

IMPULSO-RESPOSTA DO CHOQUE DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA À LUZ DA TEORIA DOS CICLOS REAIS DE NEGÓCIOS (RBC): O CASO DO SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO¹

Michel Angelo Constantino de Oliveira²

Dany Rafael Mendes Fonseca³.

Carlos Vinícius dos Santos Reis⁴

Tito Belchior Moreira⁵

Adalberto Amorim Pinheiro⁶

Resumo: As inovações tecnológicas do agronegócio mundial não permitiram que a teoria malthusiana se concretizasse. Conforme estudos da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), a introdução de técnicas mais refinadas de cultivo e tratamento do solo bem como as descobertas de adubos químicos e de grãos geneticamente modificados permitiram um notável crescimento da produtividade agropecuária. Esse estudo adota a RBC como base teórica de desenvolvimento empírico para testar os efeitos de um choque de inovação tecnológica na economia. Nesse contexto, o objetivo é medir os efeitos do choque de inovação tecnológica na agropecuária nacional através da aplicação do RBC, utilizando como ferramenta de estimação o programa Matlab e o software Dynare para criar uma economia artificial relacionada com as variáveis capital, hora trabalhada, consumo e choque tecnológico. As estimações permitiram concluir que, em todos os parâmetros analisados, o choque de inovação na tecnologia trouxe impulsos-respostas positivos nos períodos futuros, seja na estimação 1, seja na 2. Foi possível concluir ainda que a inovação é fundamental para o agronegócio brasileiro e que o estímulo à produção científica nas áreas correlatas à agrícola, como biotecnologia e farmácia, contribui sobremaneira para o desempenho do setor.

Palavras-chave: Inovação. RBC. Choque tecnológico. Agronegócio. Macroeconomia.

1 Recebido em: 31/07/2012; Aceito em: 11/10/2012.

2 Doutorando em Economia pela Universidade Católica de Brasília, Pesquisador PNPd do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA; Professor da Universidade Católica Dom Bosco.

E-mail: michel.oliveira@ipea.gov.br.

3 Mestrando em Direito pela Universidade Católica de Brasília, Pesquisador e Procurador do Núcleo de Inovação da UCB; Professor convidado da Universidade de Brasília. E-mail: dany@ucb.br.

4 Doutorando em Economia pela Universidade Católica de Brasília, Professor da Universidade Católica de Brasília, Assessor do Programa de Pós Graduação em Economia da UCB. E-mail: vreis@ucb.br.

5 Doutor em Economia pela Universidade de Brasília (UNB), Professor do Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Católica de Brasília. E-mail: tito@ucb.br.

6 Doutorando em Economia pela Universidade de Aveiro, Gerente de Transferência de Tecnologia e Inovação do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília.

E-mail: adalberto.amorim@cdt.unb.br

Abstract: Technological innovations in agribusiness world did not allow the Malthusian theory became a reality. According to studies by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the introduction of more refined techniques of cultivation and soil treatment, as well as the findings of chemical fertilizers and genetically modified crops have led to a remarkable growth of agricultural productivity. This study adopts the CBR as the theoretical basis of empirical development to test the effects of a shock of technological innovation in the economy. In this context, the objective is to measure the effects of the clash of national technological innovation in agriculture through the application of RBC, using as a tool for estimating the program Matlab and Dynare software to create an artificial economy-related variables capital, hours worked, consumption and technology shock. The estimates showed that in all parameters analyzed, the impact of innovation in technology has brought positive impulse-responses in future periods, either in a pet, be it in two. If possible also concluded that innovation is critical to agribusiness and the encouragement of scientific areas related to agriculture, such as biotechnology and pharmaceuticals, contributes greatly to the performance of the sector.

Key Words: Innovation. RBC. Technology shock. Agribusiness. Macroeconomics.

1. Introdução

Estudos da FAO (2012) indicam que, em função das inovações introduzidas na agropecuária mundial, mais especificamente de técnicas elaboradas de cultivo e tratamento do solo, a teoria malthusiana não se concretizasse. Os mesmos estudos mostram ainda que as descobertas de adubos químicos e de grãos geneticamente modificados permitiram um evidente aumento da produtividade agropecuária. Consoante as tendências mundiais, no Brasil, não foi diferente, com vantagens comparativas visíveis e quantificáveis, observa-se uma trajetória tecnológica em crescimento. Conforme Vieira Filho (2009), a trajetória tecnológica que marca o desenvolvimento de um moderno setor agrícola é determinada por sistemas complexos de inovação. O mesmo autor mostra, ainda, de forma esquemática, conforme a Figura 1, uma ampla trajetória tecnológica envolvendo as fases do desenvolvimento agrícola.

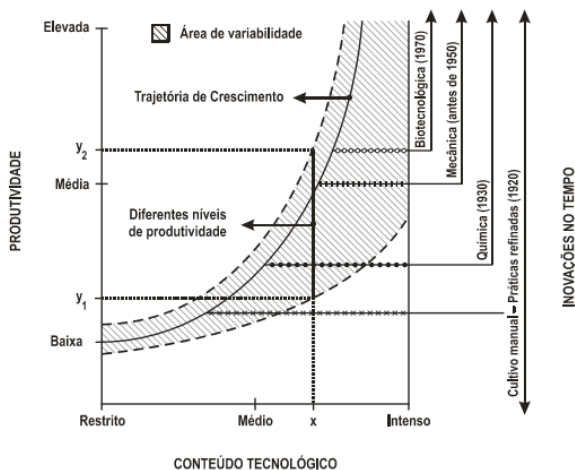


Figura 1: Conteúdo tecnológico, produtividade e principais inovações da agricultura situadas no tempo.

Fonte: Viera Filho (2009).

O eixo vertical esquerdo mostra o aumento da produtividade, que pode ser baixo, médio ou elevado. O eixo horizontal determina, em termos de conteúdo tecnológico, o que pode ser uma medida da combinação eficiente de insumos, o grau de modernização agrícola, variando do conteúdo restrito (agricultura tradicional, no caso) ao intenso (produtor moderno). No eixo vertical, à direita, estão os principais aglomerados de inovações tecnológicas na agricultura, tais como as revoluções químicas, mecânicas e biotecnológicas.

