Um resumo das variáveis que fora incluídas nas equações pode ser encontrado na Tabela 2 do Apêndice.

4.7 Estatísticas Descritivas

Os dados referentes às áreas de utilização do solo do Censo Agropecuário levam em conta apenas as áreas dos estabelecimentos agrícolas. Como é possível observar na Tabela 1, a distribuição das áreas entre as regiões não é a mesma da distribuição das áreas totais das regiões: 31,42% da área dos estabelecimentos estão localizados na região Centro-Oeste; 22,89% na região Nordeste; 16,51% na região Norte; 16,41% na região Sudeste; e 12,78% na região Sul. Desta maneira, a região com maior área na amostra é a Centro-Oeste e não a Norte.

Tabela 1. Participação das Regiões no Uso da Terra

Região	Total	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
Norte	16,51%	1,44%	2,36%	0,37%	13,18%	16,64%	22,10%
Nordeste	22,89%	7,15%	26,84%	19,63%	35,58%	21,07%	24,49%
Sudeste	16,41%	5,99%	15,86%	62,15%	24,65%	17,09%	12,16%
Sul	12,78%	43,52%	35,46%	7,00%	15,54%	9,65%	10,01%
Centro-Oeste	31,42%	41,90%	19,47%	10,85%	11,05%	35,55%	31,24%
Brasil	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Censo Agropecuário 2006

Como descrito na Tabela 1, a soja brasileira está concentrada na região centro-sul com 43,52% da área de cultivo no Brasil localizada na região Sul e 41,90% na região Centro-Oeste. No caso do milho, destaque para região Sul com 35,46% da área cultivada, e também para o Nordeste com 26,84% de participação. No caso da cana-de-açúcar temos uma grande

concentração na região Sudeste com 61,15% da área cultivada, sendo o Nordeste responsável por 19,63%. As áreas destinadas ao cultivo de outras lavouras estão preponderantemente no Nordeste e no Sudeste com 35,58% e 24,65% destas áreas respectivamente.

O Centro-Oeste é responsável por 35,55% das áreas de pastagem dos estabelecimentos brasileiros enquanto que as regiões Nordeste, Norte e Sudeste são responsáveis cada uma por mais de 15% das áreas destinadas à pecuária. Diferente do que se vê quando consideradas as áreas totais de florestas, quando se analisa apenas as áreas dentro dos estabelecimentos, a região Centro-Oeste, com 31,24%, é a que apresenta maior parte da área de floresta brasileira, seguida do Nordeste, com 24,49% do total nacional.

É interessante também analisar a situação atual do uso da terra de cada região brasileira, a fim de ter uma base de comparação na análise das simulações realizadas. Tendo como base a metodologia descrita na seção 3.1 estes dados estão apresentados na Tabela 2, que mostra que em todas as regiões brasileiras as áreas de pastos e florestas são predominantes nos estabelecimentos. Para os outros usos de terra, há destaque para a soja na região Sul (16,4%), e outras lavouras no Nordeste (19,1%).

A utilização da terra nos estabelecimentos brasileiros ocorre da seguinte maneira: 4,71% do solo dos estabelecimentos são utilizados para a produção de soja; 3,77% da terra são destinados à produção de milho; a cana-de-açúcar é responsável por 1,75% do uso do solo nos estabelecimentos. Todos os outros tipos de lavoura ocupam 8,38% da área dos estabelecimentos, enquanto 50,30% do solo destes estabelecimentos têm como finalidade o pasto. Os outros 31,09% que restaram são ocupados por florestas.

Tabela 2. Uso da Terra por Região

Região	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
Norte	0,41%	0,54%	0,04%	6,69%	50,70%	41,63%
Nordeste	1,47%	4,42%	1,50%	13,02%	46,31%	33,27%
Sudeste	1,72%	3,64%	6,63%	12,59%	52,39%	23,03%
Sul	16,05%	10,46%	0,96%	10,19%	37,99%	24,36%
Centro-Oeste	6,28%	2,34%	0,60%	2,95%	56,92%	30,90%
Brasil	4,71%	3,77%	1,75%	8,38%	50,30%	31,09%

Fonte: Censo Agropecuário 2006

Outro ponto de interesse nesta análise é a variação no tempo das áreas de cultivo entre os Censos Agropecuários de 1995 e 2006, estes dados podem ser encontrados na Tabela 3. O primeiro ponto a ser analisado é a variação na área total dos estabelecimentos com queda de 6,69% para todo o Brasil, com destaque para queda de 15,37% no Sudeste. Uma possível explicação seria a expansão das áreas urbanas brasileiras.

A área destinada à cultura da soja teve aumento de 69,27% para o país, com aumentos significativos em todas as regiões. O Centro-Oeste apresentou um aumento de mais de 90% da área cultivada e atualmente é a região com maior área de produção de soja. O aumento de mais de 2000% na região Norte pode ser explicado pela baixa magnitude da base de comparação. Embora esse aumento expressivo tenha ocorrido, a região ainda contribui com apenas 1,44% da área de soja cultivada no Brasil. No caso do milho, embora tenha havido um aumento na área de 19,75% para o país, este aumento não foi homogêneo nas regiões. Observou-se queda na área de milho na região Norte e Sudeste, e aumento nas demais regiões.

Tabela 3. Variação nas Áreas Cultivadas 06/95

Região	Soja	Milho	Cana	Lavoura	Pasto	Floresta	Área Total
Norte	2510,56%	-17,46%	275,16%	36,14%	13,91%	-26,22%	-6,12%
Nordeste	162,39%	42,63%	1,31%	-6,98%	9,67%	-20,50%	-3,45%
Sudeste	11,57%	-7,03%	40,46%	8,69%	-24,49%	-14,38%	-15,37%
Sul	48,25%	13,17%	26,80%	-10,22%	-22,16%	1,55%	-6,39%
Centro-Oeste	94,22%	44,98%	121,52%	44,47%	-5,42%	-15,84%	-4,34%
Brasil	69,27%	19,75%	34,88%	4,64%	-6,05%	-17,99%	-6,69%

Fonte: Censo Agropecuário 2006 e 1995

Para a cana-de-açúcar, observou-se aumento da área de cultivo em todas as regiões, com destaque para a Centro-Oeste. Mais uma vez, o aumento de 275,16% observado para a região Norte é explicado pela baixa base de comparação na região. Para as outras lavouras nota-se aumento de 4,64% na área de cultivo com aumentos nas regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste e diminuição da área no Nordeste e no Sul. As áreas de pasto e floresta que representam a maior parte do uso do solo no Brasil diminuíram. Para florestas houve diminuição de quase 18% para todo o país, com destaque para região Norte com diminuição de 26,22%. As pastagens brasileiras diminuíram em todas as regiões e totalizaram uma perda de 6,69% na área destinada a essa atividade. Embora não seja possível afirmar exatamente que tipo de uso de solo está dando espaço pra outro tipo de uso, de uma maneira geral, observa-se a soja,

milho e a cana-de-açúcar em expansão de área de cultivo, enquanto que os pastos e as florestas apresentam redução.

5. RESULTADOS

Nessa seção, serão apresentados primeiramente os resultados obtidos na estimação econométrica do modelo de uso da terra. Em seguida, serão analisadas as simulações realizadas com o fim de avaliar de que forma as alocações de terra se comportariam frente aos cenários de mudanças climáticas projetados pelo CPTEC/INPE.

5.1 Modelo de uso da terra

Como detalhado na seção 4, a estimação das equações de alocações ótimas de uso da terra foi feita através do método ISUR. O modelo de uso da terra estimado consistia em 6 equações que determinam a área de cada estabelecimento destinada a cada cultura, como descrito pela equação 10. Além disso, o modelo foi estimado considerando-se todas as restrições paramétricas apontadas. As Tabela 4 mostra o resultado da estimação para as variáveis de interesse do modelo. Os resultados completos das estimações podem ser encontrados na Tabela 3 do Apêndice.

Tabela 4. Resultados da Regressão

Equação	SOJA			MILHO			CANA		
	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value
Preço Relativo Soja	75507,32	1,91	0,06	25356,08	1,79	0,07	8283,37	2,28	0,02
Preço Relativo Milho	-96696,39	-1,79	0,07	-36474,01	-1,90	0,06	-8209,29	-1,66	0,10
Preço Relativo Cana	37809,36	0,76	0,45	13757,95	0,79	0,43	-8415,60	-1,59	0,11
Preço Relativo Out. Lavouras	-2,22	-2,17	0,03	-0,47	-1,28	0,20	-0,06	-0,70	0,49
Preço Relativo Floresta	-22900,91	-0,54	0,59	1414,88	0,09	0,93	-2252,55	-0,42	0,67
Preço Relativo Terra	211,67	0,07	0,95	83,17	0,08	0,94	-72,58	-0,26	0,80
Preço Relativo Trabalho	1631,84	1,92	0,05	612,37	2,11	0,04	101,21	1,27	0,20
Temperatura DJF	-69747,35	-3,06	0,00	-17829,04	-2,28	0,02	-1477,25	-0,71	0,48
Temperatura MAM	100732,60	3,67	0,00	22259,71	2,36	0,02	3507,05	1,39	0,16
Temperatura JJA	-65328,65	-3,17	0,00	-19217,82	-2,72	0,01	-3066,49	-1,62	0,11
Temperatura SON	39707,11	2,12	0,03	16317,79	2,54	0,01	2118,43	1,23	0,22
Precipitação DJF	-2101,58	-6,47	0,00	-912,46	-8,18	0,00	-45,45	-1,52	0,13
Precipitação MAM	2475,95	7,39	0,00	953,93	8,26	0,00	59,49	1,93	0,05
Precipitação JJA	-1082,50	-3,35	0,00	-491,13	-4,43	0,00	-15,08	-0,50	0,62
Precipitação SON	1760,40	5,07	0,00	645,30	5,41	0,00	26,09	0,82	0,41
AreaTot	0,05	8,17	0,00	0,02	7,54	0,00	0,00	-0,43	0,66
W95	0,10	3,32	0,00	-0,30	-5,13	0,00	0,14	3,12	0,00
_cons	-283682,70	-1,45	0,15	-44369,70	-0,65	0,51	-35676,97	-1,97	0,05

