

IMPACTOS DE CHOQUES TECNOLÓGICOS SOBRE O USO DA TERRA NO BRASIL – UMA ANÁLISE POR MEIO DE MODELOS RBC

CASSIANO BRAGAGNOLO *
HUMBERTO FRANCISCO SILVA SPOLADOR †

Resumo

Este artigo propõe um modelo RBC para analisar como impactos potenciais de choques tecnológicos e políticas restritivas afetam o uso da terra destinada à atividade agrícola no Brasil. No modelo RBC empregado, além dos tradicionais fatores de produção capital e trabalho, incluiu-se a terra como um insumo adicional. A utilização desse fator é restrita pela disponibilidade de novas áreas agricultáveis. Os resultados obtidos explicam a dinâmica dos fatores de produção, em resposta a um choque tecnológico sob diferentes cenários de restrição de terra, e reforçam a necessidade de investimentos em tecnologia para compensar limitações à expansão do uso da terra para a produção agrícola.

Palavras-chave: Uso da terra; Ciclos econômicos reais; Choques de produtividade; Agricultura brasileira

Resumo

c This article proposes a RBC model to analyze how potential impacts of technological shocks and restrictive policies affect the land use on agricultural activities in Brazil. This RBC model incorporates traditional production factors capital and labor, and land as an additional input. The use of this factor is constrained by the availability of new arable areas. The results explain the dynamics of the production factors, in response to a technology shock under different land constraint scenarios, and reinforce the importance technology investments to compensate barriers to the land use expansion for agricultural production.

Keywords: Land use; Real business cycles; Productivity shocks; Brazilian agriculture

JEL classification: Q10, Q19, E32.

DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/1980-5330/ea132584>

* Universidade Federal de São Carlos. E-mail: cassiano@ufscar.br.

† Universidade de São Paulo. E-mail: hspolador@usp.br.

1 Introdução

A terra é um fator de produção relevante na agricultura, e a dinâmica e os impactos ambientais potenciais do uso da terra têm sido abordados frequentemente na literatura econômica. Camacho & Pérez-Barahona (2015) analisaram que existe uma literatura abundante sobre a relação entre o uso da terra e poluição, especialmente em questões associadas à agricultura, e propuseram um modelo dinâmico para avaliar a utilização ótima de terra, abrangendo atividades de uso do solo e degradação do meio ambiente. Nesse contexto, o presente trabalho desenvolve um modelo RBC que incorpora a terra como fator de produção, aplicado à economia agrícola brasileira, dada a característica desses modelos para simular o comportamento de séries econômicas em resposta a choques tecnológicos ou de política econômica.

Os dados disponíveis sobre o uso da terra no Brasil distinguem o uso desse fator nas seguintes categorias: lavoura, pastagem e reflorestamento. Brandão et al. (2005) analisaram que a expansão agrícola brasileira, em um período mais recente, tem ocorrido, preponderantemente, via conversão de pastagens, fenômeno este que limita o ritmo de abertura de novas áreas. Resultado semelhante ao dos autores foi encontrado por Ferreira Filho & Horridge (2014) que, ao estudar os impactos potenciais da expansão da produção de etanol sobre o uso da terra no Brasil, verificaram que a quantidade de terra adicional requerida para a expansão de cana-de-açúcar¹ é pequena, sendo que se observa o mesmo em relação a outras lavouras. A Tabela 1 sintetiza as informações sobre o uso da terra no Brasil, na forma de uma “matriz de transição”, na definição de Ferreira Filho & Horridge (2014), a partir de dados do Censo Agropecuário do IBGE, de modo que na última coluna está a área total do uso da terra em 1995, e na última linha o valor correspondente ao uso total da terra em 2006².

Tabela 1: Matriz de mudança do uso total da terra no Brasil, 1995-2006 (milhões de hectares)

	Lavoura	Pastagem	Reflorestamento	Não usada	Total 1995
Lavoura	44,8	1,1	0,0	4,9	50,8
Pastagem	15,5	146,0	0,6	15,6	177,7
Reflorestamento	0,1	0,9	3,5	0,9	5,4
Não usada	1,0	10,9	0,4	605,3	617,6
Total 2006	61,4	158,9	4,5	626,7	851,5

Fonte: Ferreira Filho & Horridge (2014).

Segundo Martha Jr (2008), o crescimento da área destinada à produção de grãos e oleaginosas, entre 1976-1977 e 2006-2007, foi de 24%, enquanto que o ganho de produtividade da lavoura foi de 126% no mesmo período. De acordo com os mesmos autores entre 1990 e 2006, a produtividade da cultura da cana-

¹Os autores estimaram que é necessário 0,14 hectare adicional de terra para cada hectare adicional de cana-de-açúcar.

²De acordo com Ferreira Filho & Horridge (2014), os totais apresentados na última linha e última coluna são extraídos dos Censos Agrícolas do IBGE de 1995 e 2006. Os números dentro dos corpos das tabelas não são observados, mas refletem algumas imposições dos autores: que a maioria das novas terras de colheita era anteriormente pastagem, e que a pastagem nova normalmente é retirada de terra não utilizada. As estimativas anteriores são dimensionadas para somar os totais de linha e coluna baseados em dados. Os valores fora da diagonal no corpo da tabela são a transição (calibrada) entre esses dois períodos, e mostram a quantidade de cada categoria de terra que é transformada para outra.

de-açúcar aumentou 22%. Essa constatação é respaldada pelos resultados de decomposição da produtividade total dos fatores da agricultura realizada por Bragagnolo et al. (2010), ilustrados na Tabela 2, que mostraram a importância do progresso técnico para o crescimento da PTF agrícola, e desta para o crescimento do setor entre 1975 e 2010, enquanto que a expansão da terra, relativamente a outros fatores, teve uma participação reduzida³.

Portanto, os trabalhos disponíveis na literatura reforçam a análise de que o crescimento da agricultura brasileira tem se dado via aumento de produtividade, o que tem reduzido a necessidade de expansão do uso de novas terras para a produção agrícola e, conseqüentemente, mitigando potenciais impactos ambientais⁴.

Cabral & Gurgel (2014), por meio de um modelo de equilíbrio geral computável, avaliaram os impactos de políticas de preservação de florestas sobre o setor agropecuário, bem como para a economia nacional como um todo. Os resultados obtidos pelos autores apontaram para perdas pouco expressivas no produto gerado, comparando-se cenários com políticas mais ou menos restritivas para o desmatamento. Os maiores impactos recaíram sobre o setor agropecuário.

A abordagem mais comum, tanto empírica quanto teórica, para análise de questões relacionadas ao meio ambiente, e ao uso de recursos naturais, em economia toma como base a teoria microeconômica. De acordo com Fischer & Heutel (2013), tem havido um desenvolvimento no uso de métodos que combinam ferramental macroeconômico com questões ambientais nos últimos anos.

Nesse sentido, uma quantidade crescente de trabalhos tem utilizado modelos baseados na teoria RBC, com vistas a responder questões relacionadas ao meio ambiente e aos recursos naturais. A maior parte desses trabalhos está relacionada ao caso da emissão de carbono, dentre os quais pode-se citar Angelopoulos et al. (2010), Fischer & Springborn (2012), Heutel (2012) e Dissou et al. (2012).

Heutel (2012) analisou como políticas ambientais respondem aos ciclos econômicos nos Estados Unidos; o modelo utilizado pelo autor baseia-se na teoria RBC e foi modificado para incluir uma externalidade relativa à emissão de carbono daquele país. As principais modificações em relação aos modelos RBC padrão são o uso de uma função de produção dependente de um único fator de produção, o capital, bem como a inclusão de diversas restrições. Na restrição orçamentária, o autor incluiu uma variável relativa ao custo de redução das emissões que é dependente do percentual de redução das emissões e do produto. Também foi introduzida uma restrição para o nível de emissões que também é dependente do percentual de redução das emissões e do produto. Por fim, o modelo ainda compreende uma restrição relativa à acumulação de gases, que é dada pelo nível acumulado de gases no período anterior, reduzido de acordo com a meia-vida do carbono livre e dos níveis de emissão de carbono presente dos Estados Unidos e do resto do mundo. O principal resultado obtido por Heutel (2012) é de que o nível de emissões de carbono é pró-cíclico, mesmo na presença de políticas de redução das emissões por meio da cobrança de taxas sobre emissão ou sobre uma cota fixa de poluição.

³Gasques et al. (2011), por meio de metodologia diferente, obtiveram resultados muito semelhantes.

⁴Para uma avaliação mais detalhada sobre impacto ambiental do uso de novas terras via desmatamento, ver Fearnside (1996).

Tabela 2: Resultados da decomposição da PTF agrícola para períodos selecionados

Ano	Crescimento econômico	Acumulação de capital	Expansão do trabalho	Expansão da terra	Mudança na PTF	Progresso técnico	Ineficiência técnica	Efeitos de escala	Eficiência alocativa	Choques aleatórios
1975-1985	7,1%	7,0%	0,6%	0,1%	2,5%	-0,2%	-2,1%	3,8%	1,0%	-3,00%
1985-1995	-0,8%	-1,3%	-1,3%	-1,0%	2,2%	5,7%	-2,7%	-1,2%	0,4%	0,50%
1995-2005	1,0%	-1,8%	-3,3%	1,5%	4,5%	7,4%	-3,3%	-1,1%	1,5%	0,10%
1975-2005	2,4%	1,3%	-1,3%	0,2%	3,1%	4,3%	-2,7%	0,5%	1,0%	-0,80%

Fonte: Bragagnolo et al. (2010).

Fischer & Springborn (2012) compararam como três diferentes tipos de políticas para redução das emissões respondem a choques de produtividade. O modelo utilizado é baseado na teoria RBC padrão, modificada para incluir um terceiro insumo além dos tradicionais capital e trabalho. Este terceiro fator de produção é um insumo intermediário que gera poluição no seu uso. Os autores incluíram o custo do uso desse insumo poluente também na restrição orçamentária. O principal resultado obtido por Fischer & Springborn (2012) é que políticas que implementam metas de emissão variáveis geram maior nível de capital, trabalho e produto com menores custos, quando comparadas a políticas de cotas de emissão fixa e de cobrança de taxas.

Angelopoulos et al. (2010) também propuseram um modelo RBC para as emissões de carbono visando analisar três diferentes tipos de política. O modelo proposto por esses autores, porém, difere dos descritos anteriormente. A principal diferença é o fato de os autores terem incluído dois choques no modelo. Além do choque de produtividade padrão dos modelos RBC, o qual o autor chamou de “incerteza econômica”, foi incluído um segundo choque relativo às variações na relação emissão e produto, que denominou de “incerteza ambiental”.

Dissou et al. (2012) adaptaram modelos RBC para avaliar níveis de poluição comparando diferentes políticas com foco no setor energético. A diferença nesse caso se deve ao fato de os autores proporem o uso de um modelo multissetorial que desagrega a economia em seis setores. Cada um desses setores possui seu próprio choque de produtividade.

Embora a maior parte dos estudos seja recente, o tema já foi abordado em trabalhos mais antigos. Pizer (1999), por exemplo, estudou como os choques de produtividade afetam uma política ótima para mudanças climáticas. Para tanto, embora não utilize a literatura RBC explicitamente, faz abordagem similar à encontrada em tal literatura. O autor fez uso de um modelo de crescimento estocástico com choques na produtividade do trabalho e apresenta uma política ótima para mudança climática na presença de incerteza. A principal conclusão é de que, sob condições de incerteza, as políticas relacionadas à taxa de juros levam a uma redução das emissões maior do que as políticas relacionadas à fixação de um nível predeterminado de emissões.

Os trabalhos citados podem ser considerados o ponto de partida de uma literatura de economia ambiental e dos recursos naturais baseada em modelos de natureza RBC. Embora esteja havendo um desenvolvimento crescente no uso desse ferramental macroeconômico em análises ambientais, ainda existem inúmeras possíveis extensões a serem feitas aos modelos disponíveis na literatura. Uma possível extensão consiste em utilizar o ferramental RBC para avaliar o uso da terra, conforme proposto neste artigo.

Um dos trabalhos seminais sobre o papel da terra no crescimento econômico foi o de Nichols (1970), que incorporou o fator terra no modelo neoclássico de crescimento econômico. Mais recentemente, Liu et al. (2011) observaram que movimentos do preço da terra ocorreram junto com flutuações macroeconômicas na economia norte-americana no período entre 1975 e 2010. Os autores analisaram que os modelos DSGE, em que as famílias possuem restrição de crédito, conseguem explicar comovimentos entre preços de residência e gastos com consumo, embora o mesmo não ocorra para captar os comovimentos entre preço da terra e investimento. Por isso, no modelo DSGE proposto pelos autores, as firmas, em vez das famílias, possuem restrição de crédito, de modo que as firmas financiam os investimentos utilizando a terra

como garantia (*collateral asset*). Assim, como as empresas têm restrições de crédito, um choque na demanda por residências por parte das famílias aumenta a demanda por terra entre as famílias e as firmas, o que desencadeia uma espiral financeira que impulsiona grandes flutuações nos preços da terra e fortes comovimentos de preços da terra com investimento e consumo.

