

# TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS NA AGRICULTURA: CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL EM UM AMBIENTE SCHUMPETERIANO

Leonardo Andrade Rocha (IE/UNICAMP)

Napiê Galvê Araújo Silva (ECONOMIA RURAL/UFC)

Carlos Alano Soares de Almeida (PRODEMA/UERN)

Denison Murilo de Oliveira (PPGE/UFPB)

Rachel Silva Almeida (UFRPE/UAST)

**RESUMO:** A presente investigação analisa os impactos das inovações na agricultura sob o crescimento dos países. Para testar à afirmativa, construiu-se um modelo de crescimento schumpeteriano com inovações de melhoria na transformação dos produtos agrícolas. Nas condições de equilíbrio no setor de insumos intermediários, o crescimento será sustentável se a economia permutar para as atividades intensivas em P&D inovadora. Isto destaca a importância da biotecnologia para alcançar tais resultados. Para confirmar as hipótese, foi estimado um modelo de regressão com dados em painel e variáveis instrumentais (VI) relacionado o  $\log(\text{PIB per capita})$  com o grau de proximidade com a fronteira, medido pela razão entre os registros de patentes em biotecnologia, além de algumas variáveis controle. Os resultados do modelo mostram que as economias situadas próximas da fronteira tecnológica apresentam taxas de crescimento superior em relação às economias mais afastadas. Os testes de posto de Kleibergen e Paap (2006) e a estatística J de Hansen revelam que os instrumentos são relevantes e as estimativas por variáveis instrumentais são mais consistentes em relação ao método tradicional de efeitos fixos. Na composição do método de efeitos aleatórios (VI), os estimadores de mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro de Baltagi e Li (2009) - (MQ2E/CE) apresentaram ganhos significativos de eficiência em relação aos tradicionais mínimos quadrados generalizados em 2-estágios (MQG2E). Os resultados sugerem a presente metodologia para aplicações em outros setores da economia.

**PALAVRAS-CHAVE:** inovação, desenvolvimento, fronteira tecnológica.

**ABSTRACT:** The present research analyzes the impacts of innovations in agricultural sector on the growth of countries. To test the affirmative, we built a model of Schumpeterian growth with quality-improvement innovations on agricultural products. In equilibrium conditions in the sector of intermediate inputs, growth will be sustainable if the economy shift for the R&D-intensive activities. This highlights the importance of biotechnology pair achieve such results. To confirm the hypothesis, was estimated a regression model with panel data and instrumental variables related the  $\log(\text{GDP per capita})$  with the proximity to the frontier measured by the ratio between the patent applications in biotechnology, besides some variables control. The model's results show that the economies situated close to the technological frontier enhanced the growth rates higher than the economies further away. The rank tests of Kleibergen and Paap (2006) and the Hansen's J test show that the instruments are relevant and the estimates by instrumental variables are more consistent in relation to the fixed effects method. In the composition of the method of random effects, the estimators of error component two-stage least squares (EC2SLS) in Baltagi and Li (2009) showed gains in efficiency compared to conventional generalized two-stage least squares (G2SLS). The results suggest the present methodology for applications in other sectors of the economy.

**KEY-WORDS:** innovation, development, technological frontier.

## **INTRODUÇÃO**

Desde as contribuições de Hayami e Ruttan (1970 ; 1970), Ruttan, Binswanger e Hayami (1980) e Matsuyama (1992), o conceito de desenvolvimento e inovação na agricultura não tem sido o mesmo. O desenvolvimento seja na agricultura ou na indústria depende, em grande parte, do sucesso com que o conhecimento é gerado e aplicado. Contudo, este ‘paradigma do desenvolvimento’, especialmente na agricultura, não é tão fácil de ser analisado, tendo em vista que a tecnologia depende de vários fatores tais como a proteção intelectual, os gastos em P&D inovadora, dos arranjos institucionais e das redes de cooperação em vários estágios da pesquisa, além de outros importantes condicionantes.

Somando a isto, as externalidades da pesquisa, as falhas de mercado, os custos de transação, entre outras violações nos atuais modelos de crescimento neoclássico são desconsiderados a fim de se criar simplificações que muitas vezes não retratam os reais mecanismos de geração da tecnologia (ACEMOGLU, 2009). Ao contrário, estruturas monopolistas com grandes firmas detentoras de competências especializadas na criação do conhecimento apresentam um ponto de partida mais coerente com o atual cenário da inovação não apenas na agricultura, mas em qualquer outro setor (GROSSMAN E HELPMAN, 1991). Assim, as competências inovadoras podem ser observadas na capacidade de produzir tecnologias que venham a ser referência dentro do setor. Para isto, a Revolução da Biotecnologia, conforme Ruttan (1999), vem construindo trajetórias tecnológicas na agricultura tornando ainda mais complexa a relação entre o progresso técnico e o desenvolvimento (NELSON, 1996).

Neste sentido, muitos estudos que amparam o desenvolvimento de novas tecnologias na agricultura têm desconsiderado a importante relação deste cenário com o paradigma schumpeteriano da inovação. Por esta razão, a presente investigação propõe uma adaptação da metodologia vigente de Aghion e Howitt (2009) à problemática das inovações na agricultura. Considerando um ambiente econômico schumpeteriano, provou-se que o crescimento da economia será sustentável se a agricultura mudar da utilização de recursos naturais e com estoque limitado para a criação de novas tecnologias que aumentem a qualidade dos insumos intermediários. Cada setor intermediário produz uma manufatura consumindo um bem agrícola através de uma tecnologia disponível. Os resultados do modelo teórico mostram que a longo prazo grandes incentivos à pesquisa científica e tecnológica devam ser estimulados para promover a mudança de um setor baseado na utilização de recursos naturais para um outro setor paralelo intensivo em P&D inovadora. As conclusões do estudo enfatizam a importância da biotecnologia para alcançar tais resultados.

Para testar as hipóteses do modelo teórico, foi estimada de uma regressão com dados em painel de 46 países produtores de patentes em biotecnologia ao longo de 1990 a 2009. Considerando o potencial grau de endogeneidade entre as variáveis, optou-se pela metodologia de variáveis instrumentais (VI) conforme três importantes métodos: (i) Mínimos Quadrados em 2-Estágios com efeitos fixos – MQ2S/EF; (ii) mínimos quadrados generalizados em 2-estágios (MQG2E) e; (iii) mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro de Baltagi e Li (2009) (MQ2E/CE). Estatísticas de posto, de covariância e validade entre os métodos confirmaram a consistência assintótica de MQ2E/CE em relação a MQG2E. Como resultado, as economias situadas próxima da fronteira administraram um crescimento superior em relação aos países atrasados, rejeitando a hipótese de convergência. O trabalho está divido em 5 partes: (1) o cenário da política biotecnológica no Brasil e no mundo; (2) o modelo teórico; (3) o modelo empírico; (4) a análise dos resultados e em último (5) as conclusões e sugestões para futuras pesquisas. A seguir, tem-se o cenário da biotecnologia.

## 1. CENÁRIO DA BIOTECNOLOGIA

Até 2030, a população mundial tem aumentado significativamente com a maior parte deste crescimento concentrado nas economias em desenvolvimento e subdesenvolvidas. Ao longo deste período, tanto a temperatura global quanto as severas condições climáticas estarão aumentando mais do que o previsto no início do século, criando um cenário de instabilidade na ordem econômica mundial. Muitos centros de referência em produtividade agrícola conviverão com novas perspectivas de dinâmica tecnológica impostas por um tempo cada vez mais imprevisível. Esta nova ordem econômica vem pressionando o setor privado para investir pesadamente na geração de novas tecnologias destinadas a manter o ritmo de crescimento dos mercados. Neste sentido, a Biotecnologia vem fornecendo os meios necessários para aumentar o rendimento na agricultura em condições adversas, como a seca, além de fornecer características de valor agregado atendendo aos requisitos de demanda (como a nutrição melhorada, novos padrões de gosto e a facilidade de preparação e cultivo de diversas culturas) (MURPHY, MOORSEL E CHING, 2007).

A Biotecnologia possui diversas aplicações na agricultura, incluindo (VAN BEUZEKOM E ARUNDEL, 2009):

- (i) Construção de diagnósticos, vacinas e tratamentos para a saúde animal;
- (ii) Impressões digitais de DNA para gerenciamento dos estoques de animais e identificação de variedades específicas de plantas, animais e propagação de plantas;
- (iii) Utilização de seleção assistida por marcadores moleculares, especialidade intra-genética e modificação genética (GM) para desenvolver variedades melhoradas de plantas e animais; e etc.

Em paralelo, a biotecnologia também tem encontrado suporte dentro da indústria, como na produção de massas e especialidades químicas, plásticos, enzimas, biocombustíveis, biorremediação, além da extração de recursos naturais, tais como metais e petróleo. Esta ampla rede de parcerias com diversos setores dentro da economia faz da biotecnologia um referencial de oportunidades tecnológicas a ser explorado, frente às atuais restrições de crescimento (VAN BEUZEKOM E ARUNDEL, 2009).

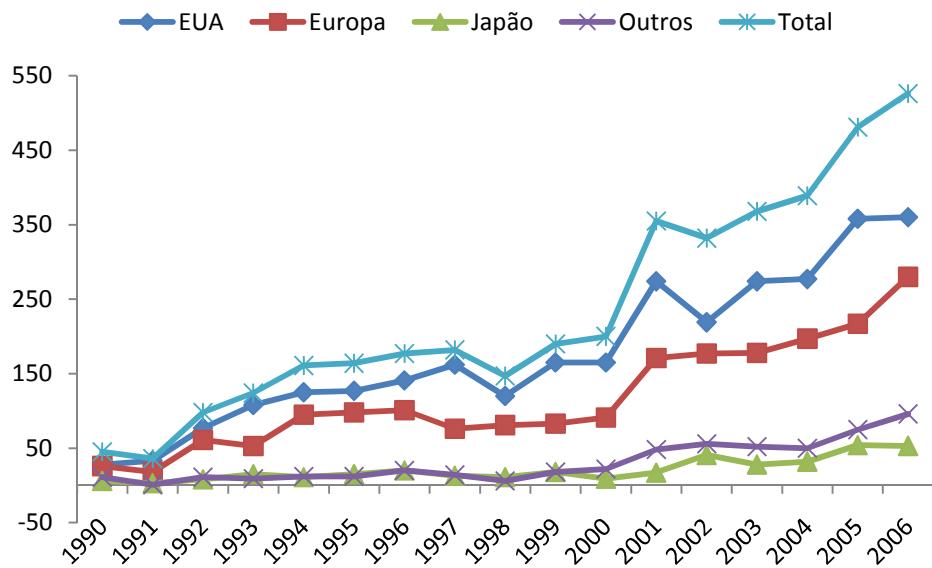
Nos últimos anos, a trajetória tecnológica no campo da biotecnologia tem demandado por esforços imprescindíveis na criação de parcerias e redes de pesquisa. Muitas alianças estratégicas por parte das empresas nacionais e multinacionais vêm convergindo para a transferência de tecnologia ou de pesquisas conjuntas na área da biotecnologia. Tais parcerias resultam de interesses comuns que surgem a partir de publicações ou periódicos em jornais e revistas especializadas, muitas das quais editadas em inglês. Apesar do claro caráter excludente destas parcerias, nos últimos anos, elas têm se intensificado de forma expressiva, dando um grande destaque ao tema<sup>1</sup>.