De acordo com a representação esquemática da ampla trajetória tecnológica na agricultura, percebe-se que o crescimento agrícola teve origem, fundamentalmente, nos principais clusters de inovações tecnológicas nos últimos 60 anos. Vale ressaltar que, para um dado conteúdo tecnológico (x), dentro da área de variabilidade, é possível alcançar diferentes níveis de produtividade, os quais variam de y_1 a y_2 . Embora o conteúdo tecnológico seja o mesmo, o estoque de conhecimento

de cada produtor é decisivo no desempenho produtivo final. Quanto mais próxima de y_2 a produtividade, o estoque de conhecimento é máximo. Se a produtividade estiver baixa (ou próxima de y_1), o agricultor possui baixa capacidade de absorção e reduzido estoque de conhecimento.

Corroborando o estudo de Viera Filho, podem-se atribuir as trajetórias tecnológicas a choques tecnológicos na economia, proporcionando significativas mudanças institucionais que provocam progresso tecnológico nos chamados clusters de inovação.

Com o choque tecnológico, os elos da cadeia produtiva precisam inovar. Um dos elos, o produtor, deve adaptar o conteúdo tecnológico em uma combinação mínima adequada de insumos. A revolução tecnológica isolada do processo de aprendizado não garante o aumento da produção nem o uso eficiente do conteúdo tecnológico. A moderna agricultura, ao longo dessa trajetória, incorporou as inovações químicas, potencializando o uso das inovações mecânicas. As inovações biotecnológicas, por sua vez, podem condicionar as trajetórias químicas e mecânicas. Assim, a bioquímica, a biologia molecular e a genética constituem áreas do conhecimento fundamentais ao fomento da moderna agricultura (VIERA FILHO, 2009).

As pesquisas sobre o ciclo de negócios tiveram ênfase na década de 1970 por meio dos estudos de Lucas Jr (1977), da Universidade de Chicago, através do artigo *Understanding Business Cycles*, que se tornou um clássico da macroeconomia, pesquisando os ciclos de negócios nos EUA. De acordo com Kanczuk e Faria Jr (2000), no começo da década de 1980, na esteira dos estudos sobre a Teoria dos Ciclos Reais de Negócios, Kydland e Prescott (1982) estabelecem um protótipo de modelo e um conjunto de técnicas que possibilitaram avançar na pesquisa de Equilíbrio Geral, utilizando-se de ferramental computacional para o cálculo do equilíbrio de economias artificiais e estudo de suas propriedades empíricas.

Vários estudos sobre o tema foram desenvolvidos desde então, nos quais a estrutura básica se origina na abordagem dos RBC, em que a observação de fatos reais é considerada essencial para o desenvolvimento dos modelos em economia, em particular, na análise dos ciclos econômicos (TELES ET AL, 2005).

Os autores da referida escola enfatizam a relevância dos choques de oferta, ou tecnológicos, como fontes geradoras das flutuações, admitindo o modelo de crescimento neoclássico como referencial para o comportamento da economia no longo prazo. A distinção entre o componente tendencial e o componente cíclico do produto também é um dos principais objetos da reflexão. Nesse contexto, os estudos sobre RBC consistem na construção de modelos capazes de replicar os fatos da economia real, ou seja, buscam a criação de uma economia artificial, representada pelo modelo, cujas correlações entre as variáveis sejam próximas às da economia real, de forma a viabilizar testes de hipóteses sobre o comportamento delas.

Em seu trabalho pioneiro, Kanczuk e Faria Jr (2000) pesquisam os ciclos reais para a indústria brasileira, comparando-a à indústria dos Estados Unidos, criticando a tendência de pesquisadores brasileiros em desconsiderar os avanços dessa teoria, principalmente pela ênfase nos choques tecnológicos como fonte das flutuações.

Os estudos sobre RBC se concentraram especificamente no setor industrial dos países, e a pesquisa que mais se aproxima do setor agropecuário foi realizada por Da-Rocha e Restuccia (2006)⁷, conhecida como o papel da agricultura no ciclo de negócios. O trabalho destes autores analisou as flutuações do ciclo econômico entre países, relacionando-as com sua participação da agricultura. Porém, esse estudo não mediu os efeitos do progresso tecnológico, defendido por Solow (1957) como principal fonte de crescimento das nações.

7 Para mais detalhes, ver Da-Rocha & Restuccia (2006).

O presente artigo adota a RBC como base teórica de desenvolvimento empírico para testar os efeitos de um choque tecnológico na economia brasileira. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é medir os efeitos do choque de inovação tecnológica na agropecuária nacional, por meio da aplicação do RBC, utilizando como ferramentas de estimação o programa *Matlab* e o software *Dynare* para criar uma economia artificial relacionada com as variáveis capital (k), hora trabalhada (h), consumo (c) e choque tecnológico (e). As estimações serão realizadas e analisadas em dois estágios distintos, usando parâmetros diferenciados para conhecer as funções de impulso-resposta ao choque de inovação tecnológica na agropecuária brasileira. Para um dos estágios de estimação, foi utilizado o filtro HP (*Hodrick-Prescott*) com calibrações elaboradas a partir de dados empíricos. Para o desenvolvimento dos objetivos, o artigo se divide nessa introdução, no referencial teórico sobre RBC, no método de filtragem, na inovação na agropecuária, na metodologia, além dos resultados e conclusões.

2. Ciclos Reais de Negócios - RBC

Desde o desenvolvimento da escola keynesiana e a publicação da Teoria Geral, promoveram-se novos objetivos de grande parte dos pesquisadores, com tendência a tentar prever qual seria o nível dos agregados econômicos em determinado período, utilizando o histórico de dados. A partir então, novas abordagens foram surgindo em relação à utilização dos modelos de equilíbrio geral.

Na década de 1970, emergiram novas concepções para a pesquisa macroeconômica, principalmente com os estudos de Lucas e Prescott (1971), promovendo estudos específicos dos ciclos de negócios (*business cycles*). Essas novas concepções de pesquisa surgiram pela inquieta preocupação com os resultados obtidos através dos modelos econométricos e as regras de decisão para a previsão, deixando dúvidas sobre a aplicação de políticas macroeconômicas.