Neste artigo, especificamente, pretende-se avaliar como potenciais choques tecnológicos afetam o uso da terra e, também, seus efeitos sobre o crescimento do produto e acumulação de capital da agricultura. Alvarez-Cuadrado & Poschke (2011) analisaram o efeito de mudanças tecnológicas sobre a força de trabalho a partir da agricultura; o primeiro seria o *labor push*, que ocorre quando há melhorias na tecnologia empregada no setor agrícola que, combinado com a lei de Engel, libera recursos da agricultura para o restante da economia conforme o desenvolvimento ocorre, e a renda per capita aumenta. O efeito *labor pull* ocorre, por sua vez, quando o aprimoramento da tecnologia na indústria (que eleva o nível de salários) atrai a força de trabalho (desempregada ou com baixos salários) para fora da agricultura. Esse efeito foi captado no modelo desenvolvido por Hansen & Prescott (2002), segundo o qual o desenvolvimento de novas tecnologias torna lucrativa a realocação de recursos (aí incluída a força de trabalho) entre os setores da economia.

Em relação à dinâmica recente do crescimento do setor agrícola brasileiro, Barros (2009) concluiu que o aumento da produtividade da terra, gerada pela adoção de novas técnicas e uso mais intensivo de insumos, desvaloriza a própria terra (ativo mais valioso do produtor rural), pois ocorre um efeito substituição entre aumento de produtividade pelo uso dos insumos e demanda por terra. Assim, nos períodos de expressivos aumentos da produtividade por meio de inovações tecnológicas, haveria uma redução da demanda por terra e uma consequente redução do preço desse ativo.

A análise histórica mostra que em muitos países houve uma realocação significativa da força de trabalho da agricultura para os setores de indústria e serviços. Duarte & Restuccia (2010) utilizaram um modelo de transformação estrutural para avaliar o impacto da produtividade do trabalho em cada setor no processo de transformação estrutural da economia. Os autores trabalharam com uma amostra de países, e observaram que, entre países, há diferenças mais significativas de produtividade nos setores agrícola e de serviços, do que no setor industrial. Ao longo do tempo, tem ocorrido uma redução das diferenças de produtividade entre os setores agrícola e industrial, mas não tanto quanto entre os setores industrial e de serviços.

Da-Rocha & Restuccia (2006) atribuíram um papel central para os ciclos econômicos agrícolas em relação à economia como um todo. De acordo com os autores, existem diferenças substanciais nos ciclos econômicos dos diferentes países que poderiam ser explicadas pelos ciclos agrícolas, e pela importância da agricultura na economia. Os autores observaram que países que possuem uma alta participação da agricultura na economia experimentam maior variação no produto, menor variação no emprego e baixa correlação entre emprego e produto. Da-Rocha & Restuccia (2006) argumentaram ainda que a agricultura apresenta relações distintas com as variáveis que a influenciam em relação ao resto da economia, e possui comportamento pouco compatível com os ciclos econômicos agregados.

Bragagnolo & Barros (2013) observaram a importância dos choques de produtividade na explicação das oscilações da economia agrícola brasileira, e também a importância do capital na dinâmica do setor. Por meio de um

experimento baseado em um modelo RBC calibrado para a economia agrícola brasileira, Bragagnolo & Barros (2013) concluíram ainda que os choques positivos de produtividade ocorridos entre 1973 e 2009 na agricultura brasileira poderiam ter sido revertidos em um produto acumulado ao final do período superior ao observado, caso tivessem ocorrido investimentos maiores, que poderiam ter sido viabilizados por meio de empréstimos advindos de outros setores da economia.

Tendo em vista o que foi destacado, o objetivo deste trabalho é mensurar os impactos da imposição de restrições no uso da terra para finalidades agropecuárias no contexto de ciclos econômicos reais – RBC para a agricultura brasileira. Assim, será possível avaliar a relação entre o uso da terra na agricultura e choques de produtividade. Para tanto, um modelo RBC com variáveis padrão e três fatores de produção – capital, trabalho e terra – foi calibrado para a economia agrícola brasileira. Optou-se por calibrar um modelo setorial em vez de um modelo para a economia como um todo, devido ao fato de que esse setor utiliza quantidades extensivas de terras. Adicionalmente, procurou-se avaliar como políticas mais ou menos restritivas sobre o uso da terra poderiam afetar as variáveis do modelo RBC. Assim, alternativamente, calibrou-se um modelo com uma quantidade fixa de terras para fins de comparação.

O presente artigo está organizado em seções. A Seção 2 contém uma apresentação do modelo RBC adaptado para a questão do uso da terra. Na Seção 3, há a apresentação dos dados e informações utilizadas na calibração do modelo. Na Seção 4, apresentam-se os resultados e discussão e, finalmente, na Seção 5, as conclusões.

2 Modelo Teórico

Neste artigo, especificamente, adotou-se a proposta de modelos RBC pioneiros como o de Hansen (1985), com trabalho divisível, e Kydland & Prescott (1982). As alterações nesses modelos básicos são essencialmente baseadas na proposta de Fischer & Springborn (2012). Embora esses autores tenham desenvolvido um modelo para o caso de emissões de gases poluentes, foi possível adaptar várias de suas ideias para o modelo de uso da terra desenvolvido neste trabalho. O modelo proposto, também possui alguma relação com o modelo de Heutel (2012), também desenvolvido para o caso de emissão de poluentes. Em sua análise, Fischer & Springborn (2012) utilizaram um modelo de equilíbrio geral para a economia visando analisar a emissão de carbono. No modelo proposto, além dos tradicionais fatores de produção capital e trabalho, incluiu-se um terceiro insumo: a terra⁵. A utilização desse fator é restrita pela disponibilidade de novas áreas agricultáveis.

Considerou-se que esse maior ou menor uso de terras está diretamente associado a choques de produtividade, pois à medida que a produção do setor se distancia do estado estacionário, uma maior quantidade de terras é requerida pelo setor, e esse montante adicional de terras só poderia ser obtido via abertura de novas áreas, ou pelo uso de tecnologias que aumentem a produtividade do estoque de terra já utilizado para a produção agrícola. A análise das restrições no aumento da quantidade de terra a ser disponibilizada pode ser

⁵Fischer & Springborn (2012) também propõem três fatores de produção. Além do capital e do trabalho, um terceiro insumo intermediário poluente é inserido no modelo. Heutel (2012), por sua vez, utiliza como único fator de produção o capital.

associada, então, a políticas públicas mais ou menos restritivas para o aproveitamento de novas áreas, anteriormente cobertas com florestas. No caso em que existe uma quantidade fixa de terras, considerou-se a impossibilidade total de uso de novas terras, sendo que a elevação do produto apenas pode ocorrer por outras vias que não pela expansão do fator terra.

A seguir, apresenta-se o modelo RBC proposto para análise dos impactos de choques tecnológicos sobre o uso da terra, baseado em Fischer e Springborn (2011).

O capital segue a expressão de acumulação padrão dos modelos RBC dada por $K_t + 1 = (1 - \delta)K_t + I_t$, em que K_t é o estoque de capital, I_t é o investimento e δ é a taxa de depreciação do capital.

O produto é proveniente de uma função de produção com retornos constantes à escala e tem como insumos capital (K_t), trabalho (H_t) e terra (T_t). As flutuações do produto são provenientes de choques de produtividade. O produto é dado por uma função do tipo Cobb-Douglas $f(Z_t, K_t, H_t, T_t) = Y_t = e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu}$, em que K_t é o capital físico, H_t é o trabalho, T_t é a quantidade de terra.

O choque de produtividade (Z_t) segue um processo autorregressivo AR(1) definido por $Z_{t+1} = \rho Z_t + v_{t+1}$, em que z é um vetor com choques de produtividade que segue uma distribuição normal com média zero e desvio-padrão δ_v e é conhecido antes da tomada de decisão.

O modelo teórico foi desenvolvido em três cenários alternativos. O primeiro estabelece oferta irrestrita de terra. Para a finalidade do trabalho, é necessário, alternativamente, propor restrições à oferta de terra. Para essa restrição, duas formulações alternativas foram utilizadas. A primeira formulação alternativa estabelece que a oferta de terra, destinada à atividade agropecuária, ao longo do tempo é fixa, ou seja $T_t = \bar{T}$ ⁶. A segunda é dada por $T_t = \omega_t Y_t$, em que existe a possibilidade de aumento na quantidade de terra disponível para agricultura à medida que o produto agrícola cresce. Nessa segunda formulação proposta, só é possível aumentar a área disponível por meio da abertura de novas áreas. Portanto, o aumento da área plantada resulta em desmatamento proporcional.

Considerou-se que o produto (Y_t) pode ser alocado para consumo (C_t), investimento em capital físico (I_t) e em terras (T_t). Assim a restrição orçamentária para o problema em questão pode ser definida pela expressão $C_t + I_t + T_t \leq Y_t$ ⁷.

Como no modelo básico de Hansen (1985) com trabalho divisível, a preferência na economia é dada pela maximização da utilidade do consumo (C_t) e do lazer (L_t) ao longo do tempo:

$$\text{Max} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(C_t, L_t)$$

em que β é o fator de desconto intertemporal. O tempo pode ser alocado entre lazer e trabalho, de maneira que $L_t = 1 - H_t$. A função utilidade para

⁶Essa formulação alternativa é compatível com os modelos com terra fixa propostos por Bragagnolo & Barros (2013) e Da-Rocha & Restuccia (2006).

⁷A formulação utilizada para o dano ambiental, no caso do desmatamento, é similar a proposta por Fischer & Springborn (2012) para definir os danos ambientais provocados pela emissão de carbono a partir de um insumo poluente.

cada período, então, é descrita pela função⁸:

$$u(C_t, 1 - H_t) = \ln(C_t) + A \ln(1 - H_t)$$

O Lagrangeano com as restrições para o problema e os resultados decorrentes seguem a formulação de Fischer & Springborn (2012)⁹. O Lagrangeano é representado por:

$$\mathcal{L} = \sum_{t=0}^{\infty} \{ \beta^t [\ln(C_t) + A \ln(1 - H_t)] + \lambda_t [e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu} - C_t - T_t - K_{t+1} + (1 - \delta)K_t] + \phi_t [\omega_t (e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu}) - T_t] \}$$

O parâmetro β representa a preferência temporal, λ_t é o preço sombra da restrição orçamentária e ϕ_t é o preço sombra da restrição no uso da terra¹⁰.

As condições de primeira ordem do problema produzem seis equações para as seis variáveis em cada período, representadas por:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_t} = \frac{\beta^t}{C_t} - \lambda_t = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K_t} = \theta e^{Z_t} K_t^{\theta-1} H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu} (1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y}) - \frac{\lambda_{t-1}}{\lambda_t} + (1 - \delta) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T_t} = (1 - \theta - \mu) e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{-\theta-\mu} (1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y}) - (1 + \hat{\phi}_t) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial H_t} = \mu e^{Z_t} K_t^\theta H_t^{\mu-1} T_t^{1-\theta-\mu} (1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y}) - \frac{A C_t}{1 - H_t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_t} = e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu} - C_t - T_t - K_{t+1} + (1 - \delta)K_t = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \phi_t} = \omega_t (e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu}) - T_t = 0 \quad (6)$$

em que $\omega_{t,Y}$ representa a derivada de ω_t em relação a Y .

Procedendo algumas substituições e rearranjando as equações, pode-se determinar as expressões para o capital, terra e para o consumo em razão do produto e o trabalho pela relação trabalho e lazer:

$$k_t \equiv \frac{K_t}{Y_t} = \frac{\theta(1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y})}{\left(\frac{C_t}{\beta C_{t-1}} - (1 - \delta)\right)} \quad (7)$$

$$t_t \equiv \frac{T_t}{Y_t} = \frac{(1 - \theta - \mu)(1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y})}{(1 + \hat{\phi}_t)} \quad (8)$$

⁸ A forma funcional proposta é a mesma proposta por Fischer & Springborn (2012).

⁹ Devido ao foco deste artigo, diferentemente do trabalho de Fischer & Springborn (2012), optou-se por introduzir um choque de produtividade com efeito somente nos ciclos econômicos, sem efeito no estado estacionário.