O Gráfico 1 mostra a evolução destas parcerias ao longo de 1990 a 2006, mostrando a trajetória de mudanças organizacionais, institucionais e tecnológicas a partir da década de 1990:

---

<sup>1</sup>“Whether or not an alliance is made public and subject to a newspaper report will depend on the interests of the partners and the importance of the alliance to readers. Therefore, the UNU-MERIT CATI database is likely to exclude small alliances and those that the partners do not wish to publicly disclose. In addition, the database favours publications in English and consequently alliances from English-speaking countries such as the United States are likely to be over represented.” (VAN BEUZEKOM E ARUNDEL, 2009, p.94)

**GRÁFICO 1** – Número de Alianças Estratégicas em Pesquisas Biotecnológicas entre 1990 a 2006.



Fonte: UNU-MERIT CATI database, 2009.

Nota: A definição de “Outros” corresponde aos países que não compõem a tríade dos grandes centros de pesquisa (EUA, Japão ou qualquer outro país da Europa).

A participação das alianças em relação ao total que envolvia um ou mais parceiros dos EUA atingiu um máximo ao final da década de 1990. Os EUA responderam por 86,1% dos 519 alianças de biotecnologia entre 1997 e 1999, em comparação com 71,3% das 1.396 alianças de biotecnologia entre 2004 e 2006. Entre os períodos de 1997 a 1999 e 2004 a 2006, a participação das alianças que envolviam empresas européias aumentou de 46,2% para 49,7%; ea parcela de alianças envolvendo empresas japonesas aumentou de 8,1% para 10,0%. O maior aumento na participação das alianças é observado para as empresas fora da Tríade. Esta percentagem mais do que dobrou, de 7,3% dototal das alianças entre 1997 e 1999 para 15,8% entre 2004 e 2006 (VAN BEUZEKOM E ARUNDEL, 2009).

Visto a importância da biotecnologia no desenvolvimento da agricultura, entre outros setores estratégicos e correlatos, é preciso destacar que nas próximas décadas os incentivos e gastos em P&D inovadora serão necessários para um crescimento equilibrado nos países com vocações na agricultura ou não. A próxima seção apresenta o cenário brasileiro da política de incentivos para aquisição de competências na biotecnologia aplicada.

### 1.3 A Política de Ciência & Tecnologia no Brasil: Biotecnologia

Ao final da década de 1990, o Brasil dava um importante passo na consolidação de sua trajetória tecnológica: a instituição dos Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia (FSC&T). Os FSC&T “são instrumentos de financiamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no País. Há 16 Fundos Setoriais, sendo 14 relativos a setores específicos e dois transversais. Destes, um é voltado à interação universidade-empresa (FVA – Fundo Verde-Amarelo), enquanto o outro é destinado a apoiar a melhoria da infra-estrutura de ICTs (Infra-estrutura)<sup>2</sup>”.

Conforme destaca Pereira (2005, p.7):

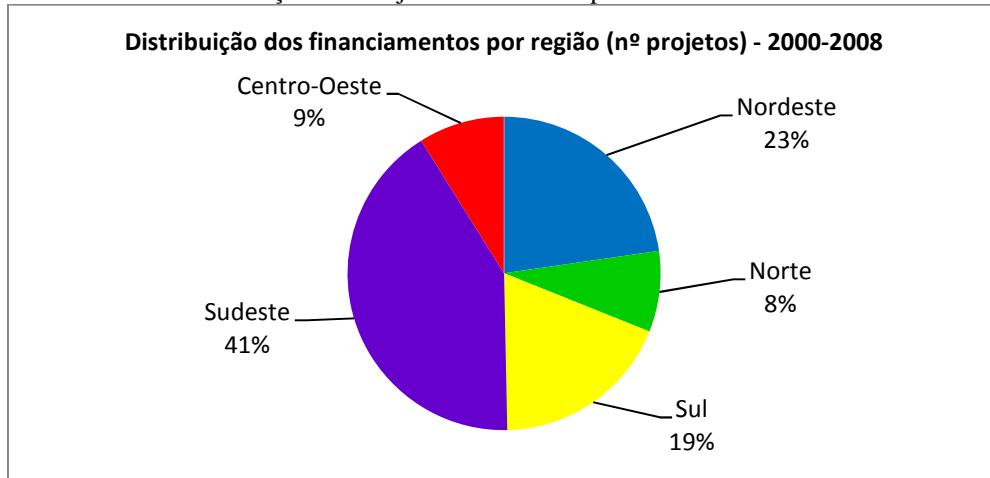
<sup>2</sup> Retirado de [www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais).

*“A instituição dos fundos setoriais (FSSs), a partir de 1999, dá início à implantação de um novo instrumento de política científica e tecnológica no país, que se fundamenta na percepção de que o Sistema Nacional de Inovação não se notabilizara pela constância de fluxos financeiros, não contemplara importantes agentes do processo inovativo, nem alcançara eficiência na gestão das atividades promovidas. Carências essas que não contribuíram para que os investimentos governamentais em ciência e tecnologia se traduzissem em processos e produtos com apelos mercadológicos, em ganhos de competitividade para a indústria e em benefícios para a sociedade brasileira.”*

Não obstante as considerações apontadas, os FSC&T têm o importante papel na redução do ‘desenvolvimento assimétrico’ entre as regiões, podendo contribuir massivamente na criação de competências tecnológicas em toda a extensão do país. O desenho inovador da política prioriza os avanços conforme cada estágio de desenvolvimento entre as regiões. Assim, os investimentos em infraestrutura tecnológica (CT-INFRA) serão alocados para as instituições parceiras de pesquisa que possuem relativa defasagem em sua infraestrutura e nos seus serviços de apoio à pesquisa científica e tecnológica. Outros investimentos mais estratégicos ao país, como o CT-BIOTEC, destinam-se à formação e capacitação de recursos humanos para o setor da biotecnologia.

O Gráfico 2 apresenta a distribuição dos projetos financiados ao longo de 2000 a 2008 por região:

**GRÁFICO 2 –Distribuição dos Projetos Financiados pelo FSC&T.**



Fonte: Parceria MCT/IPEA, 2009.

A evidente concentração dos projetos financiados na Região Sudeste (41%) mostra que os desafios da política no ‘desenvolvimento assimétrico’ ainda são grandes. Entretanto sabe-se que a demanda por tais projetos é maior nesta região em decorrência de uma ampla infra-estrutura instalada o que repercute em uma utilização mais eficiente dos recursos (ROCHA E SILVEIRA, 2009).

No Brasil muitas inovações biológicas, compondo importantes aplicações da biotecnologia, têm desempenhado um importante papel no cenário do desenvolvimento, seja na área de saúde quanto na agricultura. A criação da RENORBIO, uma rede de biotecnologia de ponta no Nordeste através de grandes incentivos e parcerias do Ministério da Ciência e Tecnologia e de políticas centradas do CNPQ, mostram a atualidade deste debate (ROCHA E SILVEIRA, 2009)<sup>3</sup>.

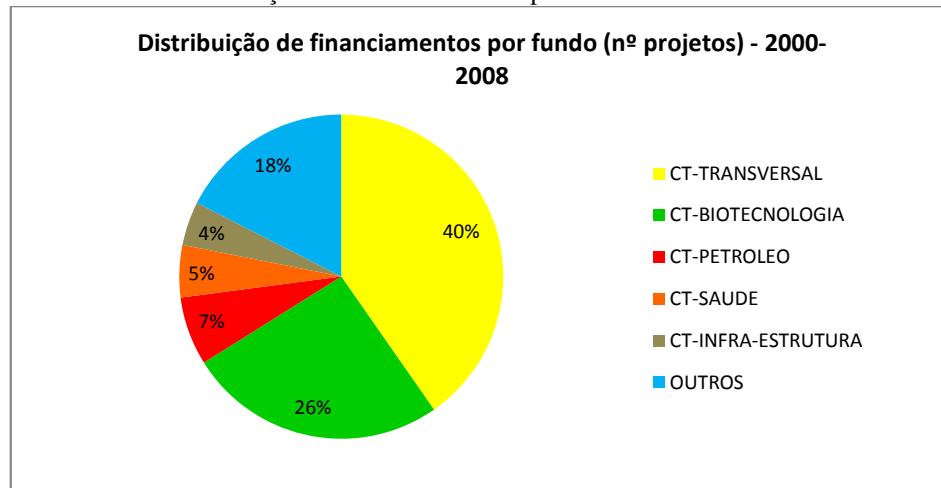
<sup>3</sup> Veja: [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)

Além disto, o Brasil tem sido uma fonte de perspectivas para inovações na biotecnologia voltadas para o uso alternativo de combustíveis. Com as atuais restrições no tocante à matriz energética dos países, os biocombustíveis e a bioenergia a partir da biomassa renovável, vem chamando a atenção de indústrias e centros de pesquisa. O Brasil tem protagonizado um importante papel neste cenário:

*“With the depletion of fossil fuels and global warming related to their consumption, biofuels and bioenergy from renewable biomass become a hot topic in both R&D and industry. As the largest coffee producer and exporter in the world, Brazil has millions of tons of coffee husks as the by-product from coffee processing. Franca et al. have explored the feasibility of ethanol production from coffee husks as agricultural residue in Brazil. The research demonstrated a good potential of ethanol production from coffee husks for biofuels uses.”*(ZHANG, BAI E ZHONG, 2009, p.1313)

O Gráfico 3 mostra a importância da biotecnologia na política de inovação do país, destacando como o fundo CT-BIOTEC como a segunda maior demanda por financiamento, estando atrás apenas do CT-TRANSVERSAL:

**GRÁFICO 2** –Distribuição dos Financiamentos pelo FSC&T.



Fonte: Parceria MCT/IPEA, 2009.