A partir da década de 1980, a pesquisa avança em torno dos ciclos de negócios e Kydland e Prescott (1982) promovem a evolução do modelo de equilíbrio geral, para um modelo de equilíbrio geral dinâmico. No artigo publicado em 1982, os autores afirmam que os ciclos afetam um grande número de setores da economia, sendo que os choques de produtividade seriam os únicos responsáveis pela geração do ciclo. Os choques de produtividade mencionados são associados ao resíduo de Solow e seriam distribuídos para as outras variáveis através das regras de decisão, sendo parâmetros tecnológicos e de preferências, além das leis de movimento das variáveis de estado (VAL e FERREIRA, 2001).

O avanço da teoria de equilíbrio geral dinâmico mostrou resultados para a aplicação prática, tornando uma nova abordagem teórica e aplicada, denominada Real Business Cycles, agora desenvolvida por outros pesquisadores que incorporam inovações aos aspectos teóricos centrais.

De acordo com Romer (2006), o modelo base do RBC tem como *inputs* para a produção o capital (k), o trabalho (L) e a Tecnologia (A), utilizando a função de produção padrão *Cobb-Douglas*.

Com a intenção de apropriar da teoria RBC e aplicá-la em novos campos empíricos, um dos objetivos específicos deste artigo é conhecer os resultados de choques tecnológicos no setor agropecuário brasileiro, analisando a economia artificial que se pode conseguir com a produtividade e inovação no setor agrícola.

2.1. Filtro HP (Hodrick-Prescott)

Conforme Teles et al. (2005), desde o trabalho de Hodrick e Prescott (1980), tem sido comum a caracterização das variáveis macroeconômicas sobre ciclos através da utilização de diversas estatísticas para sumarizar os fatos dos ciclos de negócios. Entretanto, o exame empírico dos ciclos depende crucialmente do processo de filtragem da série.

A teoria dos Ciclos Reais de Negócios tem por objetivo explicar as propriedades dos ciclos econômicos, ou seja, as correlações entre produto, consumo, investimento, horas trabalhadas, produtividade e outros. Com esse objetivo, as séries reais e também as artificialmente produzidas na etapa de simulação são tratadas com o método de filtragem escolhido, com função de remover flutuações de baixa frequência nas séries, deixando apenas componentes de curto prazo (ANGELIS, 2004).

Na aplicação do filtro HP, a propriedade espectral da tendência é considerada estocástica, mas com variações suaves ao longo do tempo e não correlacionada com o ciclo. Nas investigações realizadas empiricamente para dados trimestrais da economia americana, Hodrick e Prescott (1980) utilizam o resultado de 100 para o parâmetro de suavização λ , para alguns autores a seleção de λ é uma questão arbitrária.

3. Inovação na agropecuária brasileira

Com o desenvolvimento dos países, conseqüentemente, ocorreu o crescimento de suas populações, proporcionando um aumento no consumo em todos os setores, principalmente daqueles produtos advindos do sistema agropecuário. Por outro lado, o mesmo desenvolvimento influenciou na modernização das tecnologias de produção, transformando o setor rural em negócios agroindustriais com avanços na produtividade, no desempenho e na expansão para novos mercados consumidores.

Utilizando como aporte teórico o conceito de sistema agroindustrial, tem-se um resultado expressivo do agronegócio na composição econômica do Brasil, pois o agronegócio brasileiro representa perto de 30% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional conforme MAPA (2012). O PIB do Agronegócio Brasileiro, em valores, passou de R\$ 614.626 milhões, em 2000, para R\$ 821.060 milhões em 2010. O setor da agricultura familiar, segundo Guilhoto *et al.* (2007), respondeu, em 2005, por 9,0% do PIB brasileiro, o que equivaleria a R\$ 174 bilhões. O agronegócio nacional foi responsável, nesse mesmo ano, por 27,9% do PIB nacional. Para os

autores, as estimativas do PIB do agronegócio familiar e sua evolução entre 1995 e 2005 mostram que os pequenos agricultores, ou agricultores familiares, respondem por uma parcela expressiva da riqueza nacional, não obstante a insuficiência de terras, as dificuldades creditícias, o menor aporte tecnológico, a fragilidade da assistência técnica e a subutilização da mão de obra.

O Gráfico 1 mostra a produtividade dos principais produtos do agronegócio familiar brasileiro nos últimos 50 anos.

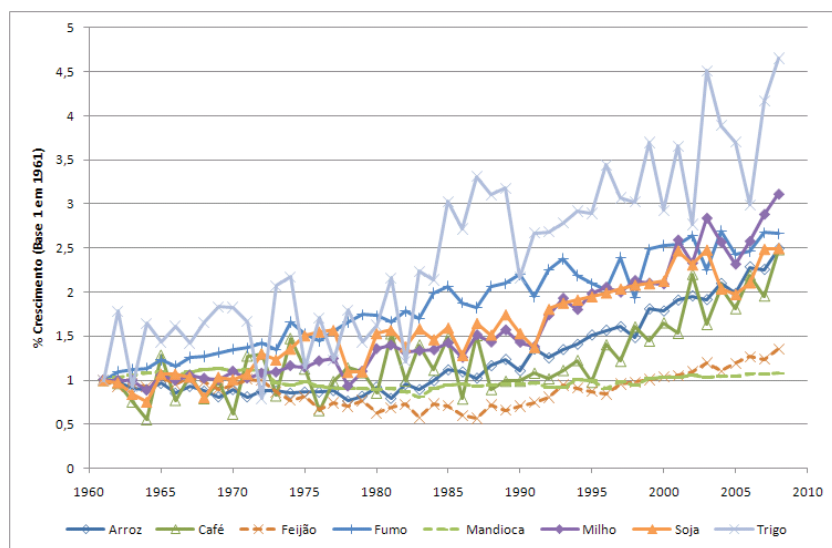


Gráfico 1 - Evolução da produtividade das principais culturas do Brasil, entre 1961-2008.

Fonte: Vilpoux et al. (2010).