Equação	OUTRAS LAVOURAS			PASTO			FLORESTA		
	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value
Preço Relativo Soja	9894,47	0,68	0,50	-146881,60	-1,92	0,06	21558,51	0,37	0,71
Preço Relativo Milho	-16909,80	-0,85	0,40	140240,40	1,32	0,19	22104,52	0,28	0,78
Preço Relativo Cana	40212,66	2,19	0,03	-97188,51	-1,02	0,31	3231,00	0,04	0,97
Preço Relativo Out. Lavouras	-0,19	-0,51	0,61	4,05	2,13	0,03	-0,96	-0,67	0,51
Preço Relativo Floresta	-33198,00	-2,09	0,04	103830,60	1,28	0,20	-30751,86	-0,50	0,62
Preço Relativo Terra	-268,26	-0,24	0,81	641,98	0,11	0,92	-595,98	-0,13	0,90
Preço Relativo Trabalho	-1020,26	-3,31	0,00	1733,55	1,02	0,31	-3058,70	-2,39	0,02
Temperatura DJF	-31752,74	-3,80	0,00	324819,10	7,16	0,00	-204012,70	-5,94	0,00
Temperatura MAM	35987,36	3,59	0,00	-288271,10	-5,25	0,00	125784,40	3,03	0,00
Temperatura JJA	-14920,47	-1,99	0,05	165937,90	4,03	0,00	-63404,51	-2,04	0,04
Temperatura SON	4685,87	0,69	0,49	-150590,50	-4,03	0,00	87761,32	3,11	0,00
Precipitação DJF	-133,71	-1,12	0,26	4859,89	7,51	0,00	-1666,68	-3,41	0,00
Precipitação MAM	176,81	1,44	0,15	-5798,79	-8,70	0,00	2132,62	4,23	0,00
Precipitação JJA	-81,37	-0,69	0,49	3178,13	4,93	0,00	-1508,05	-3,09	0,00
Precipitação SON	64,61	0,51	0,61	-4586,99	-6,63	0,00	2090,60	4,00	0,00
AreaTot	0,00	1,53	0,13	0,62	52,74	0,00	0,31	34,60	0,00
W95	0,05	1,70	0,09	0,02	4,24	0,00	-0,01	-1,10	0,27
_cons	171399,00	2,34	0,02	-984571,10	-2,52	0,01	1150425,00	3,90	0,00

A tabela 5 trás os reultados apenas para as variáveis climáticas. As variáveis de temperatura e precipitação foram significantes em quase todas as equações. Apenas na equação de cana-de-açúcar e de outras lavouras algumas variáveis de temperatura e precipitação não foram significantes. Esta constatação é forte evidência que a temperatura e a precipitação são fatores determinantes na decisão de alocação do uso de terra dos fazendeiros. Também é interessante notar a diferença de sinal encontrada quando comparamos as variáveis climáticas para as diferentes estações, isso ocorre em todas as equações, justificando assim o uso das médias trimestrais e não da média anual das variáveis. Tanto para a temperatura quanto para a precipitação, no Verão e no Inverno um aumento na magnitude destas variáveis favorece o aumento da área de pastagens e a diminuição da área cultivada em todos os outros usos. Já para a Primavera e o Outono, o efeito é o oposto. Desta maneira, temos que as variáveis climáticas afetam de maneiras opostas o cultivo de pastagens dos demais usos, as alterações em uma variável climática favorece então ou o cultivo de pastagens ou o cultivo das outras alternativas. O fato do efeito ser oposto entre as alternativas de uso de solo é imposto pela restrição de que a soma dos coeficientes das variáveis climáticas deve ser igual a zero, no entanto o maior valor absoluto dos coeficientes foi encontrado na equação de pasto para todas as variáveis climáticas.

Tabela 5. Coeficientes e Significância das Variáveis Climáticas

Equação	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Florestas
Temperatura DJF	-69747	-17829	-1477	-31753	324819	-204013
Temperatura MAM	100733	22260	3507	35987	-288271	125784
Temperatura JJA	-65329	-19218	-3066	-14920	165938	-63405
Temperatura SON	39707	16318	2118	4686	-150591	87761
Precipitação DJF	-2102	-912	-45	-134	4860	-1667
Precipitação MAM	2476	954	59	177	-5799	2133
Precipitação JJA	-1083	-491	-15	-81	3178	-1508
Precipitação SON	1760	645	26	65	-4587	2091
					p-value > 0,1	p-value < 0,1

Outro fato a ser notado no resultado das regressões é a magnitude dos coeficientes das variáveis climáticas nas equações de soja, milho, cana-de-açúcar e outras lavouras serem diferentes na maioria dos casos. Embora o sinal dos coeficientes sejam iguais entre as equações de lavouras, o valor absoluto destes varia entre as equações, sendo os efeitos nas diferentes culturas significativamente diferentes. Este fato corrobora a ideia inicial de que a desagregação do uso de solo “lavouras” em algumas culturas específicas enriquece a análise uma vez que estas culturas estão se comportando de maneira diferente do agregado de lavoura, quando analisamos o impacto das variáveis climáticas. Temos que a soja é a cultura que apresenta maior sensibilidade com relação as variáveis climáticas, pois os coeficientes nesta equação apresentam maior valor absoluto. Em contrapartida a cana-de-açúcar é a cultura que apresenta os coeficientes com menores valores absolutos.

Um ponto de atenção na estimação do modelo foram os coeficientes das variáveis de preço relativo. A maior parte destas variáveis não apresentou coeficiente estatisticamente significativo, além do sinal do coeficiente não ser condizente com o esperado pela teoria econômica. Por exemplo, pelo coeficiente da variável de preço de milho estimado um aumento no preço do milho diminuiria a área destinada a esta cultura. A maneira como as variáveis de preço foram construídas (a partir das médias nos anos anteriores ao censo) deveria refletir a expectativa de preços em cada região e consequentemente ser fator importante na decisão de uso da terra, no entanto o modelo não consegue captar adequadamente o efeito do preço das culturas na decisão de alocação do uso da terra. Uma possível explicação para este fato é o baixo volume de produção de algumas culturas em determinadas regiões, este baixo volume pode causar distorções nos preços relativos. A alternativa de utilizarmos preços de agregados regionais maiores diminuiria a variabilidade

nos preços. A construção das variáveis de preço é sem dúvida um desafio e ponto de melhora para futuros trabalhos.

Por fim, a variável $w95$ foi significativa em todas as equações, com exceção apenas das equações de floresta e outras lavouras. Isto demonstra a importância de incorporarmos no modelo um termo de defasagem espacial. No caso, como a defasagem além de espacial é também temporal, o tipo de cultivo do solo dos vizinhos no período anterior exerce influência no uso do solo de uma região no período atual. Nas equações de soja, cana-de-açúcar, outras lavouras e pasto o coeficiente encontrado foi positivo. Para estas culturas observamos uma influência positiva do cultivo dos vizinhos no período anterior nas decisões de alocação da terra em 2006, isso indica uma consolidação deste tipo de uso de terra nas regiões. Já para o milho e as florestas o coeficiente encontrado foi negativo, indicando que não houve consolidação destes cultivos nas regiões, uma vez que o fato de os vizinhos apresentarem uma dada cultura no período anterior influenciou negativamente a decisão de alocação de terra para esta cultura no período atual.

5.2 Simulações

As simulações foram realizadas da maneira descrita na Seção 3.3, ou seja, a partir dos parâmetros estimados, foi calculada a variação da área destinada para cada cultura frente aos cenários de variação do clima. Deve-se ter cuidado na análise dos resultados da simulação, sendo importante entender que as simulações devem ser interpretadas como respostas à seguinte conjectura: dadas as estruturas produtivas e tecnológicas relativas ao ano de 2006, caso fossem alteradas as variáveis climáticas conforme projetadas pelo CPTEC/INPE, como se comportariam as alocações ótimas de terra para soja, milho, cana, outras lavouras, pasto e floresta, mantendo-se inalterada a área total ocupada por cada um dos estabelecimentos rurais? As simulações não captam possíveis alterações em outras variáveis que determinariam o uso da terra, como os preços dos produtos. É natural pensar que caso a área de alguma cultura tenha redução significativa, e consequentemente ocorra uma diminuição da oferta deste produto, o preço deste mesmo produto aumentaria, proporcionando incentivo a uma maior produção do mesmo. Assim, as simulações aqui feitas tendem a superestimar as variações nas áreas previstas, uma vez que não estamos captando os efeitos secundários de mudanças de preços. É natural pensar que uma diminuição da área cultivada de determinada

cultura levará a diminuição da produção interna da cultura e consequentemente a um potencial aumento dos preços, que por sua vez induziria a um aumento na área cultivada.

Como já apontado, foram considerados nas simulações dois cenários do IPCC (A2 e B2), analisando-se os impactos para os períodos 2010-2039; 2040-2069 e 2070-2099. As variações percentuais têm como referência a área destinada a tal uso em 2006. Também as variações de área em hectares foram calculadas em relação às áreas dos estabelecimentos agrícolas apresentadas pelo Censo Agropecuário 2006. As tabelas 4 a 9 do Apêndice trazem os resultados das simulações por estado, e as Figuras 1 a 6 mostram os mapas das variações de cada uso da terra para cada cenário.

5.2.1 Simulações – Resultados para o Brasil

A Tabela 6 mostra os resultados das simulações para o Brasil como um todo, tanto em termos percentuais como em hectares absolutos.

Tabela 6. Resultados das Simulações para o Brasil – Variação Percentual e em Mil Hectares							
Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
A2	2039	83%	30%	-9%	-38%	16%	-31%
		12983,1	3733,1	-529,9	-10538,6	26449,2	-32096,9
	2069	78%	27%	-7%	-44%	24%	-42%
		12173,9	3410,7	-424,8	-12125,6	40369,8	-43403,9
	2099	81%	31%	-8%	-55%	35%	-58%
		12631,2	3836,6	-485,9	-15350,0	58845,6	-59477,5
		Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
B2	2039	81%	27%	-10%	-38%	18%	-33%
		12618,7	3374,7	-599,3	-10607,7	29325,7	-34112,2
	2069	80%	27%	-8%	-42%	20%	-36%
		12558,6	3406,0	-466,0	-11567,1	33101,3	-37032,7
	2099	84%	29%	-8%	-45%	24%	-43%
		13189,9	3632,3	-439,6	-12476,6	40666,2	-44572,2

Fonte: Resultados das Simulações

Analisando os resultados agregados para todo o Brasil temos uma mudança significativa na participação de cada uso de terra explicitado no modelo nos estabelecimentos agropecuários. Em ambos os cenários as pastagens, que já representavam a maior participação nas áreas dos estabelecimentos, ganham ainda mais participação com o passar dos anos. Quando se analisa

os números absolutos de aumento das áreas de pastagem, pode-se notar que esse aumento se dá principalmente pela redução das áreas florestais nos estabelecimentos agrícolas⁶, que também será significativa, ocorrendo de forma acentuada já no período 2010-2039. Embora a redução da área de florestas e aumento da área de pastos seja observada em ambos os cenários, é interessante notar que a magnitude destas mudanças é maior no cenário A2. Foi observada queda nas áreas de florestas de 58% e 43% respectivamente para os cenários A2 e B2. Enquanto foi observado aumento de 35% e 24% nas áreas de pastagem respectivamente para os cenários A2 e B2.

Observou-se, também, uma forte queda na participação de outras lavouras no uso da terra no Brasil, inicialmente de maneira semelhante em ambos os cenários, mas também de maior magnitude no cenário A2 quando o horizonte temporal é maior. O modelo aponta para uma diminuição de quase 40% da área destinada a este tipo de uso já nos anos de 2010 a 2039 em ambos os cenários.