Ao longo de 2000 a 2008, 40% dos projetos a serem financiados estavam vinculados ao fundo CT-TRANSVERSAL. Aproximadamente 26% dos financiamentos foram destinados a projetos vinculados ao CT-BIOTEC. Este compromisso da política nacional de inovação é notório ao se destacar que 78% de todos os projetos financiados no mesmo período estavam distribuídos na categoria de *Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Áreas Estratégicas*. A menor proporção entre as categorias era responsável por apenas 3%, destacando a área de *Ciência, Tecnologia e Inovação para Desenvolvimento Social*. Nas divisões por grandes áreas, tem-se que 42% dos projetos financiados eram destinados às *Ciências Biológicas*. Em segundo lugar, as *Ciências Agrárias* respondiam por aproximadamente 20% dos projetos financiados, seguida de 11% em *Ciências da Saúde* e *Ciências Exatas e da Terra* e 8% as *Engenharias*. Em todas as circunstâncias, é percebido um destaque ‘cirúrgico’ da política destinada à acumulação de competências voltadas à inovação na agricultura (PARCERIA MCT/IPEA, 2009).

Para melhor exemplificar esta relação entre inovação na agricultura e desenvolvimento, a seguir será apresentado o modelo teórico de uma economia schumpeteriana, cujas inovações e a política de estímulo consistem em um dos principais ingredientes para a construção de trajetórias tecnológicas em setores estratégicos.

## 2. MODELO TEÓRICO

Admitindo que, numa dada economia, os recursos naturais “r” sejam usados na atividade agrícola, a função de produção pode ser representada conforme a equação (1). Os agentes possuem preferências risco-neutras e vivem apenas para maximizar seu consumo. O tempo é discreto ( $t = 1, 2, 3, \dots, T$ ) e os insumos intermediários contínuos entre  $[0, M]$ , que por simplicidade, assumiremos  $M=1$ :

$$Y_t = \int_0^1 A_{it}^{1-\alpha} x_{it}^\alpha r_{it}^\delta di \quad \therefore \alpha \in (0,1); \delta \geq 0 \quad (1)$$

O estado-da-arte é mensurado por “A” que corresponde à qualidade do insumo manufaturado “x”. Cada insumo manufaturado é produzido utilizando uma tecnologia um-por-um (*one-for-one technology*) consumindo uma unidade de um bem agrícola “B” por meio do parâmetro tecnológico “A”. Os bens agrícolas são produzidos utilizando como insumo fundamental e principal os recursos naturais “r”. Estes recursos englobam desde a disponibilidade de terras férteis às condições climáticas (fatores naturais) e biológicas das culturas. Para todo elemento natural que pertence ao conjunto de recursos naturais  $r \in R$  implica numa commodity  $b \in B$  produzida por meio de um processo natural  $\Omega$  tal que:

$$\begin{aligned} \Omega : R &\rightarrow B : \forall r \in R \Rightarrow b \in B \\ A : B &\rightarrow X : \forall b \in B \Rightarrow x \in X \end{aligned} \quad (2)$$

Os insumos intermediários “x” são medidos em valor de transformação industrial, de forma que este valor não está relacionado com a produção agrícola ou com a utilização dos recursos naturais. Desta forma, o PIB da economia é medido pela produção final menos o adicionado na manufatura. Logo, integrando todos os setores:

$$PIB_t = Y_t - \int_0^1 x_{it} di \quad (3)$$

Os recursos naturais estão limitados a um estoque final que cada economia ou país possui. Neste sentido, nenhuma economia pode ultrapassar o consumo dos recursos naturais aos quais estão restritos. A taxa de crescimento na utilização dos recursos naturais é dada da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{r}}{r} &= \psi \frac{\dot{R}}{R} : \frac{\dot{R}}{R} = (r - \bar{R}) \leq 0 : \forall r \in (0, \bar{R}) \\ r &\leq \bar{R}; \psi > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

A equação (4) mostra que a taxa de decrescimento da utilização dos recursos naturais é maior quando a utilização é baixa por que neste nível a disponibilidade de recursos é consideravelmente maior. À medida a utilização vai se aproximando do limite do estoque, cada unidade adicional de recurso natural usado na produção agrícola vai se tornando cada vez mais escasso, o que reduz a distância entre o consumo corrente e o seu limite, assim como a taxa de decrescimento. O setor de bem final e agrícola são competitivos, entretanto o setor de insumo manufaturado intermediário é monopolizado pela firma inovadora que desfruta dos lucros por cada período quando inova e acerta com a inovação. Sendo assim o preço de cada insumo é dado pela sua demanda:

$$p_{it} = \frac{\partial Y_t}{\partial x_{it}} = \alpha A_{it}^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha-1} r_{it}^\delta = \alpha \left( \frac{A_{it}}{x_{it}} \right)^{1-\alpha} r_{it}^\delta \quad (5)$$

A firma monopolista busca maximizar seus lucros conforme a produção dos seus insumos manufaturados:

$$\Pi_{it} = \max_{x \in X} \{ p_{it} x_{it} - x_{it} \} \quad (6)$$

$$x_{it} = \arg \max \{ p_{it} x_{it} - x_{it} \} \equiv \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} r_{it}^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_{it} \quad (7)$$

Substituindo na equação (3) temos o produto interno bruto da economia:

$$Y_t = \int_0^1 A_{it}^{1-\alpha} \left[ \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} r_{it}^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_{it} \right]^\alpha r_{it}^\delta di \quad (8)$$

$$Y_t = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t \quad (9)$$

$$PIB_t = Y_t - \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} (\alpha^{-2} - 1) r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t \quad (10)$$

A equação (10) mostra como o PIB de uma economia é acumulado ao longo do tempo, considerando as equações de equilíbrio (5) e (7). A seguir a equação de crescimento é dada por:

$$\frac{\dot{PIB}}{PIB} = \frac{\dot{A}}{A} + \left( \frac{\delta}{1-\alpha} \right) \frac{\dot{R}}{R} \therefore g_Y = g_A + \left( \frac{\delta}{1-\alpha} \right) g_R \quad (11)$$

A equação acima revela que a taxa de crescimento do PIB numa economia é composta por dois fatores de crescimento, o aumento na utilização dos recursos naturais voltados à agricultura e o componente do progresso tecnológico.

O progresso tecnológico surge com a probabilidade de sucesso das inovações multiplicada pelo tamanho incremental das inovações. Admitindo como a variação percentual do parâmetro tecnológico, o estado-da-arte pode avançar no período seguinte ou não conforme:

$$A_{it} = \begin{cases} \gamma A_{it-1}, \Phi n_{it} & \because \gamma > 1 \\ A_{it-1}, 1 - \Phi n_{it} & \end{cases} \quad (12)$$

A equação (12) mostra que o sucesso da inovação  $\gamma$  depende dos gastos em pesquisa em razão ao nível tecnológico quando a inovação ocorre  $\frac{N_{it}}{\gamma A_{it-1}} \equiv n_{it} \in (0,1)$ . O parâmetro  $\Phi$  corresponde à produtividade da pesquisa e admite-se ser suficientemente pequena para garantir o nível de probabilidade.

Agora o entendimento centra-se na definição da intensidade dos gastos em pesquisa  $n_{it}$ . Conforme Aghion e Howitt (2009) quanto maior o número de setores que inovam maior a freqüência e a taxa de progresso tecnológico. Outros autores como Dosi, Marengo e Pasquali (2006), destacam as oportunidades como o grau com que a inovação é motivada pelos agentes na economia e, portanto, constituem o incentivo básico para a inovação. Entretanto outros fatores são importantes para garantir as inovações e a alocação dos gastos em pesquisa, são eles, as condições de apropriabilidade e de cumulatividade tecnológica. O primeiro diz respeito o alcance com que as firmas podem se apropriar dos benefícios econômicos das inovações. Este coeficiente depende presumivelmente de dois fatores; das políticas de proteção às inovações (destacando a proteção à propriedade intelectual) e das assimetrias tecnológicas. As assimetrias representam o padrão de cumulatividade tecnológica que corresponde o grau com que as gerações do novo conhecimento são construídas sobre o conhecimento corrente (MALERBA, 2004).

Desta forma, os gastos em pesquisa são definidos pela fração de setores que inovam, a oportunidade esperada das inovações e a própria política de proteção à inovação, ou seja:

$$n_{it} = \mu \pi_{\gamma t+1}^e + (1-\mu)(1-\rho) \pi_{\eta t+1}^e \therefore \pi_{\gamma t+1}^e > \pi_{\eta t+1}^e \quad (13)$$

As variáveis  $\mu, \pi_{\gamma t+1}^e, \rho, \pi_{\eta t+1}^e$  correspondem, respectivamente, à proporção dos setores que inovam, o lucros esperados das inovações, a política de proteção à propriedade privada e aos lucros esperados das práticas de imitação. Lembrando que os retornos das inovações são sempre superiores ao das imitações.

Agora a equação do crescimento da produtividade pode ser representada da seguinte forma:

$$\frac{\dot{A}}{A} = g_A = E(\gamma - 1) = (\gamma - 1)\Phi n \quad (14)$$

Com base no conhecimento da equação de progresso tecnológico, a equação do crescimento (11) pode ser modificada:

$$g_Y = (\gamma - 1)\Phi n + \left( \frac{\delta}{1 - \alpha} \right) [\psi(r - \bar{R})] \quad (15)$$

O componente das inovações  $(\gamma - 1)\Phi n$  é positivo, entretanto o componente dos recursos naturais  $[\psi(r - \bar{R})]$  é negativo. À medida que a economia vai explorando mais a agricultura, apenas pelo consumo exagerado dos recursos naturais, a taxa de crescimento vai-se reduzindo devido ao esgotamento do insumo. Desta forma, o crescimento da economia será sustentável se:

$$\begin{aligned} g_Y > 0 &\Rightarrow (\gamma - 1)\Phi n + \left( \frac{\delta}{1 - \alpha} \right) [\psi(r - \bar{R})] > 0 \\ &\Rightarrow (\gamma - 1)\Phi n > -\left( \frac{\delta}{1 - \alpha} \right) [\psi(r - \bar{R})] \end{aligned} \quad (16)$$

O lado direito da inequação (16) mostra a taxa de decrescimento do estoque de recursos naturais, que juntamente com o sinal negativo, passa a ser positiva. O lado esquerdo mostra a taxa de crescimento das inovações que implicitamente é positiva.

$$n > \frac{-\left( \frac{\delta}{1 - \alpha} \right) [\psi(r - \bar{R})]}{(\gamma - 1)\Phi} \leq 1 \quad (17)$$

Quanto maior o tamanho da inovação maior os incentivos na pesquisa, devido ao maior o retorno econômico das futuras descobertas. Entretanto, para os gastos serem equilibrados, o número de setores que inovam devam ser maiores. Além disso, os retornos devam estar protegidos, o que eleva o custo de oportunidade das atividades imitadoras. Isto destaca a importância de setores como a biotecnologia para contrapor com a escassez dos recursos naturais.