O estudo de Vilpoux et al. (2010) mostra a evolução da produtividade, uma realidade composta pelas inovações tecnológicas produzidas pelo setor. Maturidade do setor, instituições claras, apoios externos e empreendedorismo provocaram o deslocamento produtivo dos principais produtos agropecuários.

A pesquisa agropecuária foi outro fator determinante do crescimento do produto agrícola. Ao analisar o desenvolvimento tecnológico na agropecuária nacional, pode-se utilizar como *proxy* a evolução da número de patentes depositadas no setor.

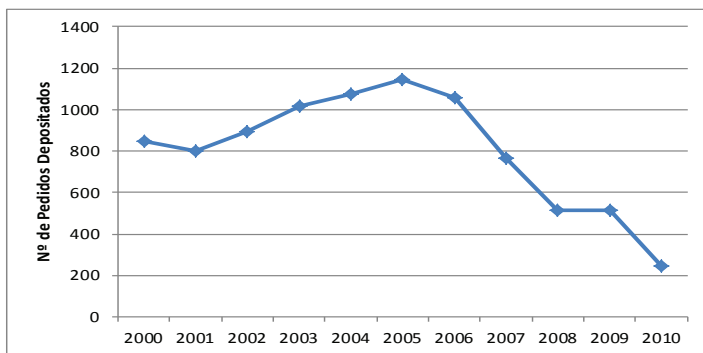


Gráfico 2 - Patentes agrícolas depositadas no INPI entre 2000 e 2010.

Fonte: Elaborado pelos dos autores com dados do INPI.

O registro de patentes depositadas do setor agrícola de 2000 a 2010 mostra a evolução do setor na área de inovação tecnológica. Os depósitos de patentes em biotecnologia agropecuária também cresceram mais em número que aqueles relacionados a outras tecnologias agrícolas.

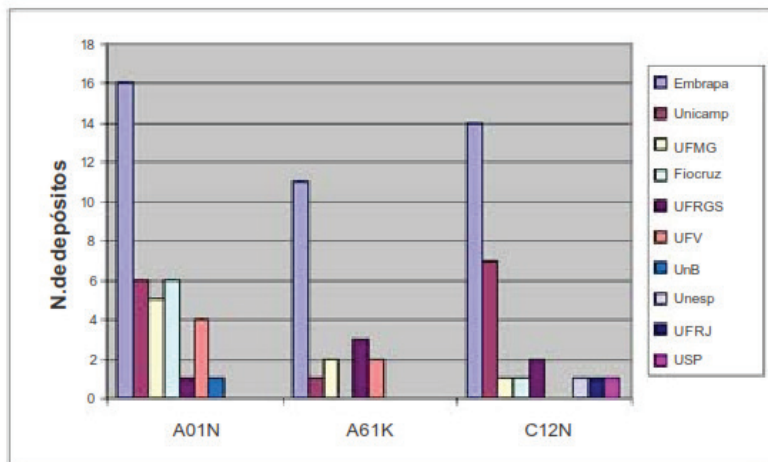


Gráfico 3: Número de depósitos de organizações públicas e privadas na área Agropecuária.

Fonte: Fortes e Lage (2006).

Considerando apenas os documentos de patente na área agropecuária, ou seja, cujos produtos e processos são utilizados nessa área tecnológica, observa-se que a Embrapa se destaca com maior número de depósitos nas três subclasses quando comparada às demais instituições (Gráfico 3). Esses depósitos feitos pela Embrapa se concentram principalmente na área de controle biológico de pragas, gerando tecnologias como feromônios e bioinseticidas. As outras instituições como UFMG, Fiocruz, USP, Unicamp, se destacam na área farmacológica.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011), uma das variáveis utilizadas para analisar o progresso tecnológico e inovação no setor da agropecuária é a PTF – Produtividade Total de Fatores. A Figura 2 mostra que a taxa de crescimento anual média da PTF estava em 3,62% ao ano.

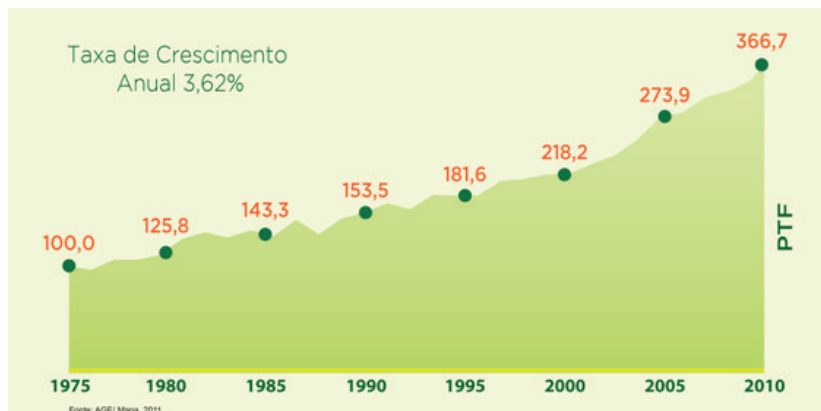


Figura 2: Produtividade Total de Fatores – Brasil 1975-2010.

Fonte: AGE/Mapa (2011).

Estudos de Gasques *et al.* (2008) sobre as fontes de crescimento da agricultura mostram ainda que a PTF é crescente entre a década de 1980 e o período atual: passa de 1,86% na década de 1980 para 2,65% na década de 1990, e para 3,87% ao ano no período de 2000 a 2005. Observando os componentes da PTF, nota-se que a produtividade do trabalho, a do capital e a da terra têm crescido a taxas elevadas, com destaque quase sempre para a primeira, embora sejam também surpreendentes as taxas de crescimento da produtividade da terra e do capital.