¹⁰ Note que $\phi_t / \lambda_t = \hat{\phi}_t$.

$$c_t \equiv \frac{C_t}{Y_t} = 1 - t_t - k_{t+1} \frac{Y_{t+1}}{Y_t} + (1 - \delta)k_t \quad (9)$$

$$h_t \equiv \frac{H_t}{1 - H_t} = \frac{\mu(1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y})}{Ac_t} \quad (10)$$

Rearranjando algebricamente a expressão (8), é possível obter a expressão para o preço sombra da terra:

$$\hat{\phi} = \frac{[(1 - \theta - \mu)/t_t] - 1}{1 - [\omega_{t,Y}(1 - \theta - \mu)/t_t]}$$

Considerando que $\hat{\beta} = \frac{1}{\beta} - 1 + \delta$, pode-se obter a partir das Equações (4), (5), (6) e (7) as relações de estado estacionário do modelo descritas por:

$$\bar{k} = \hat{\beta}\theta(1 + \hat{\phi}\omega_Y) \quad (11)$$

$$\bar{t} = \frac{(1 - \theta - \mu)(1 + \hat{\phi}\omega_Y)}{1 + \hat{\phi}} \quad (12)$$

$$\bar{c} = 1 - \bar{t} - \delta\bar{k} \quad (13)$$

$$\bar{h} = \frac{\mu(1 + \hat{\phi}\omega_Y)}{A\bar{c}} \quad (14)$$

2.1 Disponibilidade fixa de terra

Nesse primeiro caso, assume-se que a oferta de terra para o uso da agricultura é fixa e, portanto, não há possibilidade de expansão da fronteira agrícola existente. Nesse caso, a restrição (8) passa a ser $\bar{T} = T_t = \omega_t Y_t$, de maneira que $\omega_{t,Y} = 0$.

As condições de primeira ordem, representadas pelas expressões (1), (2), (4) (5) e (6), para esse caso, passam a ser:

$$\frac{\beta^t}{C_t} - \lambda_t = 0$$

$$\theta e^{Z_t} K_t^{\theta-1} H_t^\mu \bar{T}^{1-\theta-\mu} - \frac{\lambda_{t-1}}{\lambda_t} + (1 - \delta) = 0$$

$$\mu e^{Z_t} K_t^{\theta-1} H_t^{\mu-1} \bar{T}^{-\theta-\mu} - \frac{Ac_t}{1 - H_t} = 0$$

$$e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu \bar{T}^{1-\theta-\mu} - C_t - \bar{T} - K_{t+1} + (1 - \delta)K_t = 0$$

Assim, o estado estacionário, descritos pelas expressões (11) a (14), para esse caso, passa a ser:

$$\bar{k} = \hat{\beta}\theta$$

$$\bar{t} = \frac{1 - \theta - \mu}{1 + \hat{\phi}}$$

$$\bar{c} = 1 - \bar{t} - \delta \bar{k}$$

$$\bar{h} = \frac{\mu}{A\bar{c}}$$

2.2 Disponibilidade irrestrita de terra

Sob esse cenário, considera-se a inexistência de políticas que limitem o uso de terras. Sem nenhuma regulação sobre a quantidade de terras a ser utilizada, a segunda restrição deixa de ter efeito, ou seja, $\omega = 0$.

Nesse caso, as condições de primeira ordem são representadas pelas relações estabelecidas nas expressões (1), (2), (3) e (4).

$$\frac{\beta^t}{C^t} - \lambda_t = 0$$

$$\theta e^{Z_t} K_t^{\theta-1} H_t^\mu \bar{T}^{1-\theta-\mu} - \frac{\lambda_{t-1}}{\lambda_t} + (1 - \delta) = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T_t} = (1 - \theta - \mu) e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{-\theta-\mu} - 1 = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial H_t} = \mu e^{Z_t} K_t^\theta H_t^{\mu-1} T_t^{-\theta-\mu} (1 + \hat{\phi}_t \omega_{t,Y}) - \frac{AC_t}{1 - H_t} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_t} = e^{Z_t} K_t^\theta H_t^\mu T_t^{1-\theta-\mu} - C_t - T_t - K_{t+1} + (1 - \delta)K_t = 0$$

Assim, as expressões (11), (12), (13) e (14) para o estado estacionário ficam simplificadas de acordo com as relações apresentadas a seguir:

$$\bar{k} = \hat{\beta}\theta$$

$$\bar{t} = 1 - \theta - \mu$$

$$\bar{c} = 1 - \bar{t} - \delta \bar{k}$$

$$\bar{h} = \frac{\mu}{A\bar{c}}$$

2.3 Disponibilidade de terras dependente do produto

Considerou-se, alternativamente, o caso em que existe uma restrição na disponibilidade de terras para a agricultura, de modo que a restrição ϕ faz efeito. Nesse caso, a disponibilidade de terras varia de acordo com o produto de maneira linear no tempo, ou seja, $T_t = \omega Y_t$, com $\omega_t = \omega$ e $\omega_{t,Y} = \omega$. Essa disponibilidade de terras vinculada ao produto implica que $\bar{t} = \omega < (1 - \theta - \mu)$.

Nesse caso, as condições de primeira ordem são representadas pelo conjunto de relações apresentadas anteriormente pelas expressões (1), (2), (3), (4) e (5).

Dessa forma, no estado estacionário tem-se que:

$$\hat{\phi} = \frac{(1 - \theta - \mu) - \omega}{[1 - (1 - \theta - \mu)]}$$

A partir das expressões (11), (13) e (14), pode-se obter os níveis de capital e trabalho por trabalhador no estado estacionário descritas a seguir:

$$\bar{k} = \hat{\beta}\theta \left[\frac{1 - \omega}{1 - (1 - \theta - \mu)} \right]$$

$$\bar{h} = \frac{\mu}{A\bar{c}} \left[\frac{1 - \omega}{1 - (1 - \theta - \mu)} \right]$$

2.4 Avaliação dos ciclos ao redor do estado estacionário

Devido à não linearidade presente nas condições de primeira ordem, um método numérico de aproximação foi utilizado¹¹.

Foram realizadas três simulações, que seguiram os cenários definidos em 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente. O valor de ω foi considerado fixo nos ciclos econômicos, ou seja, considerou-se que a disponibilização de novas terras em relação ao produto, dada a política vigente, não varia de acordo com o choque de produtividade.

Por fim, cabe ressaltar que as restrições necessárias para cada um dos casos descritos foram incorporadas nas condições de primeira ordem para tornar o modelo compatível com as suposições feitas.

3 Base de Dados

Nesta seção, é apresentada a base de dados utilizada para aferir a aderência dos modelos propostos à realidade. Para tanto, foram utilizados dados anuais que compreendem o período entre 1972 e 2009. Esse período e periodicidade foram escolhidos devido à disponibilidade de dados para as variáveis de interesse da pesquisa. Os dados foram filtrados utilizando-se o filtro Hodrick-Prescott (HP), procedimento padrão na literatura de ciclos econômicos. O valor para o parâmetro de suavização da série (λ) foi de 100.

O número de horas trabalhadas total na agricultura foi obtido por meio da multiplicação do montante de trabalhadores pelo número de horas habitualmente trabalhadas por semana, ambas obtidas a partir da Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar (PNAD) e dos censos divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para obter o montante de trabalhadores agrícolas utilizou-se o número total de trabalhadores com ocupação principal em atividade agrícola e que trabalham mais de 14 horas na agricultura.

O produto agrícola foi obtido somando-se a multiplicação da quantidade colhida de 18 produtos agrícolas pelos seus respectivos preços médios no período 1972-2009, descontando-se a seguir os gastos com insumos agrícolas. Os dados de produção agrícola foram obtidos a partir do Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária (LSPA) disponibilizado pela Pesquisa Agropecuária Municipal (PAM), realizada pelo IBGE. Esses 18 produtos utilizados

¹¹O método utilizado foi o proposto por Uhlig et al. (1995) que, embora simples, apresenta resultados satisfatórios para os objetivos propostos.

para o cálculo do produto representam cerca de 94% da área total colhida no período¹². Os preços dos produtos empregados no cálculo foram os divulgados pela Conjuntura Econômica da Fundação Getúlio Vargas (FGV). Esses preços foram deflacionados pelo IGP-DI para o ano de 2009, utilizando-se para o cálculo a média dos preços deflacionados para o período 1972-2009. Para o cálculo das despesas com insumos partiu-se do valor apresentado no censo agropecuário do IBGE de 1970, considerando-se os gastos com adubos, corretivos, sementes, mudas, agroquímicos e combustíveis. Esse montante foi deflacionado para o ano de 2009 por meio do IGP-DI. A partir dessa medida inicial utilizaram-se as variações no uso de insumo apresentadas por Gasques et al. (2011) para obter-se uma série de despesas que abrangesse o período de 1972 a 2009. Os valores obtidos com o procedimento para os anos censitários foram similares àqueles publicados nos censos agropecuários dos anos de 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006, deflacionados pelo IGP-DI.

Com base no estoque de tratores calculou-se a série de valor do estoque de tratores em reais de 2009. Para isto, além da quantidade de tratores, obtida junto à ANFAVEA¹³, utilizou-se a curva teórica de depreciação de tratores estimada por Barros (1999)¹⁴ e a média de preços de dez diferentes modelos de tratores novos no período entre 1999 e 2009 obtida junto ao Departamento de Economia Rural (DERAL) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB/PR)¹⁵. Com essas informações, foi possível calcular preços para os tratores novos e usados. Multiplicando-se a quantidade de tratores com determinado tempo de uso pelo seu respectivo preço, obteve-se os valores do estoque de tratores em reais para cada ano. Para a série de investimentos, utilizou-se neste trabalho a variação nas vendas de tratores novos para cada ano em valores monetários. Esse valor foi calculado com base nas vendas de tratores no período multiplicado pelos mesmos preços médios de tratores novos utilizados para o cálculo do estoque de capital.

Para a variável terra utilizou-se a soma da área colhida dos mesmos 18 produtos selecionados no cálculo do produto agrícola. A exemplo do produto agrícola, os dados foram obtidos a partir do Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária (LSPA) disponibilizado pela Pesquisa Agropecuária Municipal (PAM)¹⁶, realizada pelo IBGE.

Outras variáveis, como consumo e produtividade, não puderam ser avaliadas, pois não existem séries com confiabilidade suficiente ou que compreendam um período suficientemente grande para a análise.

¹²As unidades de quantidade foram compatibilizadas com as de preços. Os produtos utilizados para o cálculo e suas respectivas unidades foram: banana (em cacho), cacau (em kg de amêndoa), café (em kg de grão), laranja (em cento), pimenta-do-reino (em kg), algodão (em caroço), amendoim (em kg e em casca), arroz (em kg e em casca), batata-inglesa (em kg), cana-de-açúcar (em kg), cebola (em kg), feijão (em kg de grão), fumo (em kg de folha), mandioca (em tonelada), milho (em kg de grão), soja (em kg de grão), tomate (em kg), e trigo (em kg de grão).

¹³Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA.

¹⁴A curva de depreciação teórica, estimada por Barros (1999), demonstra que o estoque de tratores tem depreciação anual entre 6% e 7%.

¹⁵Os dez modelos considerados no cálculo foram: Agrale 5080.4 (81 cv, 4X4) – Turbo, John Deere 5600 e 5615 (75 cv, 4X2), John Deere 5700 e 5715 (85 cv, 4X4), Massey Ferguson MF 283 (86 cv, 4X4), Valtra 785C (75 cv, 4X4), Valtra BM85 (85 CV) (4X4), John Deere 6300 e 6415 (100 cv, 4X4), John Deere 6600 e 6615 (121 cv, 4X4), Massey Ferguson MF 299 (130 cv, 4X4), New Holland 7630 S100 (103 cv, 4X4).

¹⁶Dados disponíveis no Sistema Automático de Recuperação – SIDRA do IBGE.

4 Calibração do Modelo

O modelo proposto foi calibrado e não estimado. De acordo com Heutel (2012), a estimação de modelos DSGE dependem do primeiro teorema fundamental do bem-estar¹⁷, para assegurar que a alocação ótima do modelo coincida com o resultado competitivo proveniente dos dados. O teorema é violado caso se tenha a presença de externalidades.

A escolha dos parâmetros em modelos RBC, em geral, utiliza como fontes básicas para esses modelos estudos com microdados, e observações relacionadas ao crescimento de longo prazo. No caso brasileiro, o problema básico se deve ao fato de não existirem muitos estudos que se valem desse tipo de análise. De acordo com Magalhães (2005), os autores brasileiros envolvidos com pesquisa em ciclos econômicos acabam tendo que recorrer a valores usados para a economia norte-americana, sendo esse procedimento mais comum para o caso de parâmetros tecnológicos. Neste trabalho, alguns parâmetros foram selecionados a partir dos resultados de pesquisas existentes na literatura, enquanto outros foram calibrados de modo que o estado estacionário determinístico do modelo fosse compatível com observações da economia agrícola brasileira.

A depreciação do capital (σ) utilizada foi de 6,75%, valor compatível com a proposta de Barros (1999) de que a depreciação do capital anual na agricultura estaria entre 6% e 7%. As Figuras A.1 e A.2 no Apêndice Apêndice A, apresentam a análise de sensibilidade com relação a esse parâmetro, considerando os modelos com terra fixa e sem restrições no uso de terras.

Bragagnolo & Barros (2013) utilizaram o valor de 1,2 para a constante normalizadora (A), estimando um modelo RBC para a economia agrícola brasileira com trabalho indivisível. Ellery Jr et al. (2002), por sua vez, utilizaram um valor de 2,29 para a economia brasileira, enquanto que Kanczuk & Faria Jr (2016) utilizaram um valor de 1,7 para a mesma variável no setor industrial. Optou-se pela utilização de um valor de 2 para o parâmetro A , que é mais compatível com o caso proposto de trabalho divisível¹⁸. A sensibilidade dos modelos com terra fixa e sem restrição de terra com relação a esse parâmetro estão nas Figuras A.3 e A.4 no Apêndice Apêndice A.