### 3. MODELO EMPÍRICO

#### 3.1 Fonte dos Dados e Operacionalização das Variáveis

Na maioria dos estudos de crescimento, um dos maiores problemas no processo de estimação consiste na definição da amostra a ser utilizado para testar as hipóteses do modelo empírico. Um conjunto de dados que represente de forma fidedigna a relação entre as variáveis consiste em um exercício delicado, mesmo para os econometristas mais experientes (HSIAO, 2003). Para testar o modelo empírico adotou-se uma amostra de 46 países ao longo de 1990 a 2009<sup>4</sup>. Este número específico de países foi selecionado devido à limitação de algumas economias na geração de patentes em biotecnologia. Além disto, o modelo empírico será construído relacionando uma variável dependente com uma série de regressores defasados, visando captar a influência causal e dinâmica das inovações na agricultura sob o

---

<sup>4</sup> Para Ruttan (1999) foi ao final da década de 1980 e início da década de 1990 que ficou marcada pela revolução da biotecnologia.

crescimento<sup>5</sup>. Nestes modelos, a consistência dos estimadores depende da observação dos dados na data inicial e ao longo do horizonte de tempo (WOOLDRIDGE, 2002). A inclusão de países sem as ‘competências inovadoras na agricultura’ pode levar a conclusões equivocadas nas relações das variáveis devido a não-observação dos dados para algumas economias. Assim, pretende-se destacar que o dinamismo específico de algumas inovações depende, presumivelmente, da existência deste controle.

Para testar os impactos das inovações na agricultura, sabe-se que a biotecnologia tem exercido uma importante função nesta dinâmica (SILVEIRA, FUTINO E OLALDE, 2002). Entretanto, sabe-se que as competências tecnológicas, especificamente nos bionegócios, são bastante sensíveis aos incentivos de P&D inovadora, o que levanta um importante debate sobre o papel da legislação de propriedade intelectual no dinamismo tecnológico deste ramo e, consequentemente, na agricultura (BELL E PAVITT, 1993). Ademais, especialmente a partir da década de 1990 é que a agricultura vem sofrendo profundas mudanças de natureza tecnológica, organizacional e institucional (BATALHA *et al.*, 2004). Para medir o grau das inovações na agricultura, optou-se pelo o número de patentes em biotecnologia. Em muitos estudos<sup>6</sup>, as patentes têm apresentado um importante subsídio nestas análises por captar, entre outras informações relevantes, como a tecnologia surge em muitas economias, ao contrário da vertente solowniana<sup>7</sup> de progresso tecnológico exógeno.

As outras variáveis utilizadas neste estudo consistiram no PIB *per capita*, nas exportações de produtos agrícolas, nas exportações de produtos manufaturados com alta tecnologia e o no valor adicionado por trabalhador na agricultura. As informações relativas ao PIB *per capita* e as séries de investimento foram extraídas da base de dados agregados da Universidade da Pensilvânia<sup>8</sup>. Estes dados são bastante populares nos estudos de crescimento devido a elevada confiança das informações.

Com relação aos dados de patentes, adotou-se por dois importantes conjuntos. O primeiro correspondeu às informações sobre patentes em biotecnologia<sup>9</sup> de inventores nos países de residência com pedidos de registro no Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes – ***Patent Cooperation Treaty*** (PCT)<sup>10</sup>. Este acordo viabiliza o processo de patenteamento de uma determinada invenção por registrar, simultaneamente, em 137 países aderidos ao acordo internacional (INPI, 2011). Outra base de patentes adotada neste estudo consistiu no número de pedidos de registro na Organização Européia de Patentes – ***European Patent Organisation*** (EPO). Utilizaram-se os dois escritórios para evitar muitas distorções de “erro de mensuração” nos regressores do modelo econométrico.

---

<sup>5</sup> Além disto, cabe-se destacar que os resultados de muitas pesquisas não surgem imediatamente no tempo. Ao contrário, muitos investimentos em P&D inovadora levam um tempo relativo para gerar algum resultado econômico. Por esta e entre outras razões, o presente modelo consistirá na relação entre variáveis correntes e defasadas no tempo.

<sup>6</sup> Aghion e Howitt (1998 ; 2009).

<sup>7</sup> Solow (1956 ; 1957).

<sup>8</sup> HESTON, A.; SUMMERS, R.; ATEN, B. (2011) “*Penn World Tables Version 7.0*”, Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania.

<sup>9</sup> As patentes em biotecnologia são definidas pelos seguintes códigos IPC: A01H1/00, A01H4/00, A61K38/00, A61K39/00, A61K48/00, C02F3/34, C07G(11/00,13/00,15/00), C07K(4/00,14/00,16/00,17/00,19/00), C12M, C12N, C12P, C12Q, C12S, G01N27/327, G01N33/(53\*,54\*,55\*,57\*,68,74,76,78,88,92)]. Para maiores detalhes sobre os códigos IPC, 8<sup>a</sup> edição, veja [<http://www.wipo.int/classifications/ ipc/ ipc8/? lang=em>].

<sup>10</sup> “*The PCT offers applicants the possibility to seek patent rights in a large number of countries by filing a single international application with a single patent office (receiving office). Applicants have an additional 18 months to decide whether to seek a national or regional patent e.g. at the European Patent Office (EPO) and if they so wish, they must do so within 30 months of the priority date (date of the first filing of the patent worldwide). Data on the number of PCT patent applications are more internationally comparable because they avoid home country advantages and cover inventions that are potentially worth patenting in more than one country*” (VAN BEUZEKOM E ARUNDEL, 2009).

As informações relativas à Agricultura foram obtidas disponibilizadas pelo Banco Mundial – *Indicadores de Desenvolvimento Mundial (WDI DATABASE)*: (i) exportações de produtos com alta tecnologia (como % percentual das exportações de todos os produtos manufaturados) e o; (ii) indicador de produtividade da Agricultura, mensurado pela razão do valor adicionado por trabalhador. As informações sobre exportações da Agricultura foram obtidos no site da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAOSTAT-TRADE).

Para captar os efeitos dos estágios de desenvolvimento na agricultura, adotou-se pela metodologia de ‘proximidade com a fronteira tecnológica’. Esta metodologia ganhou grande destaque na literatura do crescimento endógeno a partir das contribuições de Aghion e Howitt (1992). O índice de proximidade com a fronteira foi definido pela razão do indicador de produtividade agrícola de cada país em relação ao supremo da amostra (produtividade dos EUA) em cada ano. Foi construído o mesmo indicador adotando a razão entre as patentes de biotecnologia com o país de maior produção, visando captar o “grau de distância com relação à fronteira das patentes”. A seguir, será apresentado o modelo econométrico do estudo e segundo as metodologias de estimação.

### 3.2 Modelo Econométrico

O modelo empírico estimado consistiu em uma regressão com dados em painel. A maior vantagem nos modelos de regressão com dados em painel pode ser descrita pelo aumento das observações, elevando os graus de liberdade, reduzindo imperfeições na amostra como a multicolinearidade entre as variáveis e melhorando a eficiência assintótica das estimativas econométricas (HSIAO, 2003). A regressão estimada foi:

$$y_{it} = \alpha I_{it} + \gamma X_{it}^{Agr} + \mathbf{W}'_{it-1} \beta + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (\text{ME.1})$$

Conforme a equação, as variáveis  $y_{it}$ ,  $I_{it}$ ,  $X_{it}^{Agr}$  correspondem, respectivamente, ao logaritmo do PIB *per capita*, à intensidade dos investimentos no PIB e ao logaritmo do valor das exportações agrícolas do país  $i$  no tempo  $t$ . O vetor  $\mathbf{W}'_{it-1}$  corresponde ao conjunto de variáveis endógenas representado pelo indicador de proximidade com a fronteira ( $a_{it-1}^{EUA} \equiv A_{it-1}/A_{it-1}^{EUA}$  – onde  $A$  mede a produtividade agrícola), proximidade com a fronteira de patentes ( $P_{it-1}/P_{it-1}^{\text{MÁX-epo}}$  e  $P_{it-1}/P_{it-1}^{\text{MÁX-pct}}$  – onde  $P$  corresponde ao número de patentes registradas em cada escritório) e a intensidade das exportações de produtos com alta tecnologia ( $X_{it}^{HIGH-TECH}$ )<sup>11</sup>. Em adição,  $\mu_i$  corresponde o conjunto de efeitos fixos representados pelas características ou fatores de heterogeneidade observável em cada país, sendo necessário o seu controle no processo de estimação. Analogamente  $\delta_t$  representa aos efeitos de tempo que capturam choques comuns aos países, mas de natureza aleatória. Por último, o termo do erro  $\varepsilon_{it}$  corresponde a todos os outros fatores que não estão controlados no modelo, satisfazendo  $E(\varepsilon_{it}) = 0$  para todo  $i$  e  $t$ .

A equação acima pode ser estimada por meio da abordagem tradicional de mínimos quadrados ordinários com dados agrupados – MQO *Pooled*. Esta metodologia exclui os efeitos fixos de país e tempo no processo de estimação. Entretanto, caso o modelo verdadeiro inclua os efeitos fixos, a omissão pode levar a um sério erro de especificação, de forma que a covariância entre os regressores e a perturbação estocástica pode ser estatisticamente diferente de zero<sup>12</sup>. Caso isto seja comprovado, as estimativas tradicionais de MQO se tornarão

<sup>11</sup> Ver o apêndice para uma apresentação mais analítica das variáveis, suas definições e as referências citadas em outros estudos de natureza correlata. Também será apresentada a amostra dos países que compõe o estudo.