Para as culturas analisadas há um comportamento distinto da cana-de-açúcar quando comparado à soja e ao milho. As simulações apontam uma diminuição na área cultivada de cana e um aumento das áreas de soja e milho. Nas três culturas, tanto o aumento quanto a diminuição das áreas é relativamente estável no tempo.

A Tabela 7, mostra a participação de cada tipo de uso da terra considerado no trabalho e como esta participação se altera com as simulações. Observamos que a participação da soja após as simulações é quase o dobro da atualmente observada, enquanto que para a cana-de-açúcar e o milho a participação observada nas simulações é semelhante à observada atualmente. Ocorre uma diminuição na participação das florestas em ambos os cenários, assim como a participação de outras lavouras, e um aumento na participação de pastagens. A tabela 7, mostra a real mudança no padrão de uso da terra observada nas simulações, pois embora as variações percentuais possam ser de grande magnitude temos que observar a real transformação nas participações das culturas no uso da terra.

⁶ Vale lembrar que se está analisando apenas as alocações de terra dentro dos estabelecimentos rurais, supondo-se que não haja expansão de sua área total nos períodos das simulações. Portanto, as simulações aqui apresentadas não procuram apontar qual será a redução total das florestas no país, mas apenas a redução das áreas florestais dentro dos estabelecimentos agrícolas tal como existentes em 2006.

Tabela7. Participação de cada Cultura no Uso da Terra - Atual e Simulações

Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lavouras	Pasto	Floresta
Atual	2006	4,7%	3,8%	1,8%	8,4%	50,3%	31,1%
A2	2010-39	8,6%	4,9%	1,6%	5,2%	58,3%	21,4%
	2040-60	8,4%	4,8%	1,6%	4,7%	62,5%	18,0%
	2070-99	8,5%	4,9%	1,6%	3,8%	68,0%	13,2%
B2	2010-39	8,5%	4,8%	1,6%	5,2%	59,1%	20,8%
	2040-60	8,5%	4,8%	1,6%	4,9%	60,3%	19,9%
	2070-99	8,7%	4,9%	1,6%	4,6%	62,6%	17,7%

Fonte: Resultados das Simulações

Os resultados encontrados apontam para variações de áreas na mesma direção das encontradas por Féres et. al (2009), observando-se aumento das áreas de pastagens, diminuição das florestas e ligeiro aumento nas lavouras. A magnitude das variações foi maior no presente trabalho. Enquanto as simulações apontaram para aumento das áreas de pastagens de mais de 20%, no trabalho de Féres et. al (2009) este aumento não passou de 11%. No entanto, se agregarmos as lavouras no presente trabalho os resultados se comparam com os encontrados em Féres et. al (2009) com aumentos que chegam a até 10%. A principal diferença nos resultados de ambos os trabalhos é então a magnitude do aumento das áreas de pastos e diminuição de florestas. Uma possível explicação para a diferença no nível das variações está na maneira como as simulações foram construídas. No presente trabalho as variações são calculadas a partir da diferença dos valores simulados e dos valores reais, diferentemente do trabalho de Féres et. al (2009) onde a variação era referente aos valores simulados e os valores previstos pelo modelo para o ano de 2006. Ao usarmos este tipo de variação, não podemos utilizar regiões onde os valores previstos pelo modelo são negativos para alguma cultura, causando uma natural diminuição na variação das áreas.

Ao compararmos os resultados simulados com o trabalho de Assad e Pinto (2008) que realizaram um estudo sobre o zoneamento de riscos climáticos observamos algumas divergências nos resultados. Enquanto o presente trabalho aponta para um possível aumento nas áreas de soja e milho e uma possível diminuição na área de cana-de-açúcar, Assad e Pinto (2008) concluem que ocorrerá uma diminuição nas áreas de baixo risco climático para todas as culturas, incluindo a soja e o milho, com exceção apenas para a cana-de-açúcar e a mandioca. No entanto é importante notar que os trabalhos são complementares. Enquanto Assad e Pinto (2008) analisam a potencialidade agrícola e os riscos climáticos de cada região para cada cultura estudada, o presente trabalho analisa a tomada de decisão dos agentes econômicos quanto à alocação do uso da terra. Uma possível extensão do presente estudo é a

análise dos resultados regionais encontrados contrastada com o zoneamento de riscos climáticos, comparação que não foi levada em conta no presente trabalho.

Na Seção seguinte temos uma análise das variações do uso de terra em cada região, assim como a análise da real transformação da participação de cada uso do solo estudado em cada região.

5.2.2 Simulações – Resultados Regionais

Após análise dos resultados gerias para o Brasil como um todo, é de grande importância analisar como as simulações apontam para variações no uso da terra em cada região brasileira. Nesta seção cada região será analisada separadamente.

A Tabela 8 mostra a variação nas áreas cultivadas na região Norte. As variações percentuais das culturas devem ser interpretadas com cautela, uma vez que as atuais áreas de soja, milho e cana na região são pequenas e assim a base de comparação para estas culturas é baixa. As simulações apontam para um aumento de mais de 200% na área destinada à soja em ambos os cenários, com destaque para o aumento da área em Rondônia, no Pará e no Amazonas. Para o milho, há um cenário de aumento de mais de 100% de área em todas as simulações, chegando a um aumento de 160% no cenário A2 no período de 2070 a 2099. O maior aumento em termos percentuais ocorre no estado de Roraima, e em termos absolutos nos estados do Amazona e do Pará. Em termos percentuais, a cana-de-açúcar é a opção de uso da terra com maior crescimento na região Norte. No entanto, em termos absolutos, a variação na área de cana é menor do que as observadas no milho e na soja. Os estados do Pará e de Rondônia apresentam o maior crescimento na área de cultivo desta cultura. A diminuição da área de florestas na região ocorre em magnitude semelhante ao aumento da área destinada as pastagens. Assim, de maneira geral, é possível observar que as projeções das variáveis climáticas apontam para o favorecimento do aumento da área destinada às produções de cana, milho, soja e pastos; e à diminuição das áreas de florestas e outras lavouras nos estabelecimentos.

Tabela8. Resultados das Simulações para Região Norte – Variação Percentual e em Mil Hectares

Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
A2	2039	262%	156%	290%	-39%	36%	-42%
		589,2	461,0	61,9	-1446,4	9869,3	-9535,0
	2069	235%	129%	397%	-45%	44%	-51%
		527,3	382,2	84,8	-1647,7	12203,1	-11549,7
	2099	227%	160%	611%	-56%	57%	-65%
		509,8	471,6	130,4	-2036,0	15771,2	-14846,9
		Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
B2	2039	283%	150%	304%	-38%	36%	-43%
		635,5	444,0	64,9	-1404,6	9979,0	-9718,8
	2069	252%	139%	360%	-42%	38%	-44%
		566,0	411,1	76,9	-1533,7	10516,7	-10037,0
	2099	200%	114%	429%	-47%	46%	-52%
		450,2	337,3	91,6	-1734,4	12807,8	-11952,5

Fonte: Resultados das Simulações

No cenário A2 a região Nordeste apresenta redução nas áreas destinadas a produção de soja, milho, cana, outras lavouras e floresta. Ocorre um aumento na área apenas para soja e pasto. No cenário B2 observa-se o aumento da área de soja apenas em um horizonte temporal maior. Desta maneira, as simulações para esta região apontam para uma tendência das pastagens se tornarem ainda mais dominantes no uso da terra. Os estados do Ceará e Rio Grande do Norte se destacam no aumento da área destinada ao cultivo de soja, enquanto ocorre diminuição da área destinada ao milho em quase todos os estados. As simulações apontaram para a diminuição na área destinada a cana-de-açúcar, sendo o Piauí o único estado a apresentar crescimento na área cultivada quando analisamos o horizonte temporal de 2069 a 2099. Por fim, o Rio Grande do Norte é o único estado da região que apresenta crescimento nas áreas destinadas a florestas na região.

Tabela 9. Resultados das Simulações para Região Nordeste – Variação Percentual e em Mil Hectares

Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
A2	2039	13%	-63%	-59%	-55%	60%	-51%
		144,1	-2125,6	-678,0	-5475,9	21068,5	-12933,2
	2069	18%	-61%	-57%	-59%	66%	-59%
		196,8	-2044,3	-654,1	-5801,6	23267,2	-14964,0
	2099	35%	-56%	-52%	-63%	75%	-71%
		388,1	-1892,3	-597,6	-6223,0	26387,2	-18062,4
		Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
B2	2039	-1%	-65%	-60%	-56%	62%	-53%
		-10,4	-2198,1	-679,0	-5537,2	21943,3	-13518,5
	2069	-10%	-66%	-59%	-59%	65%	-56%
		-107,4	-2210,3	-678,0	-5804,9	22942,1	-14141,4
	2099	65%	-49%	-53%	-57%	62%	-58%
		724,7	-1655,2	-609,6	-5654,0	21810,3	-14616,3

Fonte: Resultados das Simulações

Tabela 10. Resultados das Simulações para Região Sudeste – Variação Percentual e em Mil Hectares

Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
A2	2039	346%	61%	-9%	-36%	20%	-59%
		3244,6	1209,7	-339,2	-2465,3	5800,0	-7449,8
	2069	319%	50%	-10%	-43%	31%	-75%
		2991,8	990,5	-366,0	-2966,4	8723,1	-9373,1
	2099	278%	35%	-18%	-60%	44%	-88%
		2600,0	685,2	-652,2	-4088,0	12461,2	-11006,3
		Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
B2	2039	320%	50%	-12%	-38%	26%	-67%
		2996,7	983,0	-418,8	-2609,9	7456,6	-8407,5
	2069	306%	48%	-10%	-42%	28%	-69%
		2864,7	949,0	-366,6	-2847,9	8016,8	-8616,1
	2099	292%	35%	-14%	-48%	35%	-78%
		2738,9	701,0	-490,0	-3257,5	10082,1	-9774,4

Fonte: Resultados das Simulações

A Tabela 10 apresenta os resultados das simulações para a região Sudeste, onde se observa uma tendência de aumento nas áreas de pasto, assim como observado nas regiões Norte e Nordeste. No entanto, para o estado de São Paulo é possível notar uma redução neste uso do solo até 2039. Os resultados apontam para um aumento significativo na área destinada ao cultivo de soja, com quase a totalidade deste aumento sendo observada nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Observou-se também aumento na área de cultivo de milho, com destaque para o estado de São Paulo. A cana-de-açúcar, importante cultura da região, apresentou

tendência de queda, sendo o estado de São Paulo o responsável pela maior parte na queda da área desta cultura.