Para o parâmetro de preferência intertemporal (β) utilizou-se o valor 0,95, também utilizado por Bragagnolo & Barros (2013). Kanczuk & Faria Jr (2016) utilizaram um valor próximo, de 0,98, para o setor industrial em um trabalho com periodicidade mensal. As Figuras A.5 e A.6, apresentadas no Apêndice Apêndice A, mostram a sensibilidade dos modelos com terra fixa e sem restrições no uso de terras com relação às mudanças no valor atribuído à preferência intertemporal.

Bragagnolo et al. (2010) estimaram uma função de produção do tipo translog para a agropecuária brasileira, por meio de um modelo de fronteira estocástica com dados em painel utilizando os Censos agropecuários de 1975, 1985, 1995 e 2005. Os resultados mostraram que a participação aproximada do capital na renda (μ) foi de 0,45, do trabalho (θ) de 0,25 e da terra ($1 - \mu - \theta$) de 0,3. Esses parâmetros foram utilizados nos modelos utilizados neste estudo, e as simulações de sensibilidade a alterações no valor dos parâmetros

¹⁷De acordo com McCandless (2008), p. 45, conforme o primeiro teorema do bem-estar, qualquer equilíbrio competitivo é, necessariamente, Pareto ótimo.

¹⁸McCandless (2008), p. 107, argumenta que ao determinar $A = 2$ no modelo básico de Hansen, tem-se que $\bar{H} = \frac{1}{3}$ ou seja, em equilíbrio, as pessoas gastam um terço do tempo trabalhando.

nos casos de quantidade de terra fixa e sem limitação no uso de terras são apresentados nas Figuras A.7 e A.8 no Apêndice Apêndice A.

Para o cálculo dos choques tecnológicos agrícola, foram utilizados os fatores de produção capital, trabalho e terra medidos por meio da função descrita por Bragagnolo et al. (2010). Também por meio de Bragagnolo et al. (2010) calculou-se a variação da PTF com base nas séries de dados apresentadas, acumulando-se em seguida essas variações para obter-se a PTF em índice¹⁹. Assim, a média dos desvios-padrão dos choques de produtividade tecnológicos (σ_e) foram fixados em 0,05 com base nos resultados provenientes da análise dos choques tecnológicos do setor agrícola realizada por Bragagnolo et al. (2010), e utilizada em Bragagnolo & Barros (2013). Para o parâmetro ρ foi utilizado o valor 0,5, também de acordo com o obtido. Esse valor é idêntico ao proposto por Bragagnolo & Barros (2013) para a economia agrícola e não difere muito do proposto por Ellery Jr et al. (2002) para a economia brasileira como um todo. As análises de sensibilidade para ambos os parâmetros são apresentadas nas Figuras A.9 a A.12 no Apêndice Apêndice A.

A Tabela 3 mostra um resumo dos valores utilizados para a calibração do modelo.

Tabela 3: Resumo dos parâmetros obtidos na literatura para a economia agrícola brasileira

Parâmetro	Valor	Fonte
μ	0,45	Bragagnolo et al. (2010)
θ	0,25	Bragagnolo et al. (2010)
$1 - \mu - \theta$	0,30	Bragagnolo et al. (2010)
δ	6,75%	Barros (1999)
β	0,95	Bragagnolo & Barros (2013)
A	2,00	-
ρ	0,50	Choque tecnológico setorial – Bragagnolo et al. (2010)
σ_e	0,05	Choque tecnológico setorial – Bragagnolo et al. (2010)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por fim, a restrição relativa ao uso da terra (ω_t) foi fixada arbitrariamente em valores de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90% da disponibilidade para o cenário com uso irrestrito de terras. Todos esses casos foram simulados, porém, apenas aqueles mais representativos são apresentados na próxima seção.

5 Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentam-se as funções de impulso resposta a choques tecnológicos conforme os modelos especificados. Inicialmente, optou-se por apresentar o comportamento das variáveis em relação aos choques dos modelos para exemplificar tal comportamento. Em seguida, apresentam-se as diferenças nas respostas das variáveis em relação às diversas especificações propostas para o modelo.

Na Tabela 4, pode-se observar os desvios-padrão das variáveis para os modelos propostos e para as séries usadas para comparação²⁰. Percebe-se que

¹⁹Para maiores detalhes ver Bragagnolo & Barros (2013).

²⁰Cabe ressaltar que as séries observadas empiricamente para o produto, trabalho, capital,

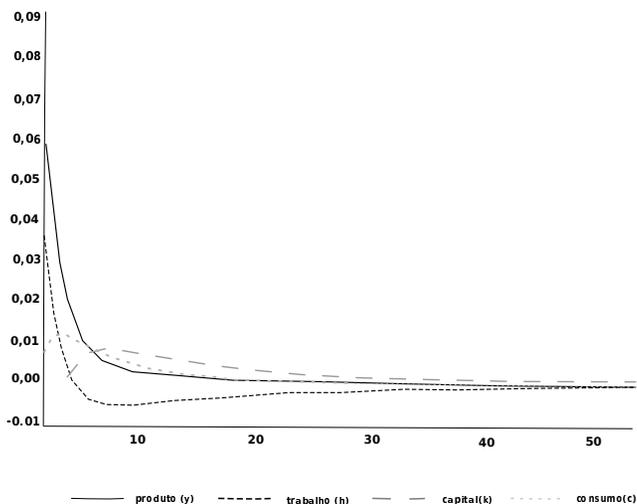
o produto observado apresenta desvio-padrão similar ao gerado pelo modelo com terra fixa, enquanto os modelos com restrição de 50% e sem restrição apresentam desvio-padrão superior ao observado. A série de horas trabalhadas observada apresenta desvio-padrão intermediário àquelas geradas pelos modelos com terra fixa e sem restrição. As séries de capital e investimento apresentam desvios-padrão superiores aos gerados pelos modelos. Por fim, a terra apresenta desvio-padrão intermediário àqueles observados para as séries geradas pelos modelos com restrição de 50% e sem restrição.

Tabela 4: Desvio-padrão de variáveis selecionadas para o modelo com terra fixa, com restrição de 50% no uso da terra, sem restrição no uso da terra e das séries observadas

Variável	Terra fixa	Restrição de 50%	Sem restrição	Séries observadas
Produto	0,0487	0,0654	0,0799	0,0437
Trabalho	0,0347	0,0511	0,0574	0,0409
Capital	0,0166	0,0165	0,0189	0,0542
Terra	–	0,0327	0,0799	0,0462
Investimento	0,1762	0,1826	0,2091	0,3069

Fonte: Resultados da pesquisa.

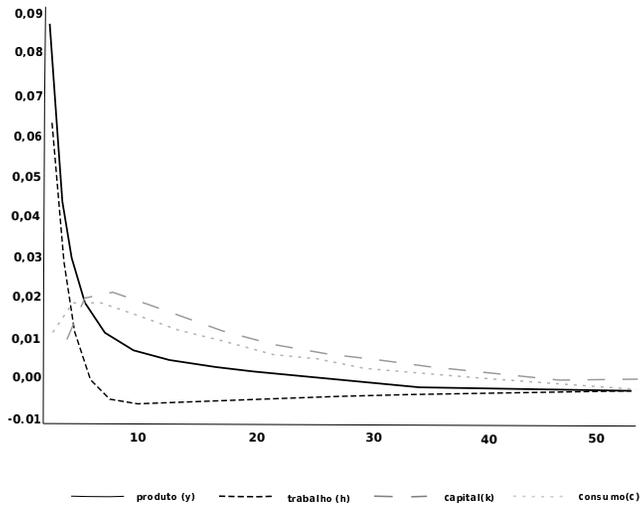
As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para as funções de impulso resposta das variáveis dos modelos sem restrição de terras, com quantidade de terra fixa, e com restrição de 50% no uso da terra em relação ao choque de produtividade. As três especificações escolhidas apresentam comportamento similar das variáveis do modelo econômico, havendo variação, apenas, na magnitude das respostas.



Fonte: Resultados da pesquisa.

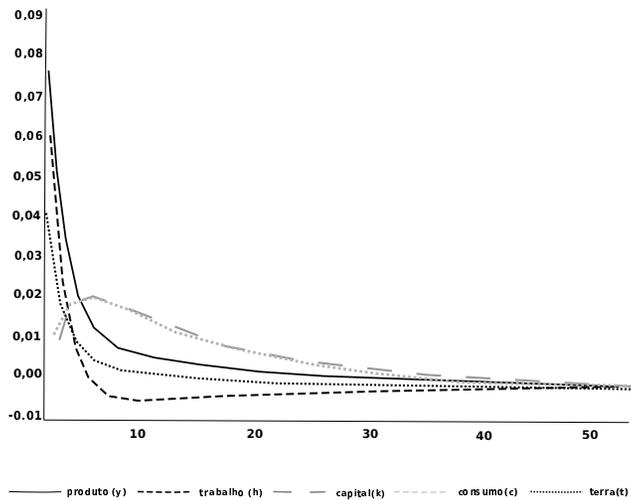
Figura 1: Resposta das variáveis trabalho, capital, consumo, produto e terra a choques de produtividade para o modelo com quantidade fixa de terras

terra e investimento, bem como as séries geradas pelos modelos, foram filtradas por meio do filtro Hodrick-Prescott (HP) com parâmetro de suavização compatível com séries anuais e que os desvios-padrão apresentados foram calculados com essas séries filtradas.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 2: Resposta das variáveis trabalho, capital, consumo, produto e terra a choques de produtividade para o modelo sem restrição de terras



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 3: Resposta das variáveis trabalho, capital, consumo, produto e terra a choques de produtividade para o modelo com restrição de 50% no uso de terras

A resposta da quantidade de terra empregada no processo de produção em relação a um choque de produtividade possui diferentes comportamentos de acordo com a restrição imposta, conforme os resultados apresentados na Figura 4. No caso em que não há restrição de uso, a quantidade de terra varia em magnitude idêntica à do produto, havendo, portanto, aumento no uso de terras idêntico ao aumento de produto. Conforme impõem-se restrições no uso, a quantidade de terras utilizada sofre impacto proporcional a essa restrição. Assim, por exemplo, quando uma restrição de 50% é imposta na quantidade adicionada de novas terras, a resposta ao choque de produtividade é 50% do impacto sobre o produto. A Figura 4 apresenta os impactos para 10%, 30%, 50%, 70% e 90% e para os casos sem restrição no uso da terra e com terra fixa. No caso em que a quantidade de terra é fixa, os choques de produtividade não afetam a quantidade de terras empregada.

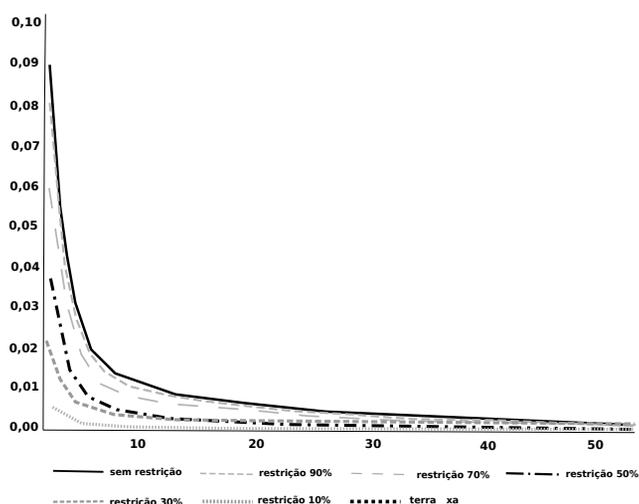
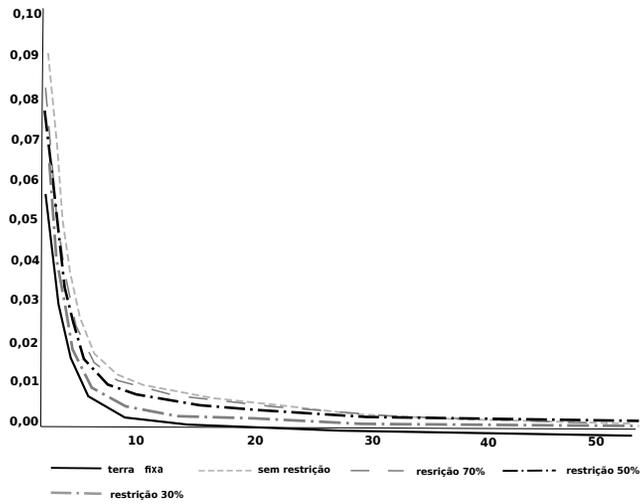


Figura 4: Resposta do uso da terra a choques de produtividade para os modelos sem restrição à incorporação de novas terras, com restrição de 10% a 90% no uso da terra, e com terra fixa

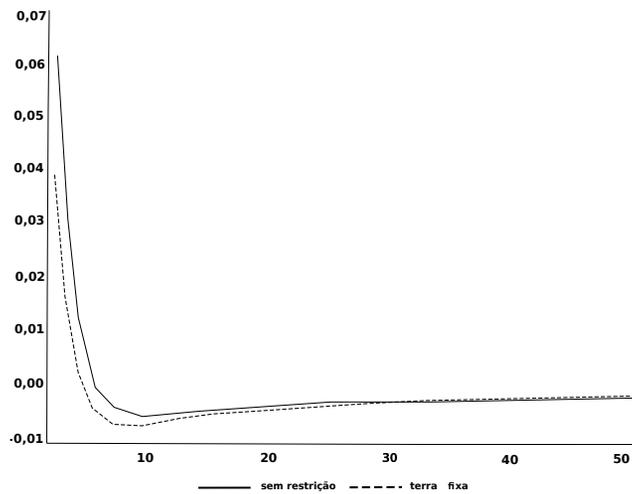
A diferença entre os impactos de um choque-padrão de produtividade no produto podem ser vistos na Figura 5. As respostas do produto aos choques de produtividade diferem bastante à medida que se aumenta a restrição para a conversão de novas terras para a agricultura. Os resultados demonstraram que no primeiro período após o choque, o impacto de um aumento da produtividade no produto para o modelo sem restrição é aproximadamente 65% maior do que para o modelo com uso de terra fixo. A resposta inicial ao choque para os modelos com restrições de 30%, 50% e 70% no uso da terra tem resposta inicial ao choque de 48%, 35% e 23%, respectivamente, superior ao modelo com terra fixa.