<sup>12</sup>I.e., a covariância pode ser medida da seguinte forma:  $\text{Cov}(\mathbf{w}'_{it-1}, \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}) \neq 0$  para algum  $j$ . *A priori*, admitiremos que  $\text{Cov}(I_{it}, \varepsilon_{it}) = 0$  e  $\text{Cov}(X_{it}^{Agr}, \varepsilon_{it}) = 0$ . Isto porque estamos especificando que apenas as

viesadas e inconsistentes. Para resolver este problema, admitir-se-á a estimação correta que inclua os efeitos fixos. Contudo, o estimador de efeitos fixos será consistente se, e somente se,  $Cov(\mathbf{w}_{it-1}^j, \varepsilon_{it}) = 0$  para algum  $j$ .

Ao contrário desta restrição, sabe-se que a criação das patentes depende de diversos fatores, tais como os arranjos institucionais de proteção à propriedade intelectual, dos gastos em P&D inovadora, dos níveis de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade tecnológica (DOSI E NELSON, 2009). Além destes fatores, forças de natureza geopolítica exercem uma forte influência nas decisões empresariais, fazendo com que os gastos em P&D inovadora dependam de trajetórias institucionais e tecnológicas fora do alcance das análises econométricas (NELSON E WINTER, 1982). Todas estas influências aumentam o potencial dos regressores serem correlacionados com a perturbação estocástica, levantando a necessidade de uma metodologia alternativa que incorpore na análise os “malefícios estatísticos” da endogeneidade.

Para resolver este problema, o método de estimação por variáveis instrumentais (VI) adquire uma importância significativa na solução. Contudo, este recurso não é tão simples quanto se pareça. Para evitar outros transtornos estatísticos, precisamos definir um conjunto de instrumentos que satisfaçam os seguintes critérios: (i) serem fortemente correlacionados com as variáveis endógenas e; (ii) ao mesmo tempo serem ortogonais à perturbação estocástica. Caso contrário, o estimador de variáveis instrumentais pode não ser tão confiável em relação ao MQO (HAYASHI, 2000).

Para garantir a consistência do estimador, faz-se necessário, paralelamente, as seguintes estatísticas de teste: (a) o teste J de Hansen (1982); (b) o teste de posto de Kleibergen e Paap (2006) e; (c) o teste de endogeneidade de (Durbin-Wu-) Hausman.

Ainda em questão, existem dois importantes métodos de estimação por variáveis instrumentais em um modelo com dados em painel: (1) método dos mínimos quadrados em 2-estágios com efeitos fixos (VI/MQ2E-EF) e; (2) método dos mínimos quadrados em 2-estágios com efeitos aleatórios (VI/MQ2E-EA). O primeiro método é bastante conhecido na literatura. Este último se divide em dois métodos distintos, mas que serão abordados na seção seguinte.

### 3.3 Variáveis Instrumentais

A metodologia de estimação com variáveis instrumentais tem apresentado um importante amparo nas soluções de problemas cujas variáveis independentes venham a violar o pressuposto de ortogonalidade com a perturbação estocástica. Entretanto, sabe-se que a consistência deste estimador depende da exogeneidade dos instrumentos e da sua forte correlação com os regressores endógenos. Assim:

$$\mathbf{y} = \mathbf{x}\beta + \varepsilon \quad (\text{VI.1})$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\pi + \vartheta \quad (\text{VI.2})$$

O estimador de variáveis instrumentais de  $\hat{\beta}_{VI}$  é definido da seguinte maneira:

$$\hat{\beta}_{VI} = (\mathbf{x}'\mathbf{P}_z\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'\mathbf{P}_z\mathbf{y},$$

onde  $\mathbf{P}_z = \mathbf{Z}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}'$  é definida como a matriz de projeção de  $\mathbf{Z}$ . Isto é numericamente equivalente em estimar VI.1 e VI.2 por mínimos quadrados em 2-estágios, onde no primeiro estágio serão estimados por MQO em VI.2 e utilizados os valores previstos de  $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Z}\hat{\pi}$  em

---

variáveis definidas em  $\mathbf{W}'_{it-1}$  sejam endógenas. Caso contrário, testes de exogeneidade confirmaram que pelo menos um dos instrumentos (incluídos e excluídos) terá covariância estatisticamente diferente de zero com o termo do erro. Isto inclui  $I_{it}$ ,  $X_{it}^{Agr}$  como instrumentos, logo, o teste irá confirmar ou não a ortogonalidade com a perturbação estocástica. Se confirmada, uma ou as duas variáveis serão também endógenas ratificando um sério erro de especificação.

substituição de  $\mathbf{x}$  no segundo estágio de estimação de VI.1. Este processo produzirá estimativas consistentes de  $\hat{\beta}_{VI}$  se, e somente se  $Cov(\mathbf{z}_{it}^j, \varepsilon_{it}) = 0$  e a correlação entre  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{Z}$  forem suficientemente elevada, medido pelo  $R_{\mathbf{x}, \mathbf{z}}^2$  em VI.2. Isto pode ser facilmente demonstrado por<sup>13</sup>:

$$\text{plim} \hat{\beta}_{VI} = \beta + \frac{\sigma_{\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Z}\hat{\pi}, \varepsilon}}{\sigma_x^2}; \text{plim} \hat{\beta}_{MQO} = \beta + \frac{\sigma_{\mathbf{x}, \varepsilon}}{\sigma_x^2}$$

Primeiramente, sabemos que  $\sigma_x^2 \neq 0$  e  $\sigma_{\mathbf{x}, \varepsilon} \neq 0$ , o que tornam as estimativas de  $\hat{\beta}_{MQO}$  inconsistentes. Em segundo, temos que  $\sigma_{\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Z}\hat{\pi}, \varepsilon}$  pode ou não ser diferente de zero. Por esta razão, a estatística  $J$  de Hansen terá grande importância na análise. E em terceiro, é preciso que os instrumentos sejam muito correlacionados com as variáveis endógenas, pois caso contrário, serão captadas poucas informações de  $\mathbf{x}$  em relação a  $\mathbf{Z}$ , medidas pelas dispersões em torno da média. De outra forma, podemos ver isto da seguinte maneira:

$$\frac{\text{plim} \hat{\beta}_{VI} - \beta}{\text{plim} \hat{\beta}_{MQO} - \beta} = \frac{\sigma_{\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Z}\hat{\pi}, \varepsilon} / \sigma_{\mathbf{x}, \varepsilon}}{R_{\mathbf{x}, \mathbf{z}}^2}$$

Caso, a correlação entre as variáveis endógenas e seus instrumentos seja baixa, isto agravará muitos problemas em decorrência de alguma correlação entre os instrumentos e a perturbação estocástica. Ou seja, poucas informações extraídas de  $\mathbf{x}$  por intermédio de  $\mathbf{Z}$  tornará o estimador de  $\hat{\beta}_{VI}$  inconsistente, uma vez que pequenas variações na correlação entre os instrumentos e a perturbação estocástica  $\sigma_{\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Z}\hat{\pi}, \varepsilon} \neq 0$  produzirão grandes distorções assintóticas entre  $\hat{\beta}_{VI}$  e o seu verdadeiro parâmetro  $\beta$ . Para testar este ‘remoto’, mas possível problema a estatística de posto de Kleibergen e Paap (2006) terá a sua importância. Isto porque a estatística padrão testa a hipótese nula de que o determinante  $\det(\Omega_{xz}) = 0$ , onde:

$$\Omega_{xz} = \begin{bmatrix} 1 & E(z_i) \\ E(x_i) & E(x_i z_i) \end{bmatrix} \therefore \det(\Omega_{xz}) \neq 0$$

Se o determinante de  $\Omega_{xz}$  for estatisticamente igual a zero, isto implica que a covariância entre os regressores endógenos e os seus instrumentos também serão zero. Assim pouca informação será extraída no processo de estimação entre  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{Z}$ , tornando as estimativas de variáveis instrumentais tão inconsistentes quanto MQO. A diferença em adotar a estatística de Kleibergen e Paap (2006) ao invés de Anderson (1951) é que, no primeiro caso, o multiplicador lagrangiano de Kleibergen-Paap é robusto quanto à heterocedasticidade e autocorrelação serial, ao contrário do segundo teste. Para evitar conclusões equivocadas nas estatísticas de teste, o erro-padrão das estimativas foi recalculado dando robustez quanto às referidas violações de pressuposto estatístico. Na existência dessas violações, a consistência da análise ficaria comprometida (DAVIDSON E MACKINNON, 2004). Os instrumentos utilizados nas especificações do teste consistiram nos regressores endógenos defasados no segundo tempo ( $t-2$ ).

### 3.3.1 Efeitos Fixos versus Aleatórios

Adotando a metodologia com dados em painel, sabe-se que o método de VI pode ser estimado incorporando ao componente de controle da amostra (efeitos fixos de países e tempo), a possibilidade estatística de correlação ou não com os regressores. Visto de outra forma, os efeitos fixos servem para controlar características individuais e de tempo que venham a repercutir em algum grau de endogeneidade nos regressores por falta de informações em decorrência de potenciais ‘erros de medição’. Assim, tais informações, caso desconsideradas na estimação, podem tornar o viés das estimativas persistente, produzindo

<sup>13</sup> Para o detalhamento neste capítulo, veja Bound, Jaeger e Baker (1995).

aos estimadores de VI alguma inconsistência assintótica. Este viés pode ser grande ou pequeno, dependendo da magnitude com que os regressores endógenos venham a se correlacionar com tais informações. Para resolver esse problema, a metodologia tradicional de painel incorpora os controles (países e tempo) considerando alguma correlação possível entre os efeitos e as variáveis ao longo do processo de estimação. Caso a correlação seja significativa, os métodos denominados de ‘Efeitos Fixos’ corrigem a correlação produzindo estimativas consistentes. Caso contrário, tanto os Métodos de Efeitos Fixos quanto Aleatórios produzirão estimativas consistentes dos parâmetros.