Tabela 11. Resultados das Simulações para Região Sul – Variação Percentual e em Mil Hectares

Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
A2	2039	69%	45%	73%	-10%	-58%	27%
		4667,0	1997,4	295,4	-429,9	-9272,6	2742,8
	2069	70%	48%	89%	-15%	-41%	1%
		4755,5	2114,3	363,4	-649,8	-6653,7	70,3
	2099	81%	57%	108%	-34%	-17%	-42%
		5501,4	2528,5	439,5	-1462,0	-2694,7	-4312,7
		Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
B2	2039	69%	45%	75%	-8%	-57%	24%
		4682,7	1982,3	305,8	-345,1	-9137,2	2511,4
	2069	72%	47%	86%	-12%	-52%	15%
		4910,9	2086,6	351,2	-521,2	-8390,8	1563,3
	2099	79%	51%	99%	-17%	-43%	-3%
		5408,2	2268,4	402,1	-738,6	-7005,4	-334,8

Fonte: Resultados das Simulações

A Tabela 11 apresenta os resultados das simulações para a região Sul, que apresentou resultados das simulações diferentes dos observados nas outras regiões e onde se observa uma tendência de queda nas áreas de pasto nos dois cenários em todos os períodos, além do aumento das áreas de florestas até 2069. Este aumento nas áreas de florestas ocorre primordialmente no Rio Grande do Sul. Os aumentos nas áreas de soja, milho e cana ocorrem significativamente nos três estados da região, com destaque para o aumento da área de cana em Santa Catarina e no Paraná.

Tabela 12. Resultados das Simulações para Região Centro-Oeste – Variação Percentual e em Mil Hectares

Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
A2	2039	66%	90%	21%	-23%	-2%	-15%
		4338,2	2190,6	130,0	-721,0	-1016,1	-4921,7
	2069	56%	81%	23%	-35%	5%	-24%
		3702,4	1967,9	147,1	-1060,1	2830,0	-7587,4
	2099	55%	84%	31%	-50%	12%	-35%
		3631,9	2043,7	194,0	-1541,0	6920,7	-11249,1
		Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
B2	2039	66%	89%	20%	-23%	-2%	-15%
		4314,3	2163,6	127,8	-710,9	-915,9	-4978,9
	2069	66%	89%	24%	-28%	0%	-18%
		4324,4	2169,6	150,5	-859,4	16,5	-5801,6
	2099	59%	81%	26%	-36%	5%	-24%
		3867,9	1980,9	166,2	-1092,0	2971,2	-7894,2

Fonte: Resultados das Simulações

Dada a metodologia adotada no presente trabalho, a região Centro-Oeste é a região com maior área para cultivo. As simulações para esta região apresentaram aumento nas áreas destinadas à soja, ao milho e à cana. O aumento da área cultivada destas culturas nos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás foi significativo, enquanto para o Distrito Federal as simulações apontam para a transformação de toda a área destinada às culturas em pastagens. A região não apresenta aumento tão forte nas áreas de pastagem como observados no Norte, Nordeste e Sudeste, nesta região o aumento das áreas das culturas se dá preponderantemente pela diminuição das áreas destinadas a florestas.

Outro ponto de interesse nas simulações é a análise da alteração das participações de cada uso do solo no Brasil. A tabela 10 do Apêndice apresenta as participações de cada uso observadas no censo agropecuário 2006 e as observadas nas simulações para cada região. Para a região Norte, embora as variações percentuais observadas para a soja, o milho e a cana-de-açúcar tenham sido maiores do que 100% em todos os cenários, notamos que a participação destas culturas no total do uso da terra da região ainda seria muito baixa. A cana-de-açúcar não ocuparia mais do que 0,3% das áreas dos estabelecimentos, enquanto que o milho e a soja não ocupariam mais que 1,3% e 1,5% respectivamente. O destaque da região vai para o crescimento da participação das pastagens, que podem chegar a ocupar mais de 70% das áreas dos estabelecimentos. Para a região Nordeste, temos uma queda na participação do milho nas áreas cultivadas de atuais 4,4% para menos de 2%. Ocorre queda também na participação de cana-de-açúcar que atualmente ocupa cerca de 1,5% das áreas cultivadas e que ocuparia

menos de 0,5% de acordo com as simulações. O destaque da região também é o crescimento da participação das pastagens, que podem chegar a ocupar 75% das áreas dos estabelecimentos.

Na região Sudeste observamos um aumento expressivo da participação do cultivo da soja nas áreas dos estabelecimentos. A cana-de-açúcar apresenta participação estável nesta região, enquanto observamos um leve aumento na participação do milho. Assim como o resto do país, as pastagens apresentam crescimento na participação da área total nas simulações. A região Sul apresenta queda da participação das pastagens nas áreas dos estabelecimentos, e se destacam os aumentos das participações do milho e da soja, sendo a soja o uso da terra de maior participação em alguns cenários da simulação. A região Centro-Oeste é a que menos se altera com relação à participação dos diferentes usos nas áreas dos estabelecimentos, as participações praticamente se mantêm constantes com um aumento para a soja.

Ao analisarmos os resultados tanto pela variação percentual da área em cada região, quanto pela variação na participação final do uso da terra de cada uma das alternativas temos uma melhor visão dos possíveis impactos das mudanças climáticas no uso da terra. As simulações mostraram que embora para algumas regiões o aumento percentual pode ser grande, a transformação na participação de cada cultura no uso da terra é menos afetado.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

Dadas as evidências científicas cada vez mais consolidadas acerca das mudanças climáticas, cabe analisar quais seriam seus efeitos sobre a produção do setor agropecuário brasileiro, um setor de grande importância para a economia. Tendo isso em vista, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto esperado das mudanças climáticas sobre o padrão de uso da terra nos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Para tanto, foi estimado um modelo econométrico que permitiu verificar os impactos climáticos sobre a decisão de alocação das áreas pelo produtor rural entre seis possíveis usos: soja, milho, cana, outras lavouras, pasto e florestas. Com base em projeções de temperatura e precipitação, foi possível, então, proceder-se à simulação de como se comportaria a alocação da terra no território nacional entre 2010 e 2099, considerando-se as estruturas produtivas e tecnológicas tais como em 2006.

Para estimar os coeficientes necessários para a realização das simulações o presente trabalho estimou o sistema de equações derivado do modelo econômico pelo método de estimação simultânea ISUR. A escolha deste método foi baseada em uma ampla discussão sobre a melhor maneira de captar o impacto de mudanças climáticas no uso da terra. Embora encontremos na literatura inúmeras aplicações da metodologia de painel para a estimação de impactos de mudanças climáticas na lucratividade do setor agrícola, a partir das discussões desenvolvidas neste trabalho a estimação por *cross-section* se mostrou a mais adequada à resolução do problema proposto.

Os resultados das simulações sugerem, em nível nacional, uma significativa expansão das áreas destinadas às atividades de pastagem, em detrimento dos demais usos da terra. Em especial as áreas de lavouras não especificadas seriam negativamente afetadas, ocorrendo simultaneamente a conversão das áreas florestais dos estabelecimentos rurais para o uso na pecuária. Vale notar que os resultados aqui encontrados apontam para variações de maior magnitude do que os encontrados por Féres et al. (2009), embora ambos trabalhos apontem para um aumento nas áreas de pastagem e diminuição nas áreas de florestas. As simulações sugeriram ainda que, dada a heterogeneidade espacial esperada das mudanças climáticas, seus efeitos podem ser distintos sobre o padrão de alocação da terra nas diferentes regiões brasileiras.

Embora os resultados apontem para variações percentuais de grande magnitude, ao analisarmos os efeitos das simulações na participação de cada um dos seis usos da terra apresentados no trabalho não observamos uma mudança estrutural tão grande. As pastagens, que atualmente são o tipo de uso do solo preponderante, continuariam a ser o cultivo de maior participação em todas as regiões.

Após a realização das simulações é importante ressaltar as limitações das projeções realizadas neste trabalho. A primeira delas foi a baixa significância das variáveis de preços relativos, que além de na maioria dos casos não serem estatisticamente diferentes de zero apresentaram, em alguns casos, o sinal do coeficiente divergente do esperado pela teoria econômica. Ou seja, os resultados não estariam captando corretamente a influência esperada dos preços relativos na decisão de uso da terra. Outro fator de limitação nas análises realizadas neste trabalho é a provável superestimação das variações no uso da terra devido ao fato das simulações não levarem em conta efeitos secundários da re-alocação do uso da terra. Por exemplo, a

diminuição na área cultivada da cana-de-açúcar levaria a um aumento do preço deste produto, e consequentemente a um maior incentivo ao cultivo.

Uma extensão natural do presente trabalho seria a comparação dos resultados regionais com o trabalho realizado por Assad e Pinto (2008) sobre as zonas de riscos climáticos. Esta comparação poderia ser feita para se medir a viabilidade das mudanças encontradas nas simulações, uma vez que este tipo de informação não está captado no modelo econômico. Outra extensão do trabalho seria avaliar os impactos secundários da re-alocação do uso da terra no Brasil através de modelos de equilíbrio geral computável. Esta abordagem permitiria analisarmos como as mudanças no uso da terra sugeridas pelas simulações afetariam outros setores da economia e a própria decisão de alocação de uso da terra.

Apesar das limitações presentes neste trabalho, os resultados são um forte indicativo da provável influência das mudanças climáticas no uso da terra no Brasil em um futuro próximo.

REFERÊNCIAS

Adams, R. (1989). Global climate change and agriculture: an economic perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, December, 71(5), pp. 1272-79.

Anselin, L. *Spatial econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic: Boston, 1988.

Assad, E.; Pinto, H. S. Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. Embrapa. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>

Chasco, C. & López, F.A., 2004. "Modelos de regresión espacio-temporales en la estimación de la renta municipal: el caso de la Región de Murcia," *Estudios de Economía Aplicada*, Estudios de Economía Aplicada, vol. 22, pages 1-24, Diciembre

Dale, V.H. (1997) The Relationship Between land-use change and climate change. *Ecological Applications* 7:3, 753-769

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

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

Elhorst, J. P. (2003) Specification and estimation of spatial panel data models. *Int Reg Sci Rev* 26(3):244-268

Evenson, R.E. & D.C.O. Alves (1998). Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture. *Planejamento e Políticas Públicas*, 18, pp.223-258.

Féres, J., E. Reis e J. Speranza. Mudanças climática globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: XXXVII Encontro Nacional de Economia, 2009, Foz do Iguaçu. Anais do XXXVII Encontro Nacional de Economia, 2009. Disponível em: http://www.anpec.org.br/encontro_2009.htm

Féres, J., E. Reis e J. Speranza (2007). Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. In: Proceedings of the 16th Annual EAERE Annual Conference. Gothemburg: European Association of Environmental and Resource Economists.

Greene, W. Analysis Econometrics. 3^a ed. Chicago: Prentice Hall, 2003, 1200p.

Kaiser, H.M., S.J. Riha, D.S. Wilks, D.G. Rossiter and R. Sampath (1993), "A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual warmings", *American Journal of Agricultural Economics*, 75(2), 387-98.