Os impactos de um choque-padrão de produtividade sobre o fator trabalho são apresentados na Figura 6. A resposta inicial ao choque para o modelo sem restrição é 90% superior a resposta do modelo com terra fixa. Nos períodos subsequentes, quando o choque se torna negativo, essa diferença diminui até haver a convergência para zero ao final do período.



Fonte: Resultados da pesquisa.

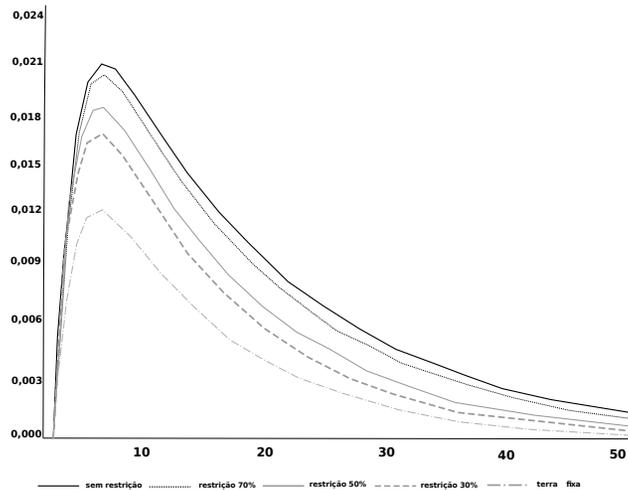
Figura 5: Resposta do produto a choques de produtividade para os modelos sem restrição no uso, com restrição de 30%, 50% e 70% no uso da terra e com terra fixa



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 6: Resposta do trabalho a choques de produtividade para os modelos sem restrição no uso e com terra fixa

A acumulação de capital também apresentou grande diferença quando se comparam os resultados gerados pelo modelo com quantidade de terras irrestrita e fixa. Um choque de produtividade padrão gera uma resposta inicial sobre o estoque de capital 3,6 vezes maior para o modelo com disponibilidade de terras irrestrita em relação ao modelo com restrição total no uso de terras. Essa diferença diminui nos períodos subsequentes, sendo que a menor registrada ocorre no quarto período após o choque, quando é de cerca de 77%. Assim, a variação do estoque de capital no período é bastante superior quando não existem restrições ao uso de terras. Esses resultados podem ser vistos na Figura 7.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 7: Resposta do capital a choques de produtividade para os modelos sem restrição no uso, com restrição de 30%, 50% e 70% no uso da terra e com terra fixa

Alguns trabalhos recentes na literatura de economia agrícola como, por exemplo, Vieira Filho (2016), Harfuch et al. (2016), e Ferreira Filho & Horridge (2014), têm mostrado que o uso intensivo de capital e novas tecnologias estão associados ao processo de expansão da fronteira agrícola. Adicionalmente, como mostraram Daubermann et al. (2014), a conversão de áreas de florestas e pastagens em áreas agrícolas não tem apresentado redução de produtividade.

Os resultados de Ferreira Filho & Horridge (2014) mostram que a expansão em regiões de elevada produtividade tem sido poupadora de terra, o que também foi verificado por Harfuch et al. (2016) que analisaram especificamente a pecuária, mas concluíram, também, que mesmo nas regiões de fronteira agrícola, o processo de ocupação teve a correspondência do aumento de produtividade.

Conforme há menos terra disponível, o crescimento do produto depende de uma compensação relacionada à tecnologia empregada que aumente a produtividade da terra e à intensificação do uso do capital. Gasques et al. (2016) mencionaram as técnicas de plantio direto e o desenvolvimento de cultivares com resistência genética a pragas como exemplos de tecnologias novas para o aumento da produtividade da agricultura. Adicionalmente, os autores obser-

varam a redução do emprego da mão de obra e aumento do uso do capital e, no período entre 2000 e 2014, estimaram um anual de crescimento da produtividade da mão de obra de 5,32%, e da produtividade da terra de 4,7%.

O modelo RBC ajustado para a economia brasileira mostra-se aderente a esse contexto, no sentido de mostrar que, conforme reduz a oferta disponível de terra, consequência direta do processo de expansão da fronteira agrícola, o crescimento do produto depende de investimentos em tecnologia que sejam poupadoras de terra. Nesse sentido, os resultados deste artigo reforçam a importância dos instrumentos de política agrícola como o crédito, os investimentos em ciência e tecnologia²¹ e, finalmente, a extensão rural (Contini et al. 2010).

6 Considerações Finais

Este artigo buscou propor modelos que permitissem avaliar os impactos da imposição de restrições no uso da terra para finalidades agropecuárias no contexto de ciclos econômicos reais – RBC, modelos estes inexistentes na literatura até então. Para tanto, calibrou-se um modelo RBC com três fatores de produção – capital, trabalho e terra – para a economia agrícola brasileira, buscando-se avaliar como políticas mais ou menos restritivas sobre o uso da terra para a finalidade agrícola poderiam afetar as variáveis do modelo econômico dados os choques de produtividade existentes nesse setor.

Os resultados demonstraram que, com exceção do capital e dos investimentos, as séries geradas pelos modelos propostos apresentaram desvio-padrão compatível com as séries observadas empiricamente.

As funções de impulso resposta apresentaram comportamento compatível com os modelos de ciclos econômicos propostos. Além disso, observou-se que diferentes valores para a restrição do uso da terra, levam a respostas das variáveis ao choque de produtividade com diferentes intensidades. Para o caso em que não existe nenhuma restrição à incorporação de terras, a resposta do uso da terra no modelo com relação a choques de produtividade é idêntica à do produto. Quando a oferta de terras é fixa não existe resposta desse fator aos choques de produtividade, conforme o esperado. Para os casos em que há restrição, a resposta da quantidade de terra utilizada é fixada em uma parcela da resposta do produto. Portanto, pode-se perceber que, em geral, as respostas das variáveis foram mais expressivas, à medida que se impôs restrições menores.

Apesar de a produção agrícola brasileira utilizar uma parcela pequena do total de terras disponíveis no país, é natural que haja uma limitação à expansão no seu uso, devido a instrumentos legais visando a preservação de áreas ambientais, ou limitações técnicas, como solos inapropriados para a agricultura de alta produtividade. As análises recentes reforçam a importância dos investimentos em tecnologia que produziram um elevado crescimento da produtividade agrícola nas últimas décadas. Nesse sentido, os resultados deste trabalho fornecem informações adicionais não apenas sobre o uso da terra, mas também sobre o produto e demais fatores de produção dado a ocorrência de choques tecnológicos.

²¹ Gasques et al. (2004) estimaram que o aumento de 1% nos gastos em pesquisa produzem impacto positivo de 0,17% na produtividade total dos fatores do setor agropecuário brasileiro, enquanto que para o crédito rural, o impacto positivo estimado é de 0,06%.

Por fim, cabe uma observação quanto à resposta do modelo ao uso de terras. À medida que a restrição ao uso de terras aumenta, e isso está associado ao limite da expansão da fronteira agrícola, mais investimentos são necessários para compensar a limitação da expansão desse fator. O mesmo, porém, em menor escala, pode ser dito da resposta do trabalho a choques de produtividade para os modelos propostos.

Referências Bibliográficas

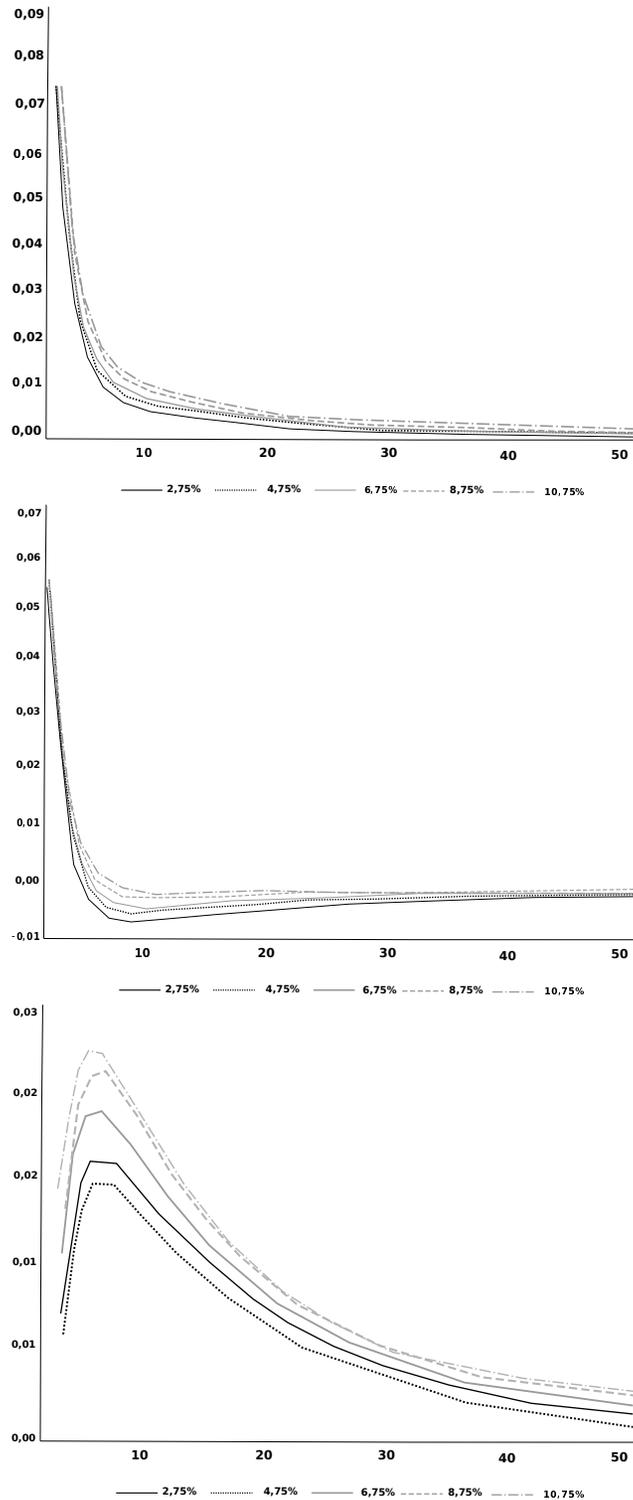
- Alvarez-Cuadrado, F. & Poschke, M. (2011), 'Structural change out of agriculture: labor push versus labor pull', *American Economic Journal: Macroeconomics* 3(3), 127–58.
- Angelopoulos, K., Economides, G. & Philippopoulos, A. (2010), 'What is the best environmental policy? Taxes, permits and rules under economic and environmental uncertainty'. Working Paper, CESifo.
- Barros, A. L. M. (1999), Capital, produtividade e crescimento na agricultura: o Brasil de 1970-1995, Master's thesis, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Barros, G. (2009), 'O quebra-cabeça do preço da terra no Brasil'. CEPEA, Mimeo.
- Bragagnolo, C. & Barros, G. S. d. C. (2013), 'Ciclos econômicos na agricultura brasileira', *Revista Brasileira de Economia* 67(2), 151–175.
- Bragagnolo, C., Spolador, H. F. & Barros, G. (2010), 'Regional Brazilian agriculture TFP analysis: a stochastic frontier analysis approach', *Revista Economia* 11, 217–242.
- Brandão, A. S. P., Rezende, G. C. d. & Marques, R. W. d. C. (2005), Crescimento agrícola no Brasil no período 1999-2004: explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. Texto para Discussão n. 1103, Rio de Janeiro, Julho de 2005.
- Cabral, C. d. S. R. & Gurgel, Â. C. (2014), Análise econômica da limitação do desmatamento no Brasil utilizando um modelo de equilíbrio geral computável, in 'Anais do XLI Encontro Nacional de Economia [Proceedings of the 41th Brazilian Economics Meeting]', number 208, ANPEC-Associação Nacional dos Centros de Pósgraduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics].
- Camacho, C. & Pérez-Barahona, A. (2015), 'Land use dynamics and the environment', *Journal of Economic Dynamics and Control* 52, 96–118.
- Contini, E., Gasques, J. G., Alves, E. & Bastos, E. T. (2010), 'Dinamismo da agricultura brasileira', *Revista de Política Agrícola* 19, 42–64. Edição especial de aniversário do MAPA - 150 anos.
- Da-Rocha, J. M. & Restuccia, D. (2006), 'The role of agriculture in aggregate business cycles', *Review of Economic Dynamics* 9(3), 455–482.