A problemática do estudo inicia-se em três questões principais:

- i) *Qual é o resultado de progressos de inovação tecnológica originários de choques tecnológicos proporcionados por investimentos privados e por políticas públicas de desenvolvimento setorial?*
- ii) *Qual modelagem pode ser utilizada para avaliar choques tecnológicos?*
- iii) *Qual o efeito do impulso-resposta para uma economia artificial?*

O Resíduo de Solow pode explicar como podemos avaliar os efeitos de um choque de inovação tecnológica, pois, de acordo com Ellery Jr. et al. (2002), para os teóricos neoclássicos, a produtividade é o determinante do desempenho de uma economia no longo prazo. Para medir a produtividade, Solow (1957) sugeriu que ela fosse calculada como um resíduo na função de produção. Ao calcular o estoque de capital, a mão de obra ocupada e o produto de uma economia, a função de produção pode ser utilizada para obter o nível de tecnologia, que, a partir de agora, chamaremos de produtividade total dos fatores.

4. Metodologia

Nessa seção, considera-se a elaboração da modelagem de ciclo de negócios para o setor agropecuário brasileiro. A partir desse modelo padrão, serão feitas as estimações que verificam o equilíbrio e o comportamento dinâmico da economia artificial.

A modelagem matemática para o setor agropecuário tem a especificação de uma função de produção *Cobb-Douglas* com retornos constantes de escala. A tecnologia requer capital físico e trabalho. Flutuações são impulsionadas por choques na produtividade total dos fatores. A função de produção é dada por:

$$f(z_t, k_t, h_t) = e^{z_t} k_t^\theta h_t^{1-\theta}, \quad (1)$$

em que $\theta \in (0, 1)$ é o parâmetro que representa a participação do insumo de capital físico k_t na produção; as horas trabalhadas na economia são dadas por h_t e o coeficiente z_t representa o choque tecnológico na produtividade total dos fatores, que é conhecido por resíduo de Solow, calculado de forma residual a partir da estimação dos parâmetros do modelo ou função original. A equação 2 mostra o z_t logaritimizado:

$$z_t = \ln(y_t) - \theta \ln(k_t) - (1 - \theta) \ln(h_t) \quad (2)$$

O produto y gerado na economia no tempo t pode ser consumido ou usado para aumentar o estoque de capital físico disponível para o processo de produção no período $t+1$. Este produto pode ser investido ou consumido conforme a seguir:

$$y_t = c_t + i_t, \quad (3)$$

em que i_t denota a quantidade de investimento e c_t o consumo, ambos no tempo t . Finalmente, o estoque do capital físico segue o processo a seguir na equação de acumulação do capital: .

$$k_{t+1} = (1 - \delta)k_t + i_t, \quad (4)$$

em que $\delta \in (0, 1)$ representa a taxa de depreciação do capital físico.

O problema das famílias com características idênticas e com vida infinita modela seu comportamento através da maximização do valor esperado da utilidade de uma função CRRA (Aversão ao Risco Relativa Constante), que tem o τ como o coeficiente da aversão relativa ao risco e está $0 < \tau < 1$.

Seguindo a notação de Hansen e Singleton (1983), a função utilidade intertemporal no modelo básico é do tipo von Neumann-Morgenstein, dada pela maximização do valor esperado da utilidade:

$$\text{Max}_{c_t, h_t} U = E_t \sum_{t=1}^{\infty} \beta^{t-1} \frac{(c_t^\alpha (1 - h_t)^{1-\alpha})^{1-\tau}}{1 - \tau}, \quad (5)$$

$$\text{sujeito a: } c_t + i_t \leq e^{z_t} k_t^\theta h_t^{1-\theta}, \quad (6)$$

$$k_{t+1} = (1 - \delta)k_t + i_t \quad (7)$$

e o processo estocástico para a produtividade

$$z_{t+1} = \rho z_t + \varepsilon_t \text{ com } \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2) \text{ e } \rho \in (-1, 1) \quad (8)$$

em que c_t é o consumo agregado per capita, $E_t(\cdot)$ é a esperança condicional ao conjunto de informação disponível ao agente no período t e β é a taxa de desconto intertemporal, sendo $0 < \beta < 1$. As famílias ofertam trabalho $h_t \in [0, 1]$ no período t , mas nesse caso ele recebe como utilidade o lazer para $l = 1 - h_t$.

Com essa especificação de função utilidade, apenas um parâmetro rege tanto o coeficiente de aversão ao risco τ , quanto a elasticidade substituição intertemporal $1/\tau$, de forma que um agente avesso ao risco (τ alto) não altera seu padrão de consumo.

Na equação (8), o choque tecnológico z_t segue um processo autorregressivo de primeira ordem, com o termo estocástico ε_t de distribuição normal, idêntico e independente, distribuído com média zero e variância σ .

O equilíbrio nessa economia é estabelecido, em cada período, pelas alocações de consumo, investimento, trabalho e preços (salários e taxas de juros), tal que:

- (i) as famílias maximizam suas utilidades tomando preços como dados e satisfazendo as restrições apresentadas;
- (ii) as propriedades agrícolas maximizam lucro, também tomando preços como dados; e
- (iii) os mercados se equilibram, isto é, quantidades demandadas e ofertadas são iguais para todos os bens.

Para a solução do problema das famílias e o equilíbrio, foi utilizada a teoria matemática da programação dinâmica como um meio de resolver os problemas de otimização, dada a metodologia recursiva de acordo com as contribuições iniciais de Bellman (1957). Os detalhes do modo recursivo de solução por Bellman podem ser encontrados em Stokey e Lucas (1989), que mostram que o método é robusto e permite encontrar soluções em problemas complexos, porém com hipóteses fortes sobre sua dinâmica.

A condição de primeira ordem com relação às variáveis de controle, consumo e trabalho caracteriza o equilíbrio para as equações (9), (10) e (11), respectivamente:

$$\frac{(c_t^\alpha (1-h_t)^{1-\alpha})^{1-\tau}}{c_t} = \beta E_t \left[\frac{(c_{t+1}^\alpha (1-h_{t+1})^{1-\alpha})^{1-\tau}}{c_{t+1}} (1 + \theta e^{z_t} k_t^{\theta-1} h_t^\theta - \delta) \right] \quad (9)$$

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{c_t}{1-h_t} = (1-\theta) e^{z_t} k_t^\theta h_t^{-\theta} \quad (10)$$

Para as equações de restrição em (6) e (7), temos:

$$k_{t+1} = e^{z_t} k_t^\theta h_t^{1-\theta} - c_t + (1-\delta)k_t \quad (11)$$

$$z_{t+1} = \rho z_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

O equilíbrio é um sistema de quatro equações (9), (10), (11) e (12). Para determinar a estimação do modelo em equilíbrio, foi definido que as variáveis endógenas são c , k , h e z e a variável exógena é o e , de acordo com a modelagem padrão do arcabouço teórico RBC.