Entretanto, na existência da correlação entre controles e regressores, o estimador de efeitos aleatórios tende a gerar estimativas viesadas e inconsistentes (CAMERON E TRIVEDI, 2005). Para testar esta possibilidade, o teste de Hausman é o mais recomendável, além de estar disponível na maioria dos pacotes estatísticos. Uma vez que o teste confirma a não rejeição da hipótese nula de correlação entre os efeitos fixos e regressores, as diferenças entre os parâmetros estimados por efeitos fixos e aleatórios não são sistemáticas, de forma que ambos os métodos apresentam resultados consistentes. Caso contrário, a rejeição da hipótese nula sinalizará que os métodos apresentam resultados com diferenças significativas entre os parâmetros, revelando que o método de efeitos fixos é o mais adequado<sup>14</sup>.

A tabela 1 apresenta de forma sucinta a consistência das estimativas conforme cada método de estimação:

**TABELA 1** - Consistência das estimativas segundo a metodologia adotada na estimação.

Estimador de $\beta$	Modelo Real Considerado	
	MQ2S/EA	MQ2S/EF
	Equação ME.1	Equação ME.1
Mínimos Quadrados em 2-Estágios com efeitos fixos – MQ2S/EF	Consistente	Consistente
Mínimos Quadrados em 2-Estágios com efeitos aleatórios – MQ2S/EA	Consistente	Inconsistente

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez que não se rejeita a hipótese nula, os regressores não estão correlacionados com os efeitos de controle, conforme a Tabela 1, o método de efeitos aleatórios apresenta estimadores com propriedades de consistência assintótica. Dentro do método de efeitos aleatórios existem duas importantes classes: (1) mínimos quadrados generalizados em 2-estágios (MQG2E)<sup>15</sup> e; (2) mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (MQ2E/CE)<sup>16</sup>.

A principal diferença entre as duas metodologias reside na composição do erro, onde o método de MQG2E tende a apresentar uma perda significativa de eficiência, em relação ao MQ2E/CE, para amostras finitas<sup>17</sup>. Desta forma, as estatísticas de Hausman tendem a apresentar um sério viés na rejeição da hipótese nula, indicando que as estimativas de

<sup>14</sup> Isto ocorre porque o teste confirma o potencial de correlação dos efeitos fixos com os regressores. A rejeição da hipótese nula sugere indícios significativos de correlação, implicando que o método de efeitos fixos seja mais coerente na estimação.

<sup>15</sup> Esta metodologia denominada de “generalized two-stage least squares (G2SLS)” segue o tratamento em Balestra e Varadharajan-Krishnakumar (1987).

<sup>16</sup> Em inglês, esta metodologia é chamada de “error component two-stage least squares (EC2SLS)” derivado em Baltagi (1981) para dados de corte-transversal e retomado em Baltagi e Liu (2009) para dados em painel.

<sup>17</sup> Para demonstrações rigorosas, veja: Baltagi (2008), Baltagi e Li (2009) e Rocha (2011).

MQG2E sejam inconsistentes. A grande vantagem da metodologia MQ2E/CE em detrimento ao MQG2E consiste na diferença entre as variâncias assintóticas que é representada por uma matriz semi-definida positiva. Assim, quando a amostra tende para o infinito, esta diferença tende para zero deduzindo que as diferenças desaparecem entre as metodologias. Contudo, quando a amostra for finita ou relativamente pequena, esta matriz sinaliza para ganhos consideráveis de eficiência ao estimador de MQ2E/CE. Visto de outra forma, este importante detalhe mostra que o problema da endogeneidade pode ser atribuído às relações entre as variáveis ao invés da pura decorrência de correlação entre regressores e efeitos fixos (BALTAGI, 2008). A seguir, serão apresentados os resultados do modelo seguido das conclusões e sugestões para futuras pesquisas sobre o tema.

#### **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A Tabela 2 apresenta os resultados das estimativas conforme cada método especificado na seção anterior.

Na coluna (1), temos as estimativas de mínimos quadrados em 2-estágios com efeitos fixos. Com exceção do parâmetro  $(a^{EUA})_{it-1}$ , as demais variáveis apresentaram estimativas significativas (todas a 1%). As variáveis também mostraram sinais esperados coerentes com a literatura. Os níveis de investimento têm impacto positivo no crescimento do PIB *per capita*. O aumento de 1% na intensidade dos investimentos no PIB contribui aproximadamente em 0,04% no crescimento do PIB *per capita*. Este resultado não diverge de alguns estudos (BARRO, 2003). O parâmetro da variável  $X^{Agr}_{it}$  representa a elasticidade em relação ao PIB *per capita*. Esta relação é positiva, de forma que o aumento de 1% no valor das exportações agrícolas aumenta o PIB *per capita* em aproximadamente 1,5%. Isto revela que os países produtores de patentes em biotecnologia apresentam uma relativa sensibilidade das suas exportações agrícolas no crescimento da economia. Com relação à fronteira tecnológica das patentes, as economias com 70% de proximidade com a fronteira estão crescendo, em média, 1,87% - *coeteris paribus* (parâmetro significativo a 1%). As economias menos expressivas com uma proximidade de 10 a 20%, estão crescendo de 0,27 a 0,54%. Este fato mostra que à medida em que as economias vão se aproximando da fronteira a taxa de crescimento vai aumentando, rejeitando a hipótese de convergência. Tais fatos também são destacados pela literatura (AGHION, ALESINA E TREBBI, 2008).

A mesma interpretação é vista no parâmetro de proximidade com a fronteira da produtividade (ainda que não significativo), expressa pela estimativa da variável  $(a^{EUA})_{it-1}$ . Entretanto, a magnitude do parâmetro é bem inferior ao se comparar com a fronteira das patentes. Isto ocorre devido os registros de patentes incorporarem os resultados diretos das atividades de inovação (GROSSMAN E HELPMAN, 1991). Assim, os impactos das atividades inovadoras têm um efeito diferenciado conforme as economias movem nos estágios de desenvolvimento (AGHION E HOWITT, 2009). Com relação à intensidade das exportações de alta tecnologia -  $(X^{HIGH-TECH})_{it-1}$  -, o efeito é positivo no crescimento. O aumento de 1% na intensidade das exportações de produtos com alta tecnologia tende a gerar um crescimento de 0,54% no PIB *per capita*. A estatística de posto de Kleibergen-Paap rejeita a hipótese nula (a 1%) de que a covariância entre os regressores endógenos e os instrumentos seja zero, ratificando a importância dos instrumentos para explicar o comportamento dessas variáveis. Em seguida, a estatística J de Hansen não rejeita a hipótese nula de ortogonalidade entre os instrumentos e a perturbação estocástica. A junção das duas estatísticas mostra que os instrumentos satisfazem os critérios de viabilidade na estimação, confirmada pela rejeição da hipótese nula de exogeneidade dos 'regressores endógenos' (a 1%).

**TABELA 2** – Estimativas do Modelo Econométrico conforme os métodos de estimação

<b>Variável Dependente: Log(PIB per capita<sub>it</sub>)</b>						
	MQ2E/EF- Ef. Fixos (1)	MQ2E/EF- Ef. Fixos (2)	MQG2E - Ef. Aleatórios (3)	MQ2E/CE - Ef. Aleatórios (4)	MQG2E - Ef. Aleatórios (5)	MQ2E/CE - Ef. Aleatórios (6)
I <sub>it</sub>	0,0477043* <b>0,0058291</b>	0,0528026* <b>0,0053279</b>	0,0455016* <b>0,0032453</b>	0,0504889* <b>0,0051191</b>	0,0478132* <b>0,0033894</b>	0,0501101* <b>0,0053553</b>
X <sup>Agr</sup> <sub>it</sub>	1,496989* <b>0,3181795</b>	1,510756* <b>0,2796656</b>	1,530011* <b>0,139528</b>	1,718402* <b>0,1909136</b>	1,556188* <b>0,1303635</b>	1,727196* <b>0,1930777</b>
(P/P <sup>MÁX-epo</sup> ) <sub>it-1</sub>	2,678637* <b>0,8907017</b>	-	1,964996* <b>0,4437586</b>	1,912703* <b>0,5131817</b>	-	-
(P/P <sup>MÁX-pct</sup> ) <sub>it-1</sub>	-	3,175994* <b>0,6077218</b>	-	-	2,251886* <b>0,5301808</b>	1,7743* <b>0,6024042</b>
(a <sup>EUA</sup> ) <sub>it-1</sub>	0,0021141 <b>0,0222748</b>	-0,0574023* <b>0,0203116</b>	0,0148892 <b>0,0299004</b>	0,0527978*** <b>0,0293551</b>	0,006888 <b>0,0314564</b>	0,0632229** <b>0,0308685</b>
(X <sup>HIGH-TECH</sup> ) <sub>it-1</sub>	1,607214* <b>0,5443904</b>	1,163646** <b>0,5613026</b>	1,732895* <b>0,4190302</b>	2,070443* <b>0,4624123</b>	1,715071* <b>0,4175443</b>	2,234959** <b>0,4730841</b>
Teste de Posto de Kleibergen-Paap (Multiplicador de Lagrange)						
Prob> $\chi^2$	0,0094	0,001	-	-	-	-
Teste J-Hansen						
Prob> $\chi^2$	0,1762	0,2394	0,1619 <sup>a</sup>	0,0048 <sup>a</sup>	0,1375 <sup>a</sup>	0,0033 <sup>a</sup>
Teste de Endogeneidade						
Prob> $\chi^2$	0,0054	0,0038	0,0011	0,0041	0,0005	0,0076
Teste de Validade da Estimação (Ef. Fixos contra Ef. Aleatórios)						
Prob> $\chi^2$	-	-	0,0001	0,1638	0,0001	0,9445
Efeitos Fixos						
-- País	sim	sim	-	-	-	-
-- Ano	sim	sim	-	-	-	-
Num. Observações	556	556	556	556	556	556

Fonte: Elaboração própria.

Nota: <sup>(a)</sup>Testes robustos quanto à heterocedasticidade e autocorrelação serial. (\*), (\*\*) e (\*\*\*) representam respectivamente, parâmetros significativos a 1%, 5% e 10%. O painel balanceado foi estimado considerando 46 países entre 1990-2009. Os instrumentos utilizados na estimação corresponderam aos regressores endógenos defasados no segundo tempo (t-2). As estimativas dos erros-padrão estão reportadas em negrito e itálico abaixo dos parâmetros.