- Daubermann, E. C., Chagas, L. S., Gurgel, A. C. & Sakurai, S. N. (2014), 'Expansão da área agrícola e produtividade das culturas no Brasil: testando hipóteses da legislação californiana de biocombustíveis', *Revista de Economia e Sociologia Rural* **52**(1), 81–98.
- Dissou, Y., Karnizova, L. et al. (2012), Emissions cap or emissions tax? A multi-sector business cycle analysis. Working Paper, University of Ottawa.
- Duarte, M. & Restuccia, D. (2010), 'The role of the structural transformation in aggregate productivity', *The Quarterly Journal of Economics* **125**(1), 129–173.
- Ellery Jr, R., Gomes, V. & Sachsida, A. (2002), 'Business cycle fluctuations in Brazil', *Revista Brasileira de Economia* **56**(2), 269–308.
- Fearnside, P. M. (1996), 'Efeito estufa: a contribuição do desmatamento na Amazônia brasileira', *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications* **640**, 92–105. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, EUA.
- Ferreira Filho, J. B. & Horridge, M. (2014), 'Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil', *Land Use Policy* **36**, 595–604.
- Fischer, C. & Heutel, G. (2013), Environmental macroeconomics: environmental policy, business cycles, and directed technical change. NBER Working Paper n. 18794.
- Fischer, C. & Springborn, M. (2012), 'Emissions targets and the real business cycle: intensity targets versus caps or taxes', *Journal of Environmental Economics and Management* **62**(3), 352–366.
- Gasques, J., Bacchi, M., Rodrigues, L., Bastos, E. & Valdes, C. (2016), 'Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração', pp. 143–163.
- Gasques, J. G., Bastos, E. T., Bacchi, M. P. & da Conceição, J. C. (2004), 'Condiçantes da produtividade da agropecuária brasileira', *Revista de Política Agrícola* **13**(3), 73–90.
- Gasques, J. G., Bastos, E. T., Bacchi, M. R. P. & Valdes, C. (2011), Produtividade e crescimento da agricultura brasileira, Technical report, Ministério da Agricultura.
- Hansen, G. D. (1985), 'Indivisible labor and the business cycle', *Journal of Monetary Economics* **16**(3), 309–327.
- Hansen, G. D. & Prescott, E. C. (2002), 'Malthus to solow', *American Economic Review* **92**(4), 1205–1217.
- Harfuch, L., Nassar, A. M., Zambianco, W. M. & Gurgel, A. C. (2016), 'Modelling beef and dairy sectors' productivities and their effects on land use change in Brazil', *Revista de Economia e Sociologia Rural* **54**(2), 281–304.
- Heutel, G. (2012), 'How should environmental policy respond to business cycles? optimal policy under persistent productivity shocks', *Review of Economic Dynamics* **15**(2), 244–264.

- Kanczuk, F. & Faria Jr, F. (2016), 'Ciclos reais para a indústria brasileira?', *Estudos Econômicos* **30**(3), 335–350.
- Kydland, F. E. & Prescott, E. C. (1982), 'Time to build and aggregate fluctuations', *Econometrica: Journal of the Econometric Society* pp. 1345–1370.
- Liu, Z., Wang, P. & Zha, T. (2011), 'Land-price dynamics and macroeconomic fluctuations', *Econometrica* **81**(3), 1147–1184.
- Magalhães, M. A. d. (2005), 'Equilíbrio e ciclos', *Revista de Economia Contemporânea* **9**(3), 509–554.
- Martha Jr, G. B. (2008), 'Dinâmica de uso da terra em resposta à expansão da cana-de-açúcar no cerrado', *Revista de Política Agrícola* **17**(3), 31–43.
- McCandless, G. (2008), *The ABCs of RBCs: an Introduction to Dynamic Macroeconomic Models*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts and London.
- Nichols, D. A. (1970), 'Land and economic growth', *The American Economic Review* **60**(3), 332–340.
- Pizer, W. A. (1999), 'The optimal choice of climate change policy in the presence of uncertainty', *Resource and Energy Economics* **21**(3-4), 255–287.
- Uhlig, H. F. et al. (1995), 'A toolkit for analyzing nonlinear dynamic stochastic models easily'.
- Vieira Filho, J. E. R. (2016), A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos, in J. E. R. Vieira Filho & J. G. Gasques, eds, 'Agricultura, Transformação Produtiva e Sustentabilidade', IPEA.

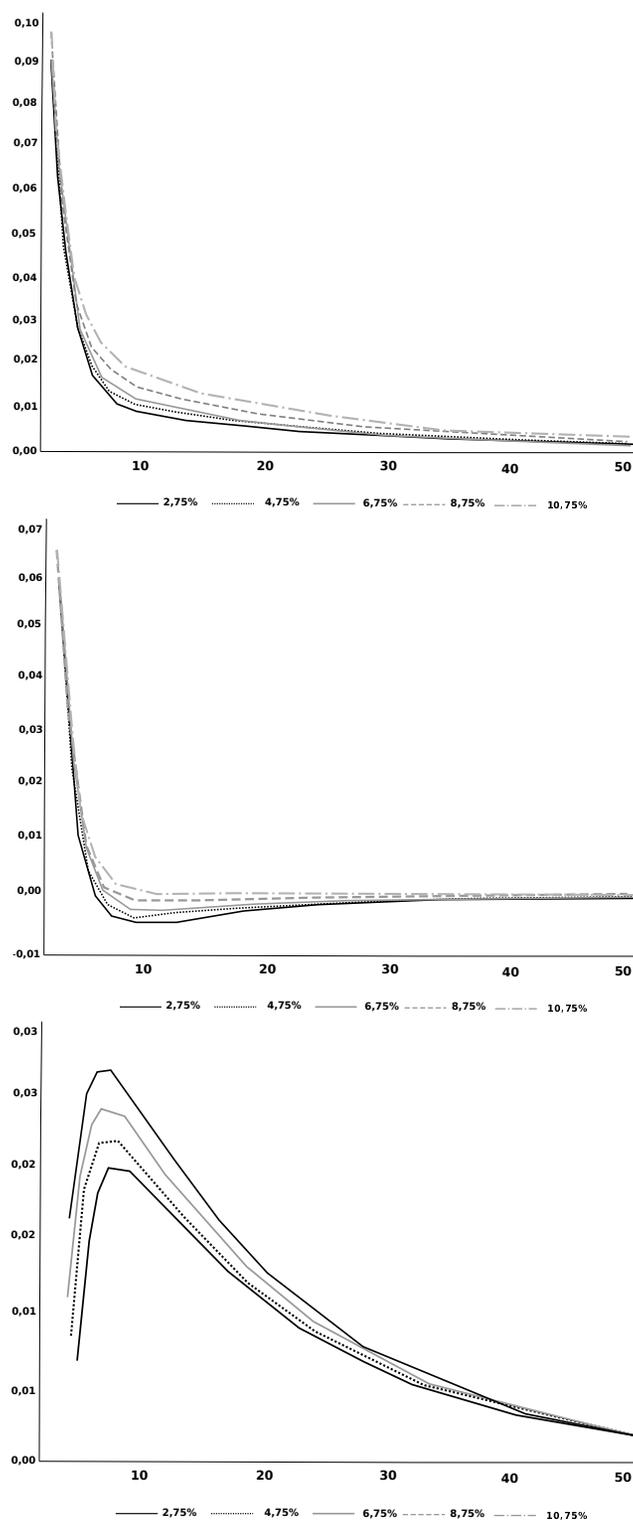
Apêndice A

Figura A.1: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo de terra fixa para diferentes valores para a taxa de depreciação (δ)



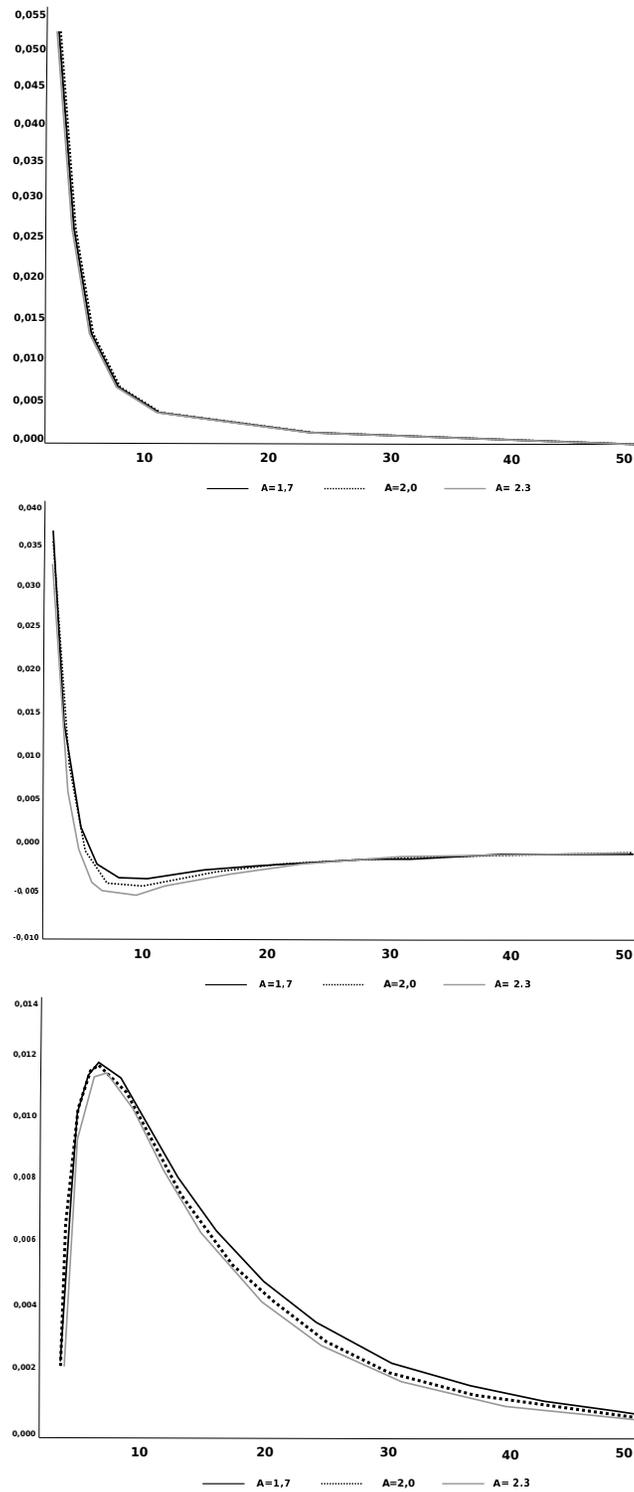
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.2: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo sem restrição de terra para diferentes valores para a taxa de depreciação (δ)