4.1. Calibração e estimação para a agricultura

A calibração é uma estratégia para encontrar valores numéricos para os parâmetros de mundos artificiais econômicos. A abordagem de calibração vê os dados apropriados ou medidas como algo a ser determinado em parte pelas características da teoria. Os valores dos parâmetros são escolhidos com base na observação das características das economias reais, como nos métodos de estimação, e podem ser baseados fortemente na teoria. No processo de calibração, as estimativas são complementos, não substitutos.

De acordo com o objetivo geral de analisar os efeitos dinâmicos do choque de inovação tecnológica na agropecuária brasileira utilizando a teoria RBC e com os objetivos específicos de criar uma economia artificial através do *Dynare*, os estudos simulados partiram de parâmetros já consagrados por trabalhos científicos de Val e Ferreira (2001), Kanczuc e Faria Jr (2000) para a economia brasileira.

Para estimar a função que caracteriza o equilíbrio, os parâmetros que entram no modelo são calibrados de acordo com os precursores Cooley e Prescott (1995), que foram definidos de acordo com a modelagem proposta.

Para a escolha inicial dos parâmetros, tem-se a Tabela 1, que identifica os parâmetros utilizados no estudo de Val e Ferreira (2001), mensurando modelos de ciclos reais de negócios aplicados à economia brasileira.

Tabela 1: Parâmetros de Val e Ferreira para a economia brasileira

β	δ	θ	ρ	h
0,92	0,065	0,492	0,95	1,897

Fonte: Val e Ferreira, 2001.

Os autores explicam que o valor do parâmetro h definido em 1,897 foi para tornar o *steadystate* das horas trabalhadas condizentes com o da

economia brasileira. O parâmetro β é o fator de desconto intertemporal, ρ é o coeficiente do processo de choque, θ é o parâmetro da função de produção e o δ é a taxa de depreciação do capital.

Outro estudo importante foi a simulação feita no trabalho de Kanczuk e Faria Jr (2000) para a economia brasileira, mostrada na Tabela 2, que revela algumas diferenças com os dados do trabalho de Val e Ferreira (2001).

Tabela 2: Parâmetros de Kanczuk e Faria Jr para a economia brasileira.

β	δ	θ	ρ	h	σ_{ε}	H	γ
0,97	0,0081	0,66	0,95	1,7	0.053	-0,011	0,014

Fonte: Kanczuk e Faria Jr. (2000).

em que θ = parâmetro da função de produção *Cobb-Douglas*; δ = taxa de depreciação do capital; ρ = coeficiente do processo AR(1) do choque tecnológico; σ_{ε} = desvio padrão do processo AR (1) do choque tecnológico; γ = taxas de crescimento tecnológico; β = fator de desconto intertemporal; h = coeficiente do trabalho indivisível; η = taxa de crescimento populacional.

Utilizando como base os parâmetros já empregados nos trabalhos citados acima para a economia brasileira, nas conclusões e considerações de escolha de Cooley e Prescott (1995) e principalmente nas especificidades do setor agropecuário brasileiro, a Tabela 3 mostra os parâmetros utilizados para estimar o choque de inovação tecnológica na agropecuária nacional. Uma das inovações do estudo é que, além da formulação dos parâmetros, há também a inclusão do “s” como fonte de propagação do choque com diferente variação, sendo estimado na segunda etapa.

Tabela 3: Parâmetros para choque de inovação tecnológica na agropecuária.

β	δ	θ	ρ	τ	s	σ
0.987	0.012	0.357	0.95	2	0.007	1

Fonte: Elaboração dos autores com dados da pesquisa.

As simulações foram realizadas com os parâmetros definidos como:

β = fator de desconto intertemporal;

δ = taxa de depreciação do capital;

θ = parâmetro da função de produção;

τ = coeficiente de aversão ao risco;

ρ = coeficiente do processo AR(1) do choque tecnológico;

σ = desvio padrão; e

s = parâmetro de variação do choque.

Com os parâmetros definidos, a simulação foi feita em duas etapas, levando em conta experimentos para o choque de inovação tecnológica. Na primeira etapa, o modelo RBC padrão foi utilizado com os parâmetros (β , δ , θ , τ , ρ e σ) sem o parâmetro de variação do choque “s”.

Na segunda etapa, foi realizado o choque tecnológico, levando em conta todos os parâmetros já utilizados (β , δ , θ , τ , ρ , σ) e foi incluído o parâmetro $s = 0.007$, que permite observar como o choque tecnológico se comporta com uma variação inicial de 0.7%. Na próxima seção, são analisados os resultados das simulações.

4.2. Resultados e Discussão

Com os parâmetros calibrados para a agropecuária brasileira, o choque de inovação tecnológica foi analisado de acordo com as duas estimações realizadas: Estimação 1: Choque tecnológico com os parâmetros (β , δ , θ , τ , ρ e σ).

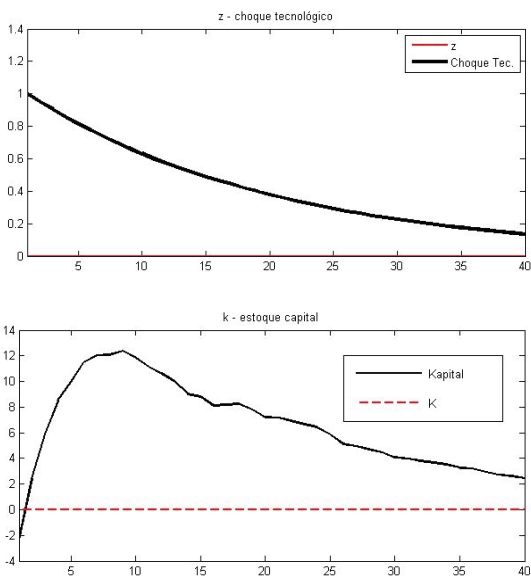


Figura 3: Função impulso-resposta a um choque tecnológico em z e k

Com o choque tecnológico em z , as outras variáveis desenvolveram caminhos distintos como mostram os resultados na Figura 3. O impulso-resposta do choque de inovação tecnológica influencia sobremaneira no estoque de capital, projetando uma evolução significativa que, aos poucos, vai se normalizando no futuro. A inovação tem um efeito negativo inicialmente no capital (-2) que rapidamente tem resposta positiva em 12 nos primeiros 10 períodos.