Kumar K.S. (2011) "Climate sensitivity of Indian agriculture: do spatial effects matter?" *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 2011, 1-15

Lau, L. J. "Applications of Profit Functions." *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, Vol. 1, eds., M. Fuss and D. McFadden, Chap. I.3. Amsterdam: North-Holland, 1978.

Mendelsohn, R., W. Nordhaus, and D. Shaw (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*. 84(4): 753-71

Mendelsohn, Robert, William D. Nordhaus and Daigee Shaw (1999). "The Impact of Climate Variation on US Agriculture". In *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, ed. Robert Mendelsohn and James E. Neumann, 55-74. Cambridge: Cambridge University Press.

Mendelsohn, R.; Dinar, A. *Climate Change and Agriculture*. World Bank, 2009.

Matthews, RB, Gilbert, NG, Roach, A, Polhill, JG and Gotts, NM (2007) *Agent-based land-use models: a review of applications* Landscape Ecology, 22 (10). 1447 – 1459

Moore, M.R., and Negri, D.H. "A Multicrop Production Model of Irrigated Agriculture, Applied to Water Allocation Policy of the Bureau of Reclamation" *J. Agr. and Res. Econ.* 17:29-43.

Peart, B., J. W. Jones, R. B. Curry, K. J. Boote, and L. H. Allen, Jr. "Impact of Climate Change on Crop Yield in the Southeastern U.S.A.: A Simulation Study." *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States*, ed. D. A. Tirpak and J. B. Smith, vol. C. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency Draft Report to Congress, 1988

Platinga, A. J. (1996) "The Effect of Agricultural Policies on Land Use and Environmental" *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 78, No. 4 (Nov., 1996), pp. 1082-1091

Rosenzweig, C. "Potential Effects of Climate Change on Agricultural Production in the Great Plains: A Simulation Study" *Report to Congress on the Effects of Global Climate Change*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1988.

Sands, R.D. and J.A. Edmonds (2005), "Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment – Part 7. Economic analysis of field crops and land use with climate change", *Climate Change*, 69, 127-50

Sanghi, A., D. Alves, R. Evenson, and R. Mendelsohn (1997). Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. *Economia Aplicada*, v.1,n.1,1997.

Siqueira, O.J.F. de, J.R.B. de Farias, and L.M.A. Sans (1994). Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture, and adaptive strategies for wheat, maize, and soybeans. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2 pp. 115-129.

Stern, N. (2007). *Stern Review on The Economics of Climate Change*. Executive Summary. HM Treasury, London

APÊNDICE

Tabela 1. Resultados SAR - Painel Espacial

Equação	SOJA			MILHO			CANA		
	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value
Preço Relativo Cana	-4762,68	-0,54	0,59	328,79	0,07	0,94	1498,84	0,56	0,57
Preço Relativo Milho	4088,69	0,82	0,41	-2326,73	-0,88	0,38	-1520,26	-1,01	0,31
Preço Relativo Soja	-174,84	-0,04	0,97	3787,61	1,67	0,09	886,14	0,69	0,49
Preço Relativo Out. Lavouras	-0,20	-0,99	0,32	-0,07	-0,64	0,52	-0,03	-0,50	0,62
Preço Relativo Terra	12,26	0,18	0,86	7,32	0,20	0,84	-3,77	-0,18	0,85
Preço Relativo Trabalho	-331,84	-1,60	0,11	-261,71	-2,35	0,02	-29,84	-0,47	0,64
Preço Relativo Floresta	-23005,22	-1,90	0,06	-7337,78	-1,13	0,26	1215,24	0,33	0,74
Precipitação DJF	44,60	3,52	0,00	23,94	3,52	0,00	1,80	0,47	0,64
Precipitação JJA	-13,15	-0,62	0,54	-16,26	-1,43	0,15	-8,29	-1,28	0,20
Precipitação MAM	15,48	1,59	0,11	-2,60	-0,50	0,62	1,57	0,53	0,60
Precipitação SON	6,18	0,29	0,77	18,53	1,64	0,10	-15,89	-2,48	0,01
Temperatura DFJ	4767,02	1,13	0,26	2953,80	1,31	0,19	-1401,19	-1,09	0,28
Temperatura JJA	-4282,23	-0,46	0,65	-13179,13	-2,64	0,01	13571,89	4,80	0,00
Temperatura MAM	13293,61	1,11	0,27	5212,22	0,81	0,42	3174,97	0,87	0,38
Temperatura SON	902,92	0,06	0,95	2477,60	0,32	0,75	-10329,79	-2,33	0,02
AreaTot	0,09	10,66	0,00	0,04	9,55	0,00	0,00	0,21	0,83
Area Med	-161,08	-8,92	0,00	-98,14	-10,24	0,00	7,53	1,43	0,15
	rsq=0,92 corr=0,23			rsq=0,89 corr=0,17			rsq=0,96 corr=0,11		

Equação	OUTRAS LAVOURAS			PASTO			FLORESTA		
	betas	tstat	p-value	betas	tstat	p-value	betas	tstat	p-value
Preço Relativo Cana	7858,51	1,20	0,23	-23952,23	-1,34	0,18	35267,15	1,98	0,05
Preço Relativo Milho	-8884,77	-2,39	0,02	-3410,86	-0,34	0,74	49916,16	5,01	0,00
Preço Relativo Soja	3304,48	1,04	0,30	128,62	0,01	0,99	-37404,85	-4,39	0,00
Preço Relativo Out. Lavouras	0,03	0,18	0,86	0,57	1,41	0,16	-0,42	-1,04	0,30
Preço Relativo Terra	45,77	0,91	0,37	34,70	0,26	0,80	-105,04	-0,78	0,44
Preço Relativo Trabalho	-35,34	-0,23	0,82	-584,87	-1,39	0,17	1478,32	3,53	0,00
Preço Relativo Floresta	2140,65	0,23	0,81	47353,60	1,92	0,05	-45779,49	-1,87	0,06
Precipitação DJF	-30,92	-3,24	0,00	-11,60	-0,45	0,65	-62,73	-2,46	0,01
Precipitação JJA	-20,55	-1,29	0,20	77,48	1,80	0,07	16,78	0,39	0,70
Precipitação MAM	18,63	2,55	0,01	-21,37	-1,08	0,28	38,24	1,94	0,05
Precipitação SON	-9,77	-0,62	0,54	-72,81	-1,71	0,09	32,64	0,76	0,45
Temperatura DFJ	-6620,80	-2,09	0,04	16943,79	1,99	0,05	27042,22	3,06	0,00
Temperatura JJA	21139,58	3,02	0,00	889,15	0,05	0,96	55210,17	2,94	0,00
Temperatura MAM	11571,78	1,28	0,20	1034,43	0,04	0,97	-45251,71	-1,86	0,06
Temperatura SON	-5980,59	-0,54	0,59	-24150,93	-0,82	0,41	-57879,30	-1,95	0,05
AreaTot	0,03	4,34	0,00	0,36	21,11	0,00	0,46	26,77	0,00
Area Med	-22,45	-1,72	0,09	-128,12	-3,64	0,00	353,50	9,84	0,00
	rsq=0,90 corr=0,12			rsq=0,99 corr=0,44			rsq=0,98 corr=0,48		

Tabela 2. Variáveis Agronômicas

Variável	Descrição
PSOLOi	Proporção da área na classe de solo i
PPTNCi	Proporção da área com potencialidade agrícola na classe i
PALTi	Proporção da área em diferentes níveis de altitude
irrig06	Área irrigada
atotar06	Área total
area_h2o	Área ocupada por corpos hídricos

Tabela 3. Regressão - Resultados Completos

Equação	SOJA			MILHO			CANA		
	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value
Preço Relativo Soja	75507,32	1,91	0,06	25356,08	1,79	0,07	8283,37	2,28	0,02
Preço Relativo Milho	-96696,39	-1,79	0,07	-36474,01	-1,90	0,06	-8209,29	-1,66	0,10
Preço Relativo Cana	37809,36	0,76	0,45	13757,95	0,79	0,43	-8415,60	-1,59	0,11
Preço Relativo Out. Lavouras	-2,22	-2,17	0,03	-0,47	-1,28	0,20	-0,06	-0,70	0,49
Preço Relativo Floresta	-22900,91	-0,54	0,59	1414,88	0,09	0,93	-2252,55	-0,42	0,67
Preço Relativo Terra	211,67	0,07	0,95	83,17	0,08	0,94	-72,58	-0,26	0,80
Preço Relativo Trabalho	1631,84	1,92	0,05	612,37	2,11	0,04	101,21	1,27	0,20
Temperatura DFJ	-69747,35	-3,06	0,00	-17829,04	-2,28	0,02	-1477,25	-0,71	0,48
Temperatura MAM	100732,60	3,67	0,00	22259,71	2,36	0,02	3507,05	1,39	0,16
Temperatura JJA	-65328,65	-3,17	0,00	-19217,82	-2,72	0,01	-3066,49	-1,62	0,11
Temperatura SON	39707,11	2,12	0,03	16317,79	2,54	0,01	2118,43	1,23	0,22
Precipitação DJF	-2101,58	-6,47	0,00	-912,46	-8,18	0,00	-45,45	-1,52	0,13
Precipitação MAM	2475,95	7,39	0,00	953,93	8,26	0,00	59,49	1,93	0,05
Precipitação JJA	-1082,50	-3,35	0,00	-491,13	-4,43	0,00	-15,08	-0,50	0,62
Precipitação SON	1760,40	5,07	0,00	645,30	5,41	0,00	26,09	0,82	0,41
palt1	-92285,36	-1,81	0,07	-43726,96	-2,44	0,02	-11046,58	-2,41	0,02
palt2	-235429,70	-4,96	0,00	-85241,12	-5,03	0,00	-9677,25	-2,25	0,03
palt3	-35098,93	-1,05	0,29	-16723,84	-1,41	0,16	-5529,75	-1,86	0,06
pptnc4	-42374,97	-1,21	0,23	-8422,09	-0,67	0,51	-1424,81	-0,46	0,65
pptnc5	-55352,56	-1,32	0,19	-20439,23	-1,36	0,17	7189,01	1,89	0,06
psolo2	28185,41	0,51	0,61	24549,07	1,23	0,22	-2272,71	-0,46	0,64
psolo6	174377,20	4,26	0,00	44168,50	3,01	0,00	12559,30	3,44	0,00
psolo8	62492,38	1,32	0,19	-2127,01	-0,13	0,90	-12186,48	-2,90	0,00
irrig06	1,07	4,06	0,00	0,16	1,73	0,08	0,15	6,33	0,00
AreaTot	0,05	8,17	0,00	0,02	7,54	0,00	0,00	-0,43	0,66
area_h2o	-0,37	-4,84	0,00	-0,12	-4,22	0,00	0,00	0,72	0,47
95	0,01	0,94	0,35	0,53	20,07	0,00	0,98	37,29	0,00
w95	0,10	3,32	0,00	-0,30	-5,13	0,00	0,14	3,12	0,00
_cons	-283682,70	-1,45	0,15	-44369,70	-0,65	0,51	-35676,97	-1,97	0,05