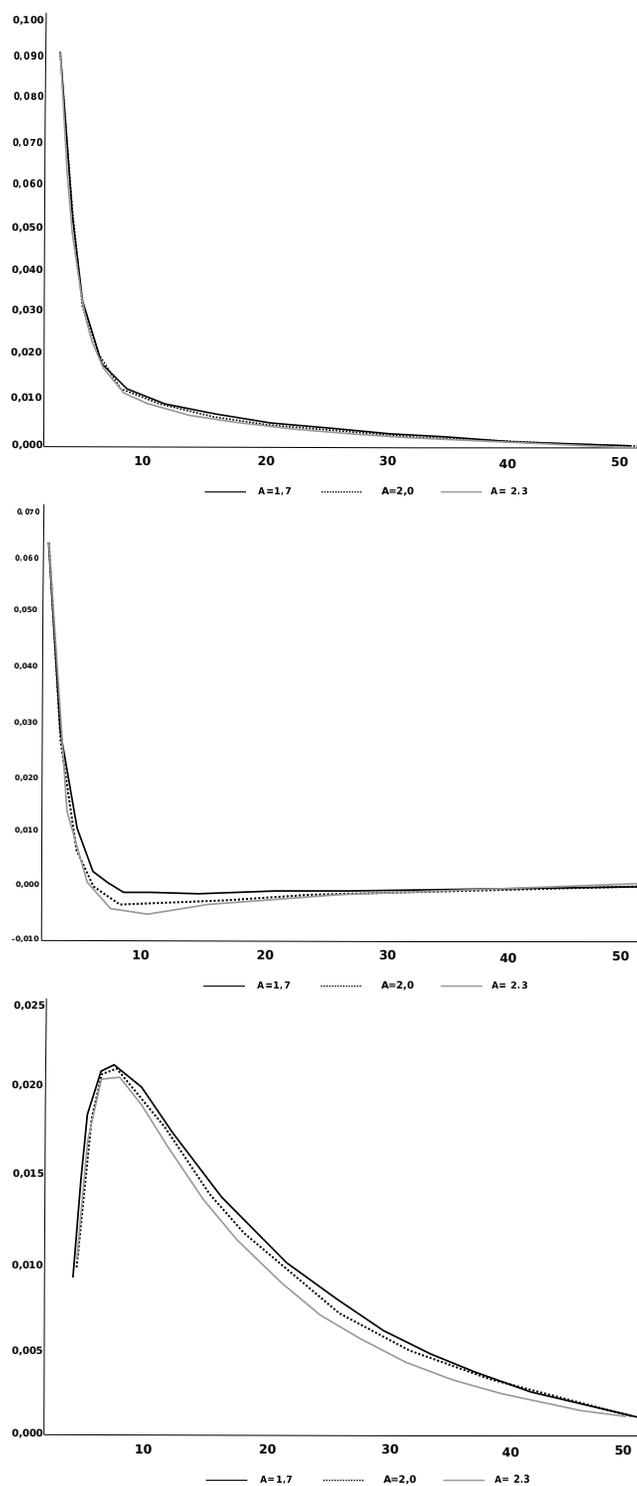
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.3: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo de terra fixa para diferentes valores da constante normalizadora (A)



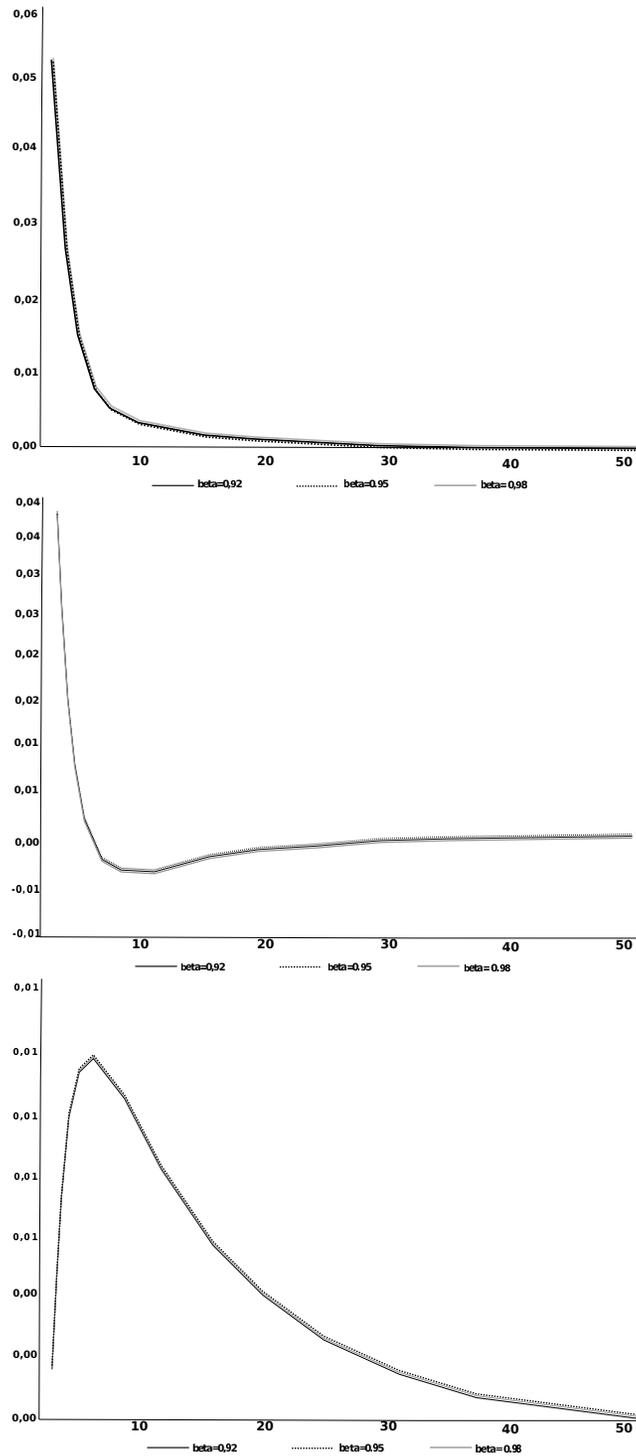
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.4: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo sem restrição de terra para diferentes valores da constante normalizadora (A)



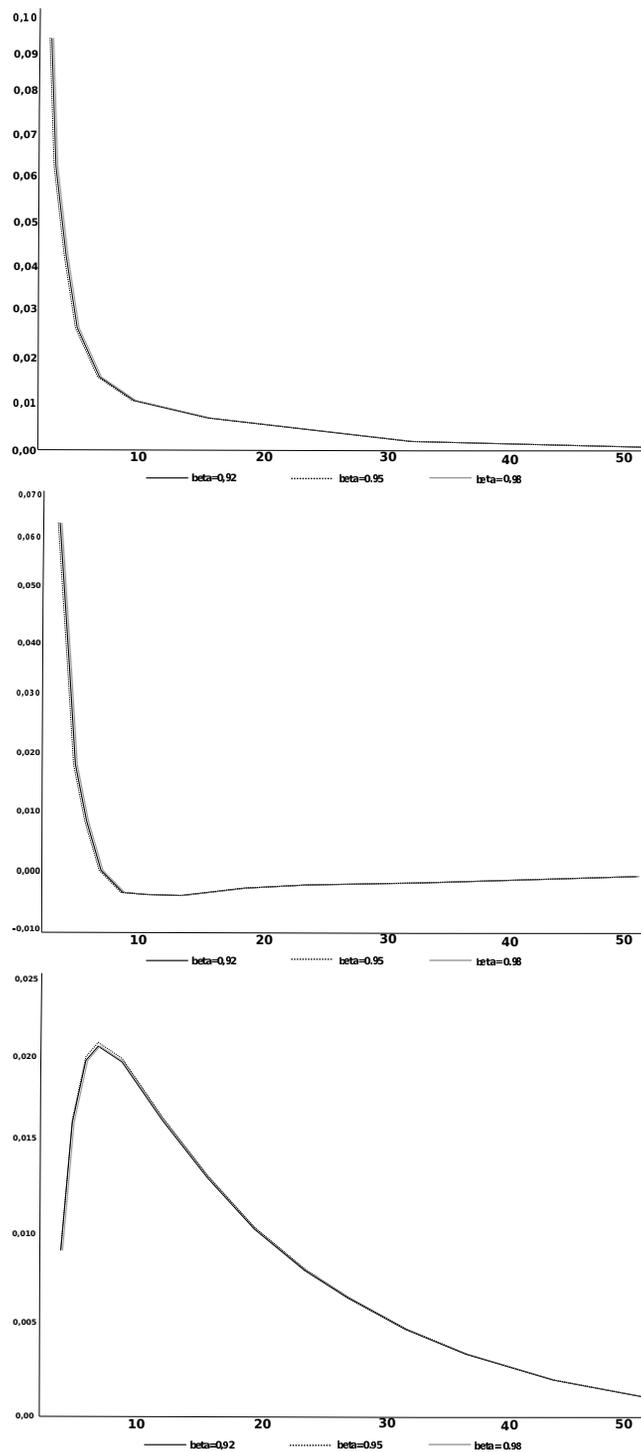
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.5: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo de terra fixa para diferentes valores para a preferência intertemporal (β)



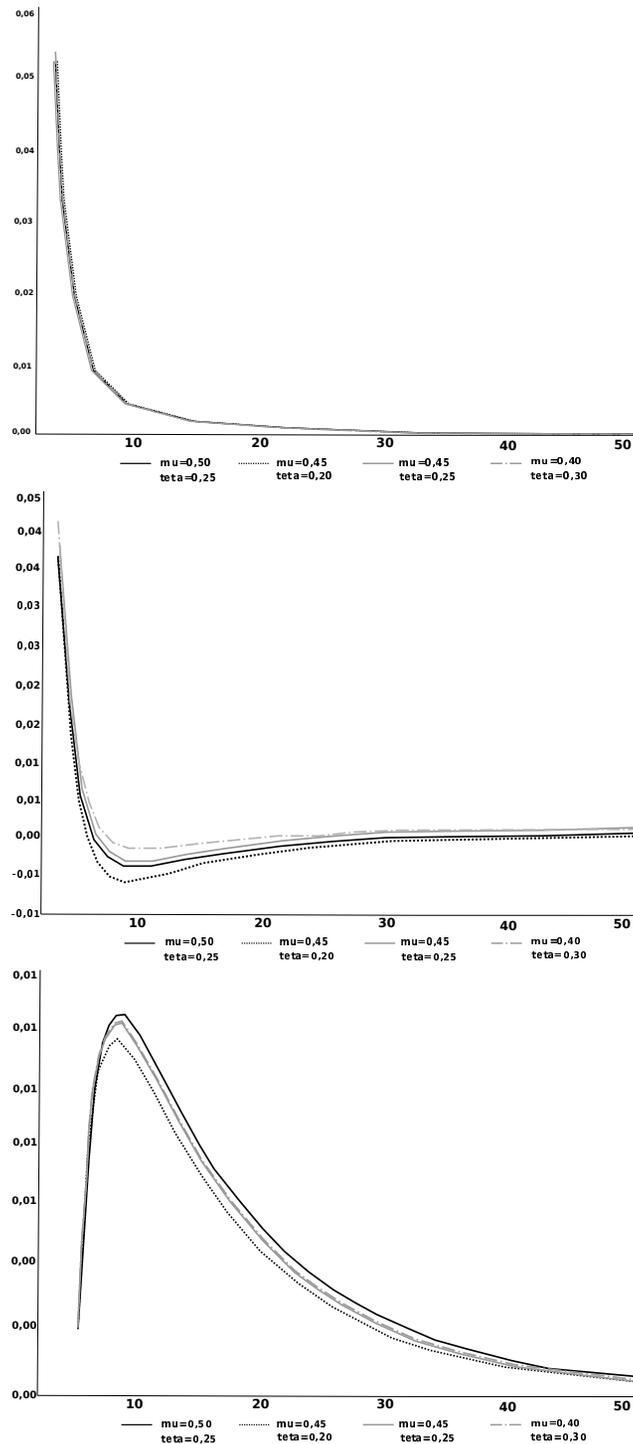
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.6: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo sem restrição de terra para diferentes valores para a preferência intertemporal (β)



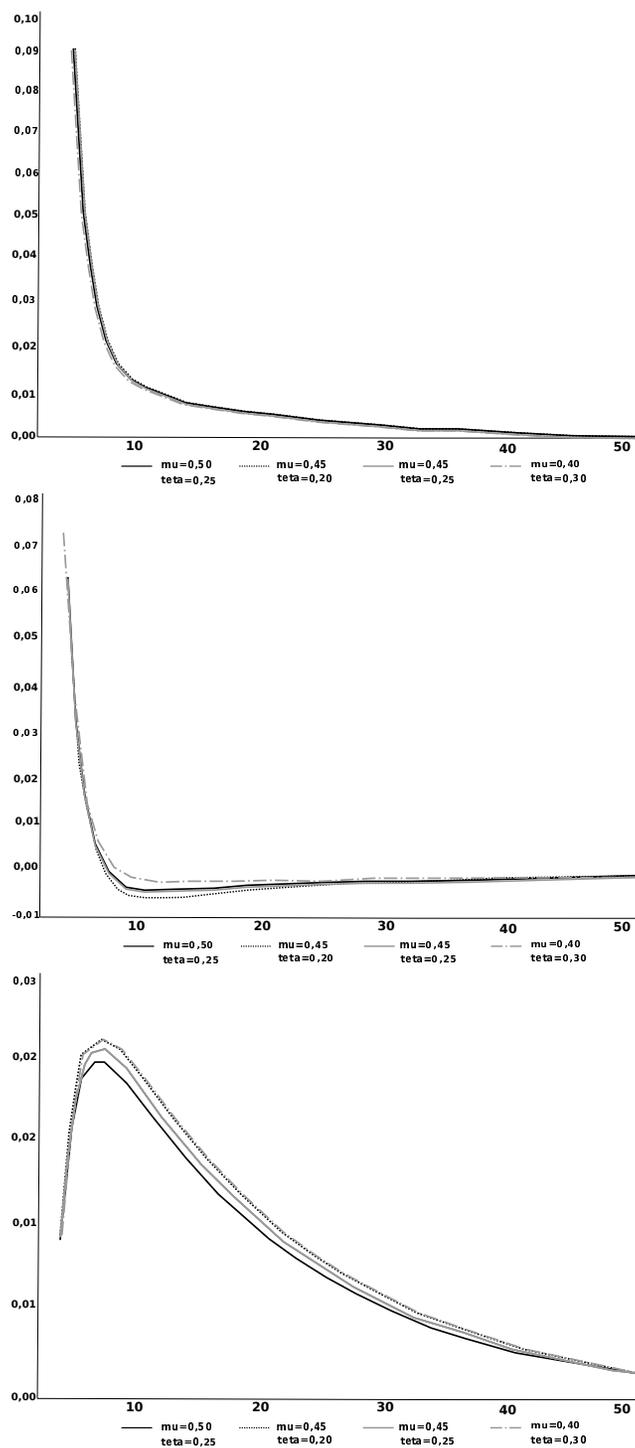
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.7: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo de terra fixa para diferentes valores para os parâmetros da função de produção (μ e θ)