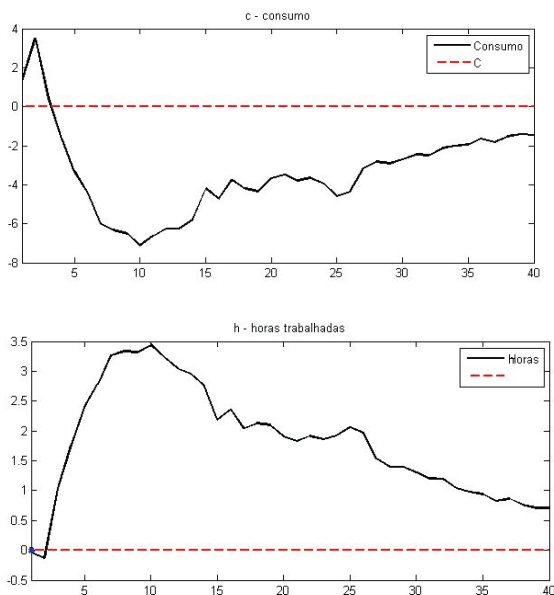


Figura 4: Função impulso-resposta a um choque tecnológico em c e h .

O consumo sofre um processo de aumento e, depois, uma queda considerável, que vai se normalizando no fim do período, chegando a aproximadamente 3,8 pontos positivos para depois cair a -7 no período 10 (Figura 4). Como o choque tecnológico é também conhecido como choque de produtividade, o comportamento dinâmico das horas trabalhadas reconhece esse impulso e desenvolve uma curva ligeiramente decrescente no primeiro período, para aumentar e chegar a 3,5 e depois ir se normalizando no futuro. Conclui-se que as variáveis seguem trajetórias diferentes no início do processo de choque, porém convergem para o equilíbrio, mostrando que o modelo está bem ajustado.

Estimação 2: no caso da segunda etapa de estimação, foram incrementados dois novos processos, o primeiro foi a normalização da dinâmica dos resultados através do filtro HP usando o coeficiente padrão de $\lambda = 100$ e o incremento do parâmetro s (parâmetro de variação do choque),

resultando um choque tecnológico com o mesmo comportamento dinâmico, mudando apenas seu índice de impulso-resposta. As Figuras 5 e 6 mostram que o choque tecnológico trouxe novo desempenho sobre as variáveis de consumo e horas trabalhadas, porém continua na mesma direção.

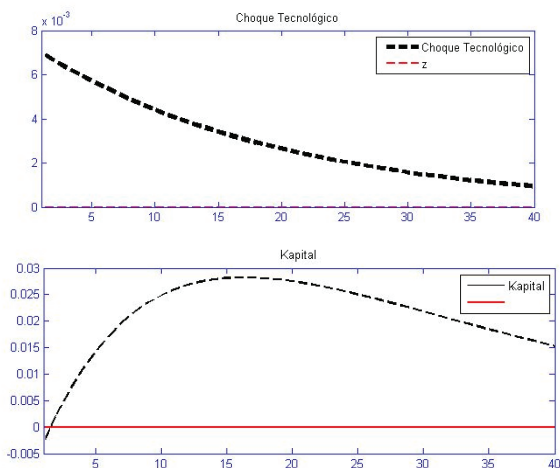


Figura 5: Função impulso-resposta a um choque tecnológico em z e k .

O choque de inovação tecnológica é produtivo nas duas estimações, sendo que, na segunda, seu índice é maior, partindo do ponto 7, ou seja, uma inclusão na estimação para ver o comportamento dinâmico do choque partindo de 0,7% mostra que o choque continua positivo e configura o mesmo caminho de equilíbrio no futuro. A variável capital sofre um acúmulo forte nos 20 primeiros períodos e depois volta à rotina de equilíbrio. A variável consumo sofreu uma variação significativa quando comparada com a primeira estimação, mostrando que o impulso-resposta trouxe novas perspectivas para essa economia.

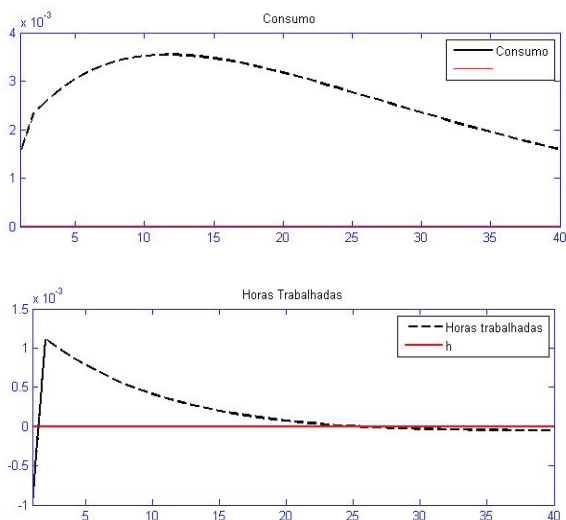


Figura 6: Função impulso-resposta a um choque tecnológico em c e h .

O impulso-resposta da variável hora trabalhada apresentou um ganho produtivo nos primeiros períodos e, a partir do vigésimo período, uma tendência de queda, que mostra a importância das inovações para manter o setor de produção agropecuária em constante mudança. Conclui-se que as variáveis seguem trajetórias diferentes inicialmente, convergindo para o equilíbrio, validando, dessa maneira, a modelagem utilizada.