Equação	OUTRAS LAVOURAS			PASTO			FLORESTA		
	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value	Coef.	t-stat	p-value
Preço Relativo Soja	9894,47	0,68	0,50	-146881,60	-1,92	0,06	21558,51	0,37	0,71
Preço Relativo Milho	-16909,80	-0,85	0,40	140240,40	1,32	0,19	22104,52	0,28	0,78
Preço Relativo Cana	40212,66	2,19	0,03	-97188,51	-1,02	0,31	3231,00	0,04	0,97
Preço Relativo Out. Lavouras	-0,19	-0,51	0,61	4,05	2,13	0,03	-0,96	-0,67	0,51
Preço Relativo Floresta	-33198,00	-2,09	0,04	103830,60	1,28	0,20	-30751,86	-0,50	0,62
Preço Relativo Terra	-268,26	-0,24	0,81	641,98	0,11	0,92	-595,98	-0,13	0,90
Preço Relativo Trabalho	-1020,26	-3,31	0,00	1733,55	1,02	0,31	-3058,70	-2,39	0,02
Temperatura DFJ	-31752,74	-3,80	0,00	324819,10	7,16	0,00	-204012,70	-5,94	0,00
Temperatura MAM	35987,36	3,59	0,00	-288271,10	-5,25	0,00	125784,40	3,03	0,00
Temperatura JJA	-14920,47	-1,99	0,05	165937,90	4,03	0,00	-63404,51	-2,04	0,04
Temperatura SON	4685,87	0,69	0,49	-150590,50	-4,03	0,00	87761,32	3,11	0,00
Precipitação DJF	-133,71	-1,12	0,26	4859,89	7,51	0,00	-1666,68	-3,41	0,00
Precipitação MAM	176,81	1,44	0,15	-5798,79	-8,70	0,00	2132,62	4,23	0,00
Precipitação JJA	-81,37	-0,69	0,49	3178,13	4,93	0,00	-1508,05	-3,09	0,00
Precipitação SON	64,61	0,51	0,61	-4586,99	-6,63	0,00	2090,60	4,00	0,00
palt1	36907,42	1,96	0,05	10827,42	0,11	0,91	127788,10	1,72	0,09
palt2	-15813,97	-0,89	0,37	168929,90	1,87	0,06	190689,10	2,78	0,01
palt3	339,26	0,03	0,98	15461,28	0,24	0,81	70757,20	1,47	0,14
pptnc4	10084,91	0,77	0,44	-9757,50	-0,15	0,88	48032,09	0,97	0,33
pptnc5	-11533,48	-0,74	0,46	293942,50	3,72	0,00	-221890,00	-3,71	0,00
psolo2	-26119,62	-1,27	0,21	-140859,20	-1,36	0,18	130625,30	1,66	0,10
psolo6	5454,82	0,36	0,72	-178713,80	-2,33	0,02	-75086,28	-1,29	0,20
psolo8	29400,95	1,67	0,10	-435743,10	-4,92	0,00	342995,10	5,11	0,00
irrig06	1,01	10,10	0,00	-0,85	-1,73	0,09	-1,98	-5,29	0,00
AreaTot	0,00	1,53	0,13	0,62	52,74	0,00	0,31	34,60	0,00
area_h2o	0,04	1,48	0,14	0,66	4,55	0,00	-0,21	-1,94	0,05
95	0,22	13,62	0,00	-0,01	-4,31	0,00	0,01	4,43	0,00
w95	0,05	1,70	0,09	0,02	4,24	0,00	-0,01	-1,10	0,27
_cons	171399,00	2,34	0,02	-984571,10	-2,52	0,01	1150425,00	3,90	0,00

Tabela 4. Simulações Cenário A2 2010-39 – Variação Percentual da Área e Variação em Mil Hectares

	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
11 - Rondônia	305% 154.071	137% 92.124	674% 12.199	-23% -86.705	15% 720.963	-30% -892.652
12 - Acre	* *	-100% -41.823	-100% -436	-73% -88.236	86% 964.893	-38% -834.398
13 - Amazonas	* 218.871	753% 123.729	685% 10.199	-54% -457.913	130% 1.128.857	-54% -1.023.743
14 - Roraima	1364% 54.733	595% 41.171	-100% -35	-55% -57.121	-2% -17.466	-3% -21.283
15 - Pará	847% 151.107	133% 167.236	239% 30.032	-31% -527.732	37% 4.229.306	-44% -4.049.950
16 - Amapá	-100% -71	-100% -668	-100% -81	-85% -51.984	164% 469.005	-79% -416.201
17 - Tocantins	7% 10.479	215% 79.266	203% 9.986	-40% -176.696	28% 2.373.778	-44% -2.296.813
21 - Maranhão	-38% -102.428	-89% -210.154	-66% -12.191	-62% -1.197.600	67% 4.446.056	-76% -2.923.683
22 - Piauí	148% 319.940	25% 57.046	-48% -4.731	-51% -456.649	77% 2.561.424	-51% -2.477.030
23 - Ceará	3206% 10.034	-74% -703.202	-87% -17.245	-61% -611.705	92% 3.111.498	-68% -1.789.381
24 - Rio Grande do Norte	14720% 2.650	-100% -94.435	-64% -24.868	-55% -299.421	-14% -196.738	57% 612.813
25 - Paraíba	* *	-96% -331.407	-75% -57.304	-94% -253.985	66% 1.299.770	-56% -657.074
26 - Pernambuco	-100% -83	-77% -301.856	-57% -182.248	-67% -666.167	101% 2.238.408	-71% -1.088.054
27 - Alagoas	-100% -229	-68% -181.066	-58% -341.353	-90% -273.556	108% 984.271	-65% -188.067
28 - Sergipe	* *	-99% -108.991	-100% -14.131	-100% -202.123	45% 450.077	-72% -124.832
29 - Bahia	-14% -85.740	-34% -251.531	-39% -23.889	-40% -1.514.712	43% 6.173.729	-44% -4.297.857
31 - Minas Gerais	112% 688.567	12% 152.942	-4% -17.072	-43% -1.319.505	32% 5.972.403	-64% -5.477.335
32 - Espírito Santo	* *	-74% -22.266	-43% -30.303	-70% -461.200	64% 871.477	-49% -357.708
33 - Rio de Janeiro	* 32.379	318% 19.943	-16% -14.365	-83% -210.013	6% 71.641	25% 100.415
35 - São Paulo	780% 2.523.674	155% 1.059.098	-9% -277.441	-16% -474.622	-16% -1.115.502	-61% -1.715.207
41 - Paraná	84% 2.659.856	54% 1.145.081	38% 134.284	-14% -204.668	-62% -3.038.692	-18% -695.861
42 - Santa Catarina	452% 1.195.905	47% 451.965	627% 74.889	-23% -141.647	-69% -1.259.702	-13% -321.410
43 - Rio Grande do Sul	24% 811.206	29% 400.326	205% 86.177	-4% -83.624	-53% -4.974.174	97% 3.760.089
50 - Mato Grosso do Sul	111% 1.312.663	77% 479.165	17% 25.801	11% 44.537	-14% -2.898.069	15% 1.035.904
51 - Mato Grosso	55% 2.057.079	92% 1.037.751	33% 70.151	-23% -342.189	-3% -703.719	-11% -2.119.074
52 - Goiás	64% 1.009.947	105% 694.498	13% 35.252	-35% -389.322	15% 2.415.047	-62% -3.765.423
53 - Distrito Federal	-100% -41.504	-100% -20.817	-100% -1.159	-100% -34.027	211% 170.633	-100% -73.126

Tabela 5. Simulações Cenário B2 2010-39 - Variação Percentual da Área e Variação em Mil Hectares

	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
11 - Rondônia	386% 195.146	162% 108.855	770% 13.933	-21% -78.743	13% 628.339	-29% -867.530
12 - Acre	* *	-100% -41.823	-100% -436	-73% -88.565	86% 962.113	-38% -831.289
13 - Amazonas	* 240.142	765% 125.811	821% 12.210	-51% -434.576	121% 1.049.200	-52% -992.787
14 - Roraima	1334% 53.539	564% 39.000	916% 321	-50% -51.441	-5% -39.972	0% -1.447
15 - Pará	827% 147.443	112% 140.130	237% 29.771	-30% -516.237	38% 4.377.344	-45% -4.178.451
16 - Amapá	-100% -71	-100% -668	-100% -81	-83% -50.660	162% 462.132	-78% -410.652
17 - Tocantins	0% -713	197% 72.697	186% 9.183	-42% -184.404	30% 2.539.839	-47% -2.436.602
21 - Maranhão	-48% -131.575	-94% -222.219	-69% -12.652	-63% -1.205.953	69% 4.579.758	-78% -3.007.358
22 - Piauí	113% 243.819	11% 25.024	-37% -3.609	-51% -462.629	83% 2.775.057	-54% -2.577.661
23 - Ceará	2679% 8.384	-74% -706.108	-87% -17.256	-61% -614.282	93% 3.139.505	-69% -1.810.241
24 - Rio Grande do Norte	12716% 2.289	-100% -94.435	-65% -25.436	-54% -292.701	-11% -155.996	52% 566.279
25 - Paraíba	* *	-97% -334.751	-78% -59.623	-94% -255.368	70% 1.360.873	-61% -711.131
26 - Pernambuco	-100% -83	-76% -299.593	-57% -180.380	-68% -673.499	102% 2.260.237	-72% -1.106.682
27 - Alagoas	-100% -229	-67% -178.485	-58% -340.328	-91% -274.502	108% 987.427	-67% -193.882
28 - Sergipe	* *	-98% -107.347	-100% -14.092	-100% -202.123	45% 448.938	-72% -125.376
29 - Bahia	-21% -133.046	-38% -280.216	-42% -25.628	-41% -1.556.151	46% 6.547.480	-47% -4.552.439
31 - Minas Gerais	84% 513.656	0% 1.626	-10% -41.394	-45% -1.385.843	36% 6.721.191	-68% -5.809.236
32 - Espírito Santo	* *	-100% -30.256	-55% -38.451	-74% -484.043	76% 1.032.737	-66% -479.987
33 - Rio de Janeiro	* 24.934	222% 13.899	-27% -24.105	-85% -215.923	21% 272.616	-18% -71.420
35 - São Paulo	760% 2.458.098	146% 997.725	-10% -314.853	-18% -524.091	-8% -569.984	-73% -2.046.896
41 - Paraná	84% 2.633.615	53% 1.123.088	39% 138.146	-12% -178.360	-58% -2.846.330	-22% -870.160
42 - Santa Catarina	449% 1.188.634	47% 453.734	648% 77.401	-21% -125.732	-66% -1.199.088	-16% -394.950
43 - Rio Grande do Sul	25% 860.464	30% 405.493	214% 90.264	-2% -41.014	-54% -5.091.750	97% 3.776.543
50 - Mato Grosso do Sul	112% 1.328.595	77% 483.334	17% 25.902	12% 48.760	-14% -2.918.690	15% 1.032.100
51 - Mato Grosso	56% 2.094.461	92% 1.041.526	33% 70.654	-22% -327.250	-4% -844.423	-11% -2.034.969
52 - Goiás	59% 932.751	100% 659.510	12% 32.424	-35% -398.374	17% 2.676.562	-65% -3.902.874
53 - Distrito Federal	-100% -41.504	-100% -20.817	-100% -1.159	-100% -34.027	211% 170.633	-100% -73.126