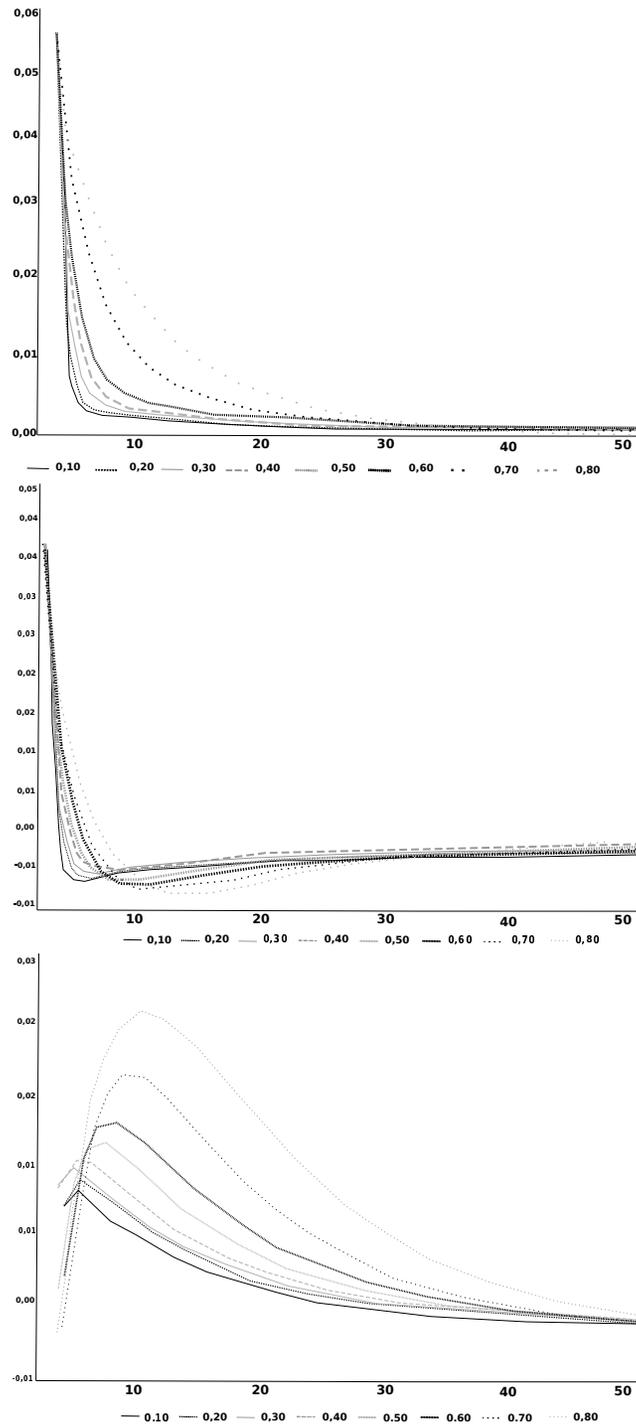
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.8: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo sem restrição de terra para diferentes valores para os parâmetros da função de produção (μ e θ)



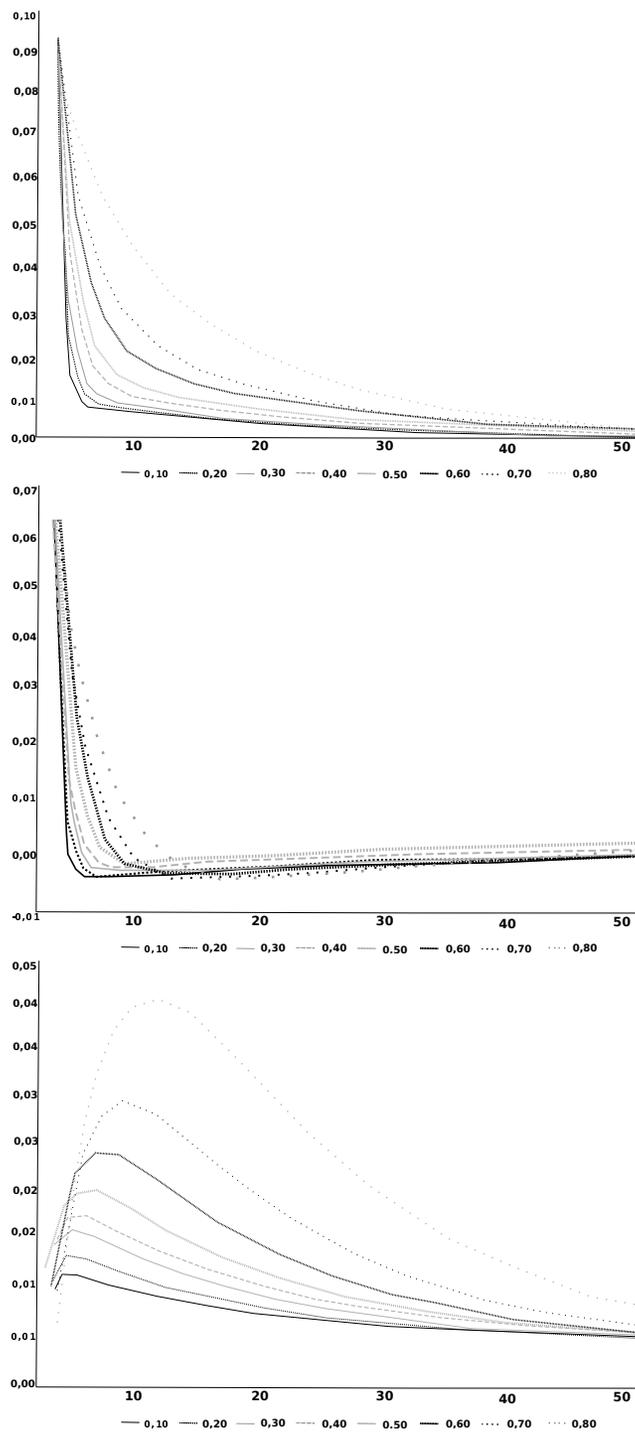
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.9: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo de terra fixa para diferentes valores para o parâmetro de persistência do choque (ρ)



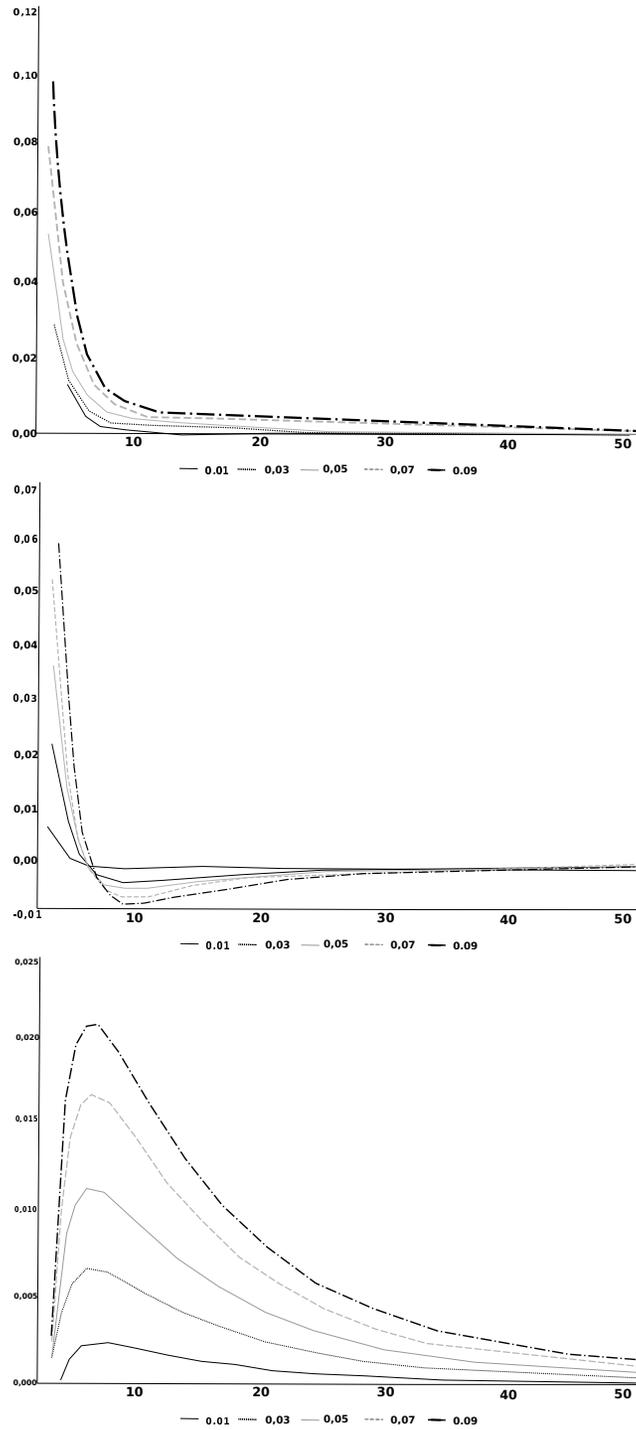
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.10: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo sem restrição de terra para diferentes valores para o parâmetro de persistência do choque (ρ)



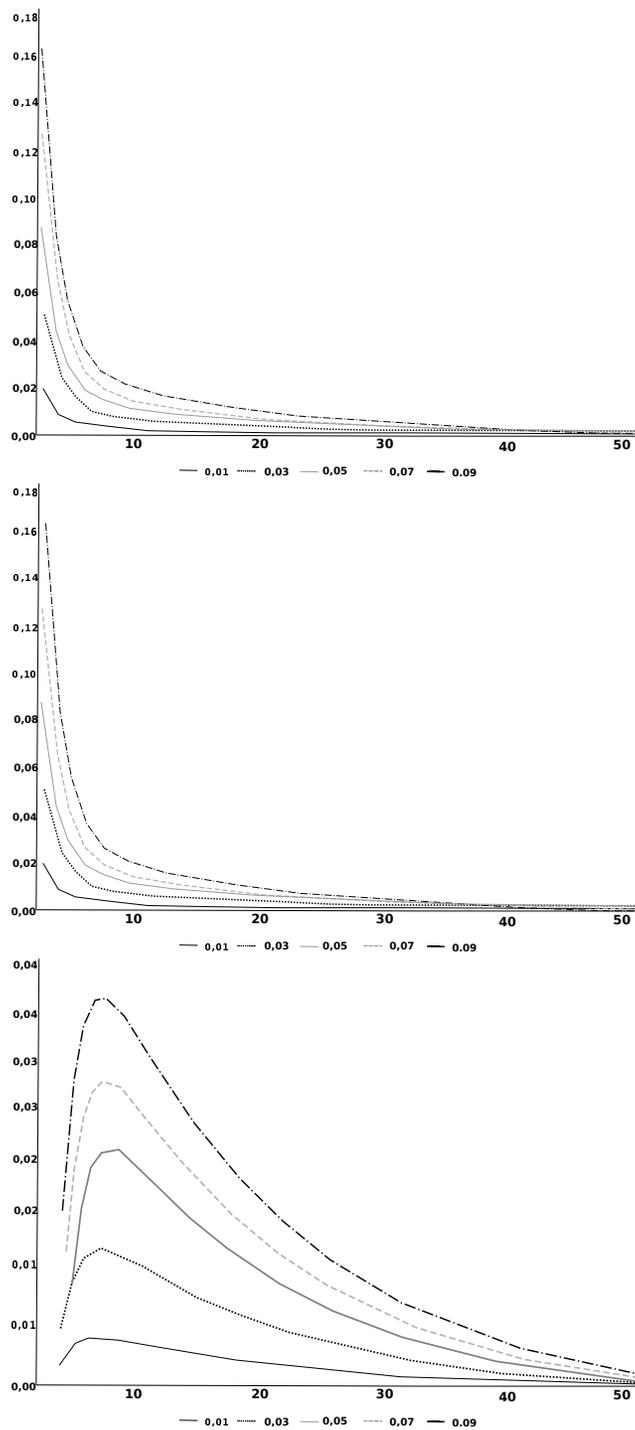
Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.11: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo de terra fixa para diferentes valores para o desvio-padrão do choque (σ_ϵ)



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura A.12: Sensibilidade da função impulso resposta do produto, do trabalho e do capital no modelo sem restrição de terra para diferentes valores para o desvio-padrão do choque (σ_e)



Fonte: Resultados da pesquisa.