A coluna (2) apresenta as mesmas estimativas trocando apenas, os regressores de proximidade com a fronteira das patentes  $((P/P^{MAX-epo})_{it-1})$  por  $(P/P^{MAX-pct})_{it-1})$ . As variáveis  $I_{it}$  e  $x^{Agr}_{it}$  apresentaram diferenças pequenas na magnitude dos parâmetros (ambos os parâmetros significativos a 1%). Entretanto, o parâmetro de proximidade com a fronteira agrícola apresentou significância estatística (a 1%) e negativo, contrariando a interpretação anterior. Porém todas as estimativas, com apenas esta exceção, apresentaram um parâmetro positivo (estimativas significativas para as colunas (4) – a 10%, e (6) – a 5%). O teste de posto rejeita a hipótese nula de covariância estatisticamente igual a zero entre regressores e instrumentos (significante a 1%). Na mesma direção, a estatística de ortogonalidade confirma que os instrumentos não estão correlacionados com a perturbação estocástica e foram corretamente excluídos da equação principal. As duas estatísticas confirmam a hipótese de endogeneidade entre os regressores, de forma que os instrumentos são relevantes para explicar o comportamento destas variáveis. Um notório destaque corresponde à redução na magnitude das exportações com alta tecnologia (queda de 1,60% para 1,16%). Apesar da redução no parâmetro, as exportações de produtos com alta tecnologia ainda apresentam um relativo impacto sob o crescimento (1,16%). Ao contrário desta redução, a elasticidade das exportações agrícolas sofreu um modesto aumento para 1,51%.

As colunas (3), (4), (5) e (6) apresentam as estimativas de efeitos aleatórios segundo os dois grupos de estimadores. De início na coluna (3), o padrão de significância entre os parâmetros é o mesmo da coluna (1). Apenas a variável de proximidade com a fronteira agrícola apresentou falta de significância estatística. A variável “fronteira das patentes” apresentou uma queda em relação à primeira estimativa (queda de 2,678 (1) para 1,965 ao contrário da coluna (3) – 3,17599). O efeito das exportações de produtos com alta tecnologia sofreu relativo um aumento, de forma que um aumento de 1% na intensidade destas exportações, em relação às exportações totais da manufatura, gera um crescimento médio de 1,73% - *coeteris paribus*. As estatísticas de posto não estão definidas para o método de efeitos aleatórios. Em seguida, o teste J de Hansen não rejeita a hipótese nula de que a covariância entre os instrumentos e a perturbação estocástica. Apesar da ausência da estatística de posto, o teste de endogeneidade rejeita a hipótese nula de regressores exógenos, o que nos leva a crer que os instrumentos são relevantes para o procedimento estatístico (na ausência da estatística de posto, o teste de endogeneidade pode ser bem empregado na inferência).

É importante lembrar que a estatística de validade da estimação em (3) rejeita a hipótese nula em que as diferenças entre os parâmetros estimados por MQ2S/EF (1) e MQG2E (3) são sistemáticas. O teste correspondente equivale ao de Hausman para  $(MQ2E/EF - MQG2E) \sim \chi^2$  com p-valor igual a 0,0011. Assim o estimador de mínimos quadrados generalizados não demonstra ser o mais adequado, tendo em vista que os regressores apresentam algum grau significativo de correlação com os efeitos fixos.

Comparando com o método MQ2E/CE da coluna (4), o aumento de 1% na participação dos investimentos no PIB gera um crescimento de 0,05%, *coeteris paribus* (significativo a 1%). A elasticidade das exportações de produtos agrícolas apresentou um suave aumento, de forma que um crescimento de 1% nas exportações gera um crescimento de 1,72% no PIB per capita (significativo a 1%). Com relação ao parâmetro de proximidade com a fronteira tecnológica das patentes, as economias situadas entre 70 a 80% de proximidade com a fronteira estão crescendo, em média, entre 1,33 a 1,53% (significativo a 1%). O parâmetro de proximidade com a fronteira agrícola apresentou significância estatística (a 10%), onde as economias situadas entre 70 a 80% estão crescendo, em média, de 0,0369 a 0,0422%. As economias mais distantes, entre 20 a 40% de proximidade, crescem entre 0,0105 a 0,0211%. Este método rejeita a hipótese

de convergência, de forma que à medida em que as economias vão se aproximando da fronteira, taxas de crescimento maiores serão alcançadas em relação às economias mais atrasadas (ACEMOGLU, 2009).

Fato interessante consiste na estatística de Hausman que falha em rejeitar a hipótese nula de diferenças sistemáticas entre os parâmetros de MQ2S/EF (1) e MQ2E/CE (4). A estatística de teste apresentou um p-valor igual a 0,1638 sugerindo que o estimador com componente de erro gera estimativas consistentes dos parâmetros. Assim, a interpretação equivocada de que a maior parte da endogeneidade explicada consiste na correlação entre os regressores e os efeitos fixos, o método alternativo de MQ2E/CE corrige a ‘falha metodológica’ tornando o método MQG2E impreciso e sua legitimidade dependente da comparação com a abordagem alternativa (BALTAGI, 2008).

Em seguida, o teste J de Hansen apresentou a rejeição da hipótese nula de correlação entre os regressores e a perturbação estocástica (0,0048). No mesmo sentido, o teste de endogeneidade também rejeita a hipótese nula dos regressores serem exógenos e, por fim, sugerindo a relevância dos instrumentos (0,0041).

Analizando as estimativas da coluna (5), com exceção do parâmetro da variável de proximidade com a fronteira agrícola ( $a^{EUA}_{it-1}$ ), todas as estimativas apresentaram significância a 1%. O parâmetro de elasticidade das exportações agrícolas apresentou uma leve queda ao se comparar com os resultados da coluna (4). Assim, o aumento de 1% nas exportações contribui para um crescimento de 1,55% no PIB *per capita*. A proximidade de 70 a 80% com a fronteira distingue um crescimento médio entre 1,5763 a 1,8015%.

Continuando a análise das últimas estimativas (coluna (6)), tem-se que todos os parâmetros apresentaram significância estatística. A elasticidade das exportações agrícolas apresentou significância a 1%, assim, um crescimento de 1% nas exportações contribui para um novo crescimento no PIB *per capita* de 1,73%. Os países com 70 a 80% de proximidade com a fronteira das patentes tendem a crescer em média de 1,242 a 1,419%. Ao contrário, as economias mais atrasadas, com 20 a 40% de proximidade com a fronteira crescem, em média, entre 0,354 a 0,709% (parâmetro significativo a 1%). O parâmetro de proximidade com a fronteira agrícola apresentou significância de 5% e sinal positivo. Os países cuja produtividade se aproxima da fronteira (70 a 90% de proximidade) crescem, em média, entre 0,044 a 0,056%, ao contrário das economias mais afastadas (de 20 a 40% de proximidade) que crescem, em média, entre 0,012 a 0,025%. Entre todas as estimativas, a intensidade das exportações de produtos com alta tecnologia apresentou maior magnitude (2,234959). Parâmetro com sinal positivo e significativo a 5%.

A estatística J de Hansen rejeita a hipótese nula a 1%, concluindo que os instrumentos são ortogonais à perturbação estocástica. O teste de endogeneidade rejeita a 1% a hipótese de exogeneidade dos regressores, consequentemente confirmando que os instrumentos são relevantes. Com relação ao teste de validade entre os métodos, representado pela diferença ( $MQ2E/EF - MQ2E/CE \sim \chi^2$ ) com p-valor igual a 0,9445, falha em rejeitar a hipótese nula de consistência do estimador MQ2E/CE. Novamente, após a correção na metodologia MQ2E/CE em relação a MQG2E, o teste de Hausman adaptado mostra que o método MQ2E/CE apresenta estimativas tão consistentes quanto a abordagem de efeitos fixos.

As economias da fronteira apresentam uma notória diferença em suas taxas de crescimento em relação aos seguidores da tecnologia (economias mais afastadas da fronteira). Esta controvérsia revela a dualidade do sistema econômico, onde a proximidade dos estágios de desenvolvimento, por meio do grau de distância em relação

à fronteira, corrobora com a hipótese do ‘paradigma schumpeteriano’ (ROCHA, 2011). Este paradigma pode ser representado por consequências, tanto positivas quanto normativas na análise econômica. Uma análise positiva implica na possibilidade de padrões de crescimento cíclico, representado pelo processo com que as novas técnicas tornam as atuais tecnologias ‘obsoletas’, se aproximando do conceito de *destruição criadora* de Schumpeter (1943). Já a análise normativa corresponde às externalidades positivas das inovações correntes às futuras pesquisas e ao próprio desenvolvimento, que também pode ser representado pelos efeitos negativos da entrada de novos *incumbentes*. Este efeito, que é característico do padrão tecnológico **Mark Schumpeter II**<sup>18</sup>, introduz a possibilidade do crescimento ser limitado nas condições de *laissez-faire*, tornando uma difícil compreensão da estrutura econômica nos modelos de concorrência perfeita (AGHION E HOWITT, 2009). Assim, para entender as diferentes trajetórias tecnológicas é preciso resgatar para dentro da investigação o desenho da estrutura em que a tecnologia molda o desenvolvimento e *vice-versa*. Este processo endógeno do progresso tecnológico é a principal característica da ‘faceta do capitalismo’.

## 5. CONCLUSÕES E AS IMPLICAÇÕES PARA A POLÍTICA

O presente estudo analisou os impactos das inovações da agricultura no crescimento dos países, evidenciando a importância de pesquisas em biotecnologia para garantir uma trajetória tecnológica sustentável a longo prazo. Para confirmar as hipóteses do modelo teórico, foi construído um modelo empírico com a metodologia de variáveis instrumentais com dados em painel devido ao potencial grau de endogeneidade entre os regressores. Os primeiros resultados mostraram que as economias situadas próximas da fronteira tecnológica apresentam taxas de crescimento significativamente superiores em relação às economias mais afastadas. Esta relação positiva entre proximidade com a fronteira e crescimento contraria as evidências de convergência. Os parâmetros estimados das variáveis de intensidade das exportações de produtos com alta tecnologia apresentaram sinais positivos e significativos em todos os métodos.

Estatísticas de posto de Kleibergen-Paap e J de Hansen não rejeitaram a hipótese de validade dos instrumentos, de forma que eles apresentaram relevância estatística nos métodos estimados. Esta relevância é confirmada pelos testes de endogeneidade que rejeitaram a hipótese de regressores exógenos. Entre os estimadores de variáveis instrumentais, o método de MQ2E/CE apresentou consistência assintótica, cujo estimador tradicional de Efeitos Aleatórios - MQG2E não apresentou em detrimento ao primeiro. Assim, tanto o método de efeitos fixos (MQ2E/EF) quanto o método de correção de erro (MQ2E/CE) são consistentes para amostras finitas, dando um destaque maior ao último em decorrência da correta especificação do método.