Tabela 6. Simulações Cenário A2 2040-69 - Variação Percentual da Área e Variação em Mil Hectares

	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
11 - Rondônia	306% 154.653	136% 91.420	1098% 19.867	-31% -117.424	23% 1.109.934	-42% -1.258.450
12 - Acre	* *	-100% -41.823	-100% -436	-79% -95.420	96% 1.069.289	-42% -931.610
13 - Amazonas	* 203.183	703% 115.477	913% 13.578	-58% -493.151	156% 1.352.483	-63% -1.191.571
14 - Roraima	898% 36.021	419% 28.989	2151% 753	-63% -64.738	26% 195.816	-24% -196.841
15 - Pará	759% 135.288	92% 116.002	291% 36.522	-36% -613.734	46% 5.209.174	-53% -4.883.251
16 - Amapá	-100% -71	-100% -668	-100% -81	-87% -53.113	171% 489.281	-83% -435.348
17 - Tocantins	-1% -1.747	197% 72.824	297% 14.601	-48% -210.150	33% 2.777.093	-51% -2.652.620
21 - Maranhão	-37% -101.200	-90% -213.166	-45% -8.279	-65% -1.248.956	70% 4.668.790	-80% -3.097.190
22 - Piauí	166% 357.437	29% 66.131	72% 7.001	-57% -515.130	85% 2.830.923	-57% -2.746.362
23 - Ceará	4948% 15.487	-71% -679.150	-62% -12.331	-66% -655.637	99% 3.360.071	-77% -2.028.440
24 - Rio Grande do Norte	10754% 1.936	-100% -94.435	-65% -25.309	-61% -331.878	11% 152.674	27% 297.013
25 - Paraíba	* *	-96% -333.414	-78% -59.371	-97% -262.806	75% 1.464.750	-69% -809.159
26 - Pernambuco	-100% -83	-72% -281.456	-59% -186.112	-71% -704.808	107% 2.375.490	-79% -1.203.031
27 - Alagoas	-100% -229	-65% -171.983	-60% -347.805	-93% -282.653	115% 1.049.734	-85% -247.064
28 - Sergipe	* *	-96% -105.000	-98% -13.935	-100% -202.123	48% 471.429	-87% -150.372
29 - Bahia	-12% -76.564	-32% -231.794	-13% -8.003	-42% -1.597.644	48% 6.893.358	-51% -4.979.354
31 - Minas Gerais	109% 667.313	5% 69.622	5% 20.504	-49% -1.501.308	37% 7.025.354	-73% -6.281.485
32 - Espírito Santo	* *	-74% -22.423	-31% -21.812	-74% -481.599	72% 979.819	-62% -453.985
33 - Rio de Janeiro	* 38.722	358% 22.435	-7% -6.072	-86% -218.647	23% 293.793	-32% -130.231
35 - São Paulo	707% 2.285.794	135% 920.899	-12% -358.637	-27% -764.881	6% 424.184	-89% -2.507.360
41 - Paraná	83% 2.620.492	53% 1.127.871	43% 152.151	-22% -334.405	-38% -1.844.989	-44% -1.721.119
42 - Santa Catarina	455% 1.202.986	52% 497.316	758% 90.542	-30% -181.807	-40% -735.753	-35% -873.283
43 - Rio Grande do Sul	27% 932.040	36% 489.080	287% 120.702	-6% -133.540	-43% -4.072.943	69% 2.664.661
50 - Mato Grosso do Sul	100% 1.181.194	71% 441.478	20% 31.239	-11% -43.411	-9% -1.907.695	4% 297.195
51 - Mato Grosso	45% 1.699.282	82% 927.829	37% 78.335	-34% -504.033	6% 1.331.552	-18% -3.532.964
52 - Goiás	55% 863.435	94% 619.452	15% 38.706	-42% -478.614	20% 3.235.557	-71% -4.278.536
53 - Distrito Federal	-100% -41.504	-100% -20.817	-100% -1.159	-100% -34.027	211% 170.633	-100% -73.126

Tabela 7. Simulações Cenário B2 2040-69 - Variação Percentual da Área e Variação em Mil Hectares

	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
11 - Rondônia	349% 176.144	151% 102.010	958% 17.348	-26% -98.643	14% 703.710	-30% -900.568
12 - Acre	* *	-100% -41.823	-100% -436	-73% -88.038	83% 922.360	-36% -792.062
13 - Amazonas	* 217.479	749% 123.156	898% 13.367	-54% -459.530	128% 1.110.540	-53% -1.005.011
14 - Roraima	1175% 47.151	520% 35.945	2190% 766	-57% -58.460	1% 4.783	-4% -30.185
15 - Pará	800% 142.721	103% 128.771	275% 34.606	-33% -571.509	41% 4.659.004	-48% -4.393.594
16 - Amapá	-100% -71	-100% -668	-100% -81	-85% -52.421	164% 466.963	-79% -413.722
17 - Tocantins	-11% -17.457	173% 63.735	230% 11.315	-47% -205.144	31% 2.649.374	-48% -2.501.822
21 - Maranhão	-45% -122.926	-97% -228.457	-63% -11.614	-66% -1.261.838	70% 4.646.787	-78% -3.021.953
22 - Piauí	70% 152.138	-6% -13.454	-40% -3.905	-58% -519.634	95% 3.165.491	-58% -2.780.636
23 - Ceará	3362% 10.524	-73% -693.241	-83% -16.541	-65% -651.827	96% 3.244.966	-72% -1.893.880
24 - Rio Grande do Norte	7029% 1.265	-100% -94.435	-63% -24.601	-58% -315.154	-10% -138.997	53% 571.922
25 - Paraíba	* *	-97% -336.160	-76% -57.985	-95% -257.892	68% 1.339.897	-59% -687.860
26 - Pernambuco	-100% -83	-72% -283.961	-58% -183.648	-70% -696.156	105% 2.322.822	-76% -1.158.975
27 - Alagoas	-100% -229	-65% -171.945	-59% -344.021	-93% -280.978	112% 1.021.543	-77% -224.370
28 - Sergipe	* *	-96% -105.312	-99% -14.008	-100% -202.123	46% 459.318	-79% -137.875
29 - Bahia	-23% -148.125	-39% -283.353	-36% -21.703	-43% -1.619.288	48% 6.880.235	-49% -4.807.766
31 - Minas Gerais	83% 511.741	2% 23.339	-3% -12.607	-48% -1.476.790	36% 6.817.073	-68% -5.862.756
32 - Espírito Santo	* *	-99% -29.842	-48% -33.618	-76% -496.354	75% 1.015.302	-62% -455.488
33 - Rio de Janeiro	* 26.441	264% 16.547	-20% -17.826	-88% -221.881	18% 240.103	-11% -43.384
35 - São Paulo	719% 2.326.502	138% 938.984	-10% -302.512	-23% -652.864	-1% -55.678	-80% -2.254.432
41 - Paraná	87% 2.740.834	55% 1.155.224	44% 154.860	-18% -263.376	-53% -2.590.867	-30% -1.196.673
42 - Santa Catarina	467% 1.234.443	50% 480.602	734% 87.650	-25% -151.669	-59% -1.075.466	-23% -575.561
43 - Rio Grande do Sul	28% 935.625	33% 450.753	258% 108.707	-5% -106.158	-50% -4.724.468	86% 3.335.542
50 - Mato Grosso do Sul	115% 1.359.676	79% 496.585	21% 32.813	5% 19.818	-13% -2.741.078	12% 832.187
51 - Mato Grosso	56% 2.091.296	93% 1.054.041	39% 81.421	-26% -394.532	-2% -341.463	-13% -2.490.764
52 - Goiás	58% 914.975	97% 639.767	14% 37.382	-40% -450.657	18% 2.928.438	-67% -4.069.905
53 - Distrito Federal	-100% -41.504	-100% -20.817	-100% -1.159	-100% -34.027	211% 170.633	-100% -73.126

Tabela 8. Simulações Cenário A2 2070-99 - Variação Percentual da Área e Variação em Mil Hectares

	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
11 - Rondônia	382% 192.841	165% 111.350	1793% 32.448	-49% -183.050	35% 1.701.537	-62% -1.855.127
12 - Acre	* *	-100% -41.823	1240% 5.405	-86% -104.825	116% 1.298.603	-52% -1.157.360
13 - Amazonas	* 133.165	626% 102.823	1117% 16.620	-72% -606.779	229% 1.984.401	-86% -1.630.229
14 - Roraima	583% 23.388	393% 27.178	6855% 2.399	-92% -95.278	83% 637.614	-72% -595.302
15 - Pará	825% 147.037	141% 177.461	411% 51.623	-41% -711.919	55% 6.260.659	-64% -5.924.861
16 - Amapá	-100% -71	-100% -668	-100% -81	-86% -53.012	180% 512.709	-87% -458.877
17 - Tocantins	9% 13.422	258% 95.252	447% 21.989	-64% -281.130	40% 3.375.647	-62% -3.225.181
21 - Maranhão	-28% -75.941	-88% -207.208	-6% -1.016	-70% -1.344.243	75% 5.002.673	-87% -3.374.265
22 - Piauí	210% 453.472	39% 88.584	244% 23.813	-67% -608.088	101% 3.373.672	-69% -3.331.453
23 - Ceará	15592% 48.803	-69% -657.025	13% 2.524	-65% -653.367	104% 3.510.538	-86% -2.251.473
24 - Rio Grande do Norte	24785% 4.461	-100% -94.435	-49% -19.232	-58% -313.900	30% 433.158	-1% -10.052
25 - Paraíba	* 4.028	-95% -329.890	-73% -55.632	-98% -266.731	84% 1.640.434	-85% -992.209
26 - Pernambuco	1230% 1.021	-63% -246.049	-60% -189.886	-76% -748.523	117% 2.588.580	-92% -1.405.143
27 - Alagoas	-100% -229	-63% -167.640	-61% -356.655	-95% -286.782	120% 1.101.318	-100% -290.011
28 - Sergipe	* *	-90% -98.835	-97% -13.768	-100% -202.123	49% 488.287	-100% -173.562
29 - Bahia	-8% -47.501	-25% -179.778	20% 12.274	-48% -1.799.269	58% 8.248.547	-64% -6.234.272
31 - Minas Gerais	67% 409.719	-12% -146.502	8% 29.730	-64% -1.956.588	47% 8.937.181	-85% -7.273.540
32 - Espírito Santo	* 2.822	-70% -21.167	-14% -9.908	-81% -528.112	90% 1.224.043	-91% -667.679
33 - Rio de Janeiro	* 20.714	155% 9.739	3% 3.152	-90% -226.523	39% 512.005	-79% -319.087
35 - São Paulo	670% 2.166.773	124% 843.103	-22% -675.148	-48% -1.376.738	25% 1.787.996	-98% -2.745.986
41 - Paraná	84% 2.631.970	54% 1.147.176	42% 149.348	-48% -710.383	-7% -320.145	-73% -2.897.966
42 - Santa Catarina	535% 1.414.832	66% 639.746	961% 114.851	-52% -317.787	-6% -108.697	-70% -1.742.945
43 - Rio Grande do Sul	43% 1.454.627	54% 741.542	416% 175.324	-20% -433.845	-24% -2.265.853	8% 328.205
50 - Mato Grosso do Sul	99% 1.172.360	75% 467.411	30% 45.557	-37% -153.297	-4% -773.453	-11% -758.578
51 - Mato Grosso	41% 1.527.341	80% 908.158	46% 98.021	-47% -710.540	17% 3.726.385	-29% -5.549.365
52 - Goiás	61% 973.658	104% 688.899	19% 51.532	-57% -643.106	24% 3.797.098	-80% -4.868.081
53 - Distrito Federal	-100% -41.504	-100% -20.817	-100% -1.159	-100% -34.027	211% 170.633	-100% -73.126