5. Conclusões

A inovação tecnológica permitiu que a produção de alimentos no mundo proporcionasse um equilíbrio entre a demanda e a oferta para uma população mundial que cresce e consome cada vez mais. A teoria de crescimento econômico de Solow ainda é atual, pois permite concluir que o crescimento e o desenvolvimento têm como determinante principal o progresso tecnológico.

A agropecuária brasileira é uma das mais competitivas do mundo, e vários fatores contribuem para esse patamar. Um deles é a inovação tecnológica que se encontra em fase de deslocamento estrutural para uma economia baseada no conhecimento.

Ao integrar a Teoria dos Ciclos Reais de Negócios com a abordagem inovativa, os resultados comprovaram que é possível entender os determinantes de crescimento de um país ou de um setor, aplicando uma análise dos efeitos de choques. No caso da agropecuária nacional, os resultados confirmaram a hipótese de Solow, o progresso tecnológico é uma variável que provoca crescimento nas demais e é determinante para o crescimento ou para a produtividade.

As estimações permitem concluir que, em todos os parâmetros analisados, o choque de inovação na tecnologia trouxe impulsos-respostas positivos nos períodos futuros, seja na estimação 1, seja na 2. É possível concluir também que a inovação é fundamental para o agronegócio brasileiro e que o estímulo à produção científica nas áreas correlatas ao agrícola, como biotecnologia e farmácia, contribui sobremaneira para o desempenho do setor. A modelagem utilizada também apresentou resultados satisfatórios, certificando o modelo e os parâmetros construídos e estimados.

Espera-se que esse estudo possa provocar discussões acerca do tema e novas estimações para o setor agropecuário brasileiro, direcionando a aplicação aos recursos inovativos e tecnológicos, fonte primária do crescimento.

Referências

ANGELIS, C. T. **Um estudo sobre os filtros Hodrick-Prescott e Baxter-King**. 2004. Dissertação (Mestrado em Economia) - UFSC, Florianópolis, SC, 2004.

BELLMAN R. E. **Dynamic programming**. Princeton University Press, Princeton, 1957.

CEPEA-USP/CAN. **PIB do agronegócio brasileira**. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>. Acesso em 2011.

COOLEY, T. F. AND E. C. PRESCOTT. **Economic growth and business cycles**. In T. F. Cooley (Ed.), *Frontiers of Business Cycle Research*. Princeton University Press, 1995.

DA-ROCHA, J. M. e RESTUCCIA, D. The role of agriculture in aggregate business cycles. **Review of Economic Dynamics**, v.9, n.3, p.455-482. 2006.

ELLERY JR., Roberto; GOMES, Victor; SACHSIDA, Adolfo. Business cycle fluctuations in Brazil. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, v. 56, n. 2, 2002.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em Outubro 2012.

FORTES, M. H. P.; LAGE, C. L. S. Depósitos nacionais de patentes em biotecnologia, subclasse C12N, no Brasil de 1998 a 2000. **Biotemas**, v.19, n.1, p.7-12, março de 2006.

GASQUES, J.G.; BASTOS, E. T.; BACHI, M. R. P. Produtividade e fontes de crescimento da agricultura brasileira. In: DE NEGRI, J. A.; KUBOTA, L.C. (Ed.) **Política de incentivo à inovação tecnológica no Brasil**. Brasília, DF. IPEA, Cap. 11, p. 435-459, 2008.

GUILHOTO, J. J. M.; AZZONI, C. R.; SILVEIRA, F. G. et al. **Pib da agricultura familiar**: Brasil-Estados. Brasília: MDA (Nead Estudos), 2007. 172 p.

HANSEN, L.; K. SINGLETON: Stochastic consumption, risk aversion and the temporal behavior of asset returns. **Journal of Political Economy**, v. 91, 249-266, 1983.

HODRICK, R. J.; PRESCOTT, E. C. Post-war US business cycles: an empirical investigation. **Journal of Money, Credit and Banking**, Vol. 29, No. 1, pp. 1-16, 1997

KANCZUK, Fábio e FARIA JR, Francisco. Ciclos reais para a indústria brasileira. **Estudos Econômicos**. V. 30, n.3, p.335-350, 2000.

KYDLAND, Finn; PRESCOTT, Edward C. Time to build and aggregate fluctuations. **Econometrica**. 50: 1345-1370, 1982.

LUCAS, Robert E. JR. **Understanding business cycles**. In: Stabilization of the domestic and international economy, (ed.) Karl Brunner and Allan H. Meltzer, Carnegie-Rochester Series on Public Policy 5:7-29, Amsterdam: North Holland, 1977.

LUCAS, Robert E, Jr.; PRESCOTT, Edward C. Investment under uncertainty. **Econometrica**, Vol. 39, No. 5. p. 659-681. 1971.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília, DF. 2010.

ROMER, D. **Advanced Macroeconomics**. McGraw-Hill Irwin, NY, Fourth Edition. 2006.

SOLOW, R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function. **The Review of Economics and Statistics**, Vol. 39, No. 3, p. 312-320, 1957.

STOKEY, N.; LUCAS, R. E.; PRESCOTT, E. C. **Recursive methods in economic dynamics**. Cambridge, Mass: Harvard Univ. Press, 1989.

TELES, V. K.; SPRINGER, P.; GOMES, M. PAES, N. CAVALCANTI, A. Ciclos e métodos de filtragem: “fatos estilizados” para o caso brasileiro. **Revista Economia**. Brasília (DF), v.6, n.2, p.291–328, Jul./Dez. 2005

VAL, P. R. da C.; FERREIRA, P. C. **Modelos de ciclos de negócios aplicados à economia brasileira**. Pesquisa e Planejamento Econômico. v. 31, n.2, Rio de Janeiro, 2001.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Inovação tecnológica e aprendizado agrícola: uma abordagem schumpeteriana.** Tese (Doutorado em Teoria Econômica). Universidade de Campinas, 2009.

VILPOUX, O. F.; OLIVEIRA, M. A. C.; KALACHE, S.H.; LOPEZ, K.R. **Evolução da produtividade da agropecuária no Brasil e no mundo: influência da agricultura familiar e dos mercados de exportação.** In: 48º Congresso da SOBER, 2010. Campo Grande. Anais...Campo Grande (CD-ROM).