Tabela 9. Simulações Cenário B2 2070-99 - Variação Percentual da Área e Variação em Mil Hectares

	Soja	Milho	Cana	Out. Lav.	Pasto	Floresta
11 - Rondônia	316% 159.635	131% 88.506	1241% 22.458	-32% -118.342	22% 1.091.333	-42% -1.243.591
12 - Acre	* *	-100% -41.823	-61% -265	-78% -94.170	95% 1.056.465	-42% -920.207
13 - Amazonas	* 127.790	514% 84.559	847% 12.603	-60% -509.616	178% 1.546.902	-66% -1.262.237
14 - Roraima	753% 30.205	317% 21.951	2148% 752	-66% -67.900	33% 255.358	-29% -240.366
15 - Pará	776% 138.452	93% 116.918	326% 40.973	-39% -662.099	48% 5.461.665	-55% -5.095.908
16 - Amapá	-100% -71	-100% -668	-100% -81	-89% -54.347	178% 507.576	-86% -452.409
17 - Tocantins	-4% -5.788	184% 67.837	308% 15.147	-52% -227.946	34% 2.888.551	-53% -2.737.801
21 - Maranhão	-18% -48.128	-83% -197.206	-37% -6.873	-62% -1.199.496	68% 4.541.080	-80% -3.089.377
22 - Piauí	312% 672.760	69% 157.006	143% 13.947	-50% -454.526	63% 2.112.946	-52% -2.502.133
23 - Ceará	20462% 64.045	-66% -627.583	-50% -9.933	-67% -666.415	98% 3.317.029	-79% -2.077.143
24 - Rio Grande do Norte	-100% -18	-100% -94.435	-68% -26.627	-65% -350.859	26% 375.315	9% 96.624
25 - Paraíba	* *	-94% -327.136	-77% -59.063	-97% -262.626	76% 1.489.028	-72% -840.203
26 - Pernambuco	19596% 16.265	-54% -213.416	-55% -175.697	-69% -678.864	98% 2.163.657	-73% -1.111.946
27 - Alagoas	-100% -229	-51% -134.898	-56% -327.632	-92% -279.560	103% 944.256	-70% -201.938
28 - Sergipe	* *	-86% -93.986	-98% -13.859	-100% -202.123	45% 441.674	-76% -131.706
29 - Bahia	3% 20.027	-17% -123.553	-6% -3.848	-41% -1.559.557	45% 6.425.365	-49% -4.758.434
31 - Minas Gerais	60% 368.764	-13% -166.494	1% 4.604	-52% -1.605.180	42% 7.904.231	-76% -6.505.925
32 - Espírito Santo	* *	-98% -29.516	-38% -26.862	-75% -492.548	78% 1.057.293	-69% -508.367
33 - Rio de Janeiro	* 31.223	243% 15.216	-14% -12.652	-88% -222.597	29% 375.544	-46% -186.735
35 - São Paulo	723% 2.338.880	129% 881.743	-15% -455.096	-33% -937.223	11% 745.032	-92% -2.573.338
41 - Paraná	91% 2.851.991	56% 1.182.129	46% 162.620	-26% -384.487	-41% -1.975.784	-46% -1.836.469
42 - Santa Catarina	499% 1.319.323	56% 541.737	844% 100.909	-33% -203.703	-45% -815.139	-38% -943.127
43 - Rio Grande do Sul	36% 1.236.924	40% 544.527	329% 138.605	-7% -150.447	-45% -4.214.432	63% 2.444.822
50 - Mato Grosso do Sul	104% 1.237.844	72% 449.143	24% 36.820	-9% -37.462	-9% -1.934.329	4% 247.983
51 - Mato Grosso	46% 1.705.380	80% 901.051	40% 84.257	-34% -507.127	7% 1.527.899	-19% -3.711.460
52 - Goiás	61% 966.148	99% 651.516	17% 46.322	-46% -513.376	20% 3.207.029	-72% -4.357.640
53 - Distrito Federal	-100% -41.504	-100% -20.817	-100% -1.159	-100% -34.027	211% 170.633	-100% -73.126

Tabela 10. Simulação da Participação dos Diferentes Usos da Terra nas Regiões

Norte							
Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lavouras	Pasto	Floresta
Atual	2006	0,4%	0,5%	0,0%	6,7%	50,7%	41,6%
A2	2010-39	1,5%	1,4%	0,2%	4,0%	68,7%	24,2%
	2040-60	1,4%	1,2%	0,2%	3,7%	73,0%	20,5%
	2070-99	1,3%	1,4%	0,3%	3,0%	79,5%	14,5%
B2	2010-39	1,6%	1,3%	0,2%	4,1%	68,9%	23,9%
	2040-60	1,4%	1,3%	0,2%	3,9%	69,9%	23,3%
	2070-99	1,2%	1,2%	0,2%	3,5%	74,1%	19,8%
Nordeste							
Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lavouras	Pasto	Floresta
Atual	2006	1,5%	4,4%	1,5%	13,0%	46,3%	33,3%
A2	2010-39	1,7%	1,6%	0,6%	5,8%	74,0%	16,2%
	2040-60	1,7%	1,7%	0,6%	5,4%	76,9%	13,6%
	2070-99	2,0%	1,9%	0,7%	4,8%	81,1%	9,5%
B2	2010-39	1,5%	1,5%	0,6%	5,7%	75,2%	15,5%
	2040-60	1,3%	1,5%	0,6%	5,4%	76,5%	14,6%
	2070-99	2,4%	2,2%	0,7%	5,6%	75,0%	14,0%
Sudeste							
Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lavouras	Pasto	Floresta
Atual	2006	1,7%	3,6%	6,6%	12,6%	52,4%	23,0%
A2	2010-39	7,7%	5,9%	6,0%	8,1%	63,0%	9,4%
	2040-60	7,2%	5,5%	6,0%	7,1%	68,4%	5,8%
	2070-99	6,5%	4,9%	5,4%	5,1%	75,3%	2,8%
B2	2010-39	7,2%	5,5%	5,9%	7,8%	66,1%	7,6%
	2040-60	7,0%	5,4%	6,0%	7,4%	67,1%	7,2%
	2070-99	6,8%	4,9%	5,7%	6,6%	70,9%	5,1%
Sul							
Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lavouras	Pasto	Floresta
Atual	2006	16,0%	10,5%	1,0%	10,2%	38,0%	24,4%
A2	2010-39	27,1%	15,2%	1,7%	9,2%	16,1%	30,8%
	2040-60	27,3%	15,4%	1,8%	8,7%	22,3%	24,5%
	2070-99	29,0%	16,4%	2,0%	6,7%	31,6%	14,2%
B2	2010-39	27,1%	15,1%	1,7%	9,4%	16,4%	30,3%
	2040-60	27,6%	15,4%	1,8%	9,0%	18,2%	28,0%
	2070-99	28,8%	15,8%	1,9%	8,4%	21,5%	23,6%
Centro-Oeste							
Cenário	Período	Soja	Milho	Cana	Out. Lavouras	Pasto	Floresta
Atual	2006	6,3%	2,3%	0,6%	2,9%	56,9%	30,9%
A2	2010-39	10,4%	4,4%	0,7%	2,3%	55,9%	26,2%
	2040-60	9,8%	4,2%	0,7%	1,9%	59,6%	23,6%
	2070-99	9,8%	4,3%	0,8%	1,5%	63,6%	20,1%
B2	2010-39	10,4%	4,4%	0,7%	2,3%	56,0%	26,1%
	2040-60	10,4%	4,4%	0,7%	2,1%	56,9%	25,3%
	2070-99	10,0%	4,2%	0,8%	1,9%	59,8%	23,3%

Fonte: Resultados das Simulações

Figura 1. Resultados das Simulações: Variação da Área de Soja**Soja 2010-39 A2** **Soja 2040-69 A2** **Soja 2070-99 A2**

Soja 2010-39 B2

Soja 2040-69 B2

Soja 2070-99 B2

Figura 2. Resultados das Simulações: Variação da Área de Milho**Milho 2010-39 A2** **Milho 2040-69 A2** **Milho 2070-99 A2**

Milho 2010-39 B2 **Milho 2040-69 B2** **Milho 2070-99 B2**

Figura 3. Resultados das Simulações: Variação da Área de Cana-de-Açúcar**Cana 2010-39 A2** **Cana 2040-69 A2** **Cana 2070-99 A2**

Cana 2010-39 B2

Cana 2040-69 B2

Cana 2070-99 B2

Figura 4. Resultados das Simulações: Variação da Área de Outras Lavouras**Out. Lav. 2010-39 A2** **Out. Lav. 2040-69 A2** **Out. Lav. 2070-99 A2**

Out. Lav. 2010-39 B2 **Out. Lav. 2040-69 B2** **Out. Lav. 2070-99 B2**

Figura 5. Resultados das Simulações: Variação da Área de Pastagens**Pasto 2010-39 A2** **Pasto 2040-69 A2** **Pasto 2070-99 A2**

Pasto 2010-39 B2 **Pasto 2040-69 B2** **Pasto 2070-99 B2**

Figura 6. Resultados das Simulações: Variação da Área de Florestas**Floresta 2010-39 A2** **Floresta 2040-69 A2** **Floresta 2070-99 A2**

Floresta 2010-39 B2 **Floresta 2040-69 B2** **Floresta 2070-99 B2**