Assim, para um melhor entendimento acerca da natureza do progresso técnico é preciso compreender como a tecnologia, os padrões competitivos e o desenvolvimento relacionam-se de forma endógena dentro da estrutura econômica. As relações de causalidade não estão bem definidas, de forma que futuras pesquisas serão necessárias para melhor inferir sobre tais relações. Assim, para compreender os ‘estágios do desenvolvimento’, é preciso analisar os impactos da geração das novas tecnologias na mudança da estrutura econômica. Tal dinâmica não é captada pelas condições de *laissez-faire*, o que torna as estruturas de concorrência perfeita limitadas e imprecisas na compreensão dos verdadeiros canais de transmissão da tecnologia no desenvolvimento.

---

<sup>18</sup> Para maiores detalhes sobre os regimes tecnológicos, ver Malerba e Orsenigo(1996) e Malerba (2004).

Sucintamente, os resultados confirmam o ‘paradigma schumpeteriano’ proposto por Aghion e Howitt (1992 ; 1998 ; 2009), entre outros estudos aqui citados.

## REFERENCIAS

- ACEMOGLU, D. (2009). **Introduction to Modern Economic Growth**. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- AGHION, P.; ALESINA, A.; TREBBI, F. (2008) Democracy, technology and growth. In: Helpman, E., (ed.) *Institutions and Economic Performance*. (pp. 511-543). Harvard University Press: Cambridge, US.
- AGHION, P.; HOWITT, P. (1992) “A Model Of Growth Through Creative Destruction.” *Econometrica*, 60,323-351.
- AGHION, P.; HOWITT, P. (1998) **Endogenous Growth Theory**. Cambridge, MA: MIT Press.
- AGHION, P.; HOWITT, P. (2005) Growth with Quality-Improving Innovations: An Integrated Framework, **Handbook of Economic Growth**, Volume 1A, edited by Philippe Aghion and Steven N. Durlauf. Amsterdam, North-Holland, 2005, 67-110.
- AGHION, P.; HOWITT, P. (2009) **The Economics Of Growth**. Cambridge, MA: MIT Press.
- ANDERSON T. W. (1951), Estimating linear restrictions on regression coefficients for multivariate normal distributions, *Annals of Mathematics Statistics*, 22, pag 327-351.
- BALESTRA, P; VARADHARAJAN-KRISHNAKUMAR, J. (1987)“Full information estimations of a system of simultaneous equations with error components structure”, *Econometric Theory* 3, pp.223-246.
- BALTAGI, B.H. (1981) "Simultaneous equations with error components", *Journal of Econometrics* 17, pp.189-200.
- BALTAGI, B.H. (2008) **Econometric Analysis of Panel Data**. John Wiley: Chichester.
- BALTAGI, B.H.; LI, Q. (1992) “A note on the estimation of simultaneous equations with error components” *Econometric Theory*, vol. 8, 113-119.
- BALTAGI, B.H.; LIU, L. (2009) “A note on the application of EC2SLS and EC3SLS estimators in panel data models,” *Statistics & Probability Letters*, Elsevier, vol. 79(20), pages 2189-2192, October.
- BARRO, R.J. (2003) Determinants of Economic Growth in a Panel of Countries, No 505, CEMA Working Papers, China Economics and Management Academy, Central University of Finance and Economics.
- BATALHA, M.; BONACELLI, M.; da SILVA, V. M.; BORRAS, M. Pós-graduação e biotecnologia: formação e capacitação de recursos humanos no Brasil. In: SILVEIRA, J.; POZ, M.; ASSAD, A. (Orgs.). *Biotecnologia e recursos genéticos: desafios e oportunidades para o Brasil*. Campinas: Unicamp, 2004.
- BELL, M.; PAVITT, K. (1993) Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. *Industrial and Corporate Change*, v. 2, n. 2, pp. 157-211.
- BOUND, J.; JAEGER, D.A.; BAKER, R.M. (1995) Problems with Instrumental Variables Estimation When the Correlation Between the Instruments and the Endogeneous Explanatory Variable is Weak. *Journal of the American Statistical Association* Vol. 90, No. 430 (Jun., 1995), pp. 443-450
- CAMERON, A.C. ; TRIVEDI, P.K. (2005) **Microeometrics: Methods and Applications**. New York: Cambridge University Press.

- CASELLI, F.(2005) "Accounting for Cross-Country Income Differences," Handbook of Economic Growth, In: PHILIPPE AGHION & STEVEN DURLAUF (ed.), Handbook of Economic Growth, ed.1, vol.1, ch.9, pp.679-741.
- DAVIDSON, R.; MACKINNON, J.G. (2004) Econometric Theory and Methods, Oxford University Press.
- DAWSON, P.J. (2005) Agricultural exports and economic growth in less developed countries, Agricultural Economics, Vol.33 (2), pp.145–152.
- DOSI, G.; MARENKO, L.; PASQUALI, C. (2006) "How much should society fuel the greed of innovators?: On the relations between appropriability, opportunities and rates of innovation," Research Policy, Elsevier, vol. 35(8), pages 1110-1121.
- DOSI, G.; NELSON, R.R. (2009): "Technological change and industrial dynamics as evolutionary processes," LEM Working Papers 2009/07, S. Anna School of Advanced Studies, forthcoming in B.H. Hall and N. Rosenberg (eds.) Handbook of Economics of Innovation, 2010, Elsevier, Chapter 4.
- FALK, M. (2009) High-tech exports and economic growth in industrialized countries, Applied Economics Letters, Vol. 16(10), pp.1025-1028.
- GROSSMAN, G.M. ; HELPMAN, E. (1991) **Innovation and Growth in the Global Economy**. Cambridge, MIT Press.
- HANSEN, L.P. (1982)"Large sample properties of generalized method moments estimators".Econometrica 50, pp.1029–1054.
- HAUSMAN, J.A. (1978). "Specification Tests in Econometrics".Econometrica, 46 (6), 1251–1271.
- HAYAMI, Y.; RUTTAN, V.W. (1970).Agricultural Productivity Differences among Countries. American Economic Review, 60 (5), 895-911.
- HAYAMI, Y.; RUTTAN, V.W. (1971). Agricultural Development: International Perspective. Baltimore: John Hopkins University Press.
- HAYASHI, F. (2000) **Econometrics**. Princeton: Princeton University Press.
- HSIAO, C. (2003) **Analysis of Panel Data**. Cambridge MA: Cambridge University Press.
- KLEIBERGEN, F.; PAAP, R.(2006) "Generalized reduced rank tests using the singular value decomposition," Journal of Econometrics, Elsevier, vol. 133(1), pages 97-126, July.
- KLENOW, P. J.; RODRÍGUEZ-CLARE, A. The neoclassical revival in growth economics: has it gone too far? NBER macroeconomics Annual 12: 73-103, 1997.
- MALERBA, F. (2004) Sectoral Systems of Innovations: Concepts, Issues And Analyses Of Six Major Sectors In Europe. Cambridge: Cambridge University Press.
- MALERBA, F. ; ORSENIGO, L. (1993) Technological regimes and firm behavior. Industrial and Corporate Change, p. 45-71.
- MALERBA, F. ; ORSENIGO, L. (1996) Schumpeterian Patterns of Innovation. Cambridge Journal of Economics.19, 1, 47-45.
- MALERBA, F. ; ORSENIGO, L. (1997) Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative. Industrial and Corporate Change, 6, 1, 83-117.
- MATSUYAMA, K. (1992). Agricultural productivity, comparative advantage, and economic growth. Journal of Economic Theory, 58:317–334.
- MOORSEL, D.V.; MURPHY, A.M.; CHING, M. (2007) "Disruptive Change".In: "Agricultural Biotechnology to 2030", **OECD International Futures Project on "The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda"**, OECD, 2007.

- MURPHY, A.M.; MOORSEL, D.V.; CHING, M. (2007) "Steady Progress on Agricultural Biotechnology". In: "Agricultural Biotechnology to 2030", **OECD International Futures Project on "The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda"**, OECD, 2007.
- NELSON, R.R. (1996) The Sources Of Economic Growth. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- NELSON, R.R. ; WINTER, S.G (1982) **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Harvard University Press.
- PEREIRA, N. M. (2005). Fundos Setoriais: avaliação das estratégias de implementação e gestão. Texto para Discussão nº 1136. IPEA, Brasília, novembro de 2005.
- ROCHA, L.A. (2011) Crescimento, Fronteira Tecnológica ea Hipótese da Relatividade do Capital Humano. Tese de Doutoramento. IE/Unicamp,mimeo, 145p.
- ROCHA, L.A. ; SILVEIRA, J.M.F.J. (2009) Fronteira Tecnológica, Políticas Públicas e o Crescimento dos Estados Brasileiros. In: XXXVII Encontro Nacional de Economia. Foz do Iguaçu; Rio de Janeiro: ANPEC, 2009. (Anaiseletrônicos, vol. 37).
- RUTTAN, V.W.; BINSWANGER, H.P.; HAYAMI, Y. (1980) Induced innovation in agriculture. In: Economic growth and resources, volume 3, natural resources; proceedings of the fifth world congress of the International Economic Association held in Tokyo, Japan, edited by Christopher Bliss and M. Boserup. Ringwood, England: Pintail Studios Ltd., 1980, pp. 162-189. 1980.
- RUTTAN, Vernon W. (1999) Biotechnology and agriculture: a skeptical perspective. AgBioForum, v.2, n.1, p.54-60.
- SANJUÁN-LÓPEZ, A.I.; DAWSON, P.J. (2010) "Agricultural Exports and Economic Growth in Developing Countries: A Panel Cointegration Approach," Journal of Agricultural Economics, vol. 61(3), pages 565-583.
- SILVEIRA, J.M.F.J; FUTINO A.; OLALDE R. (2002) Biotecnologia: corporações, financiamento da inovação e novas formas organizacionais. Economia e Sociedade. 2002, 11(18):129-64.
- SRHOLEC, M. (2007) High-Tech Exports from Developing Countries: A Symptom of Technology Spurts or Statistical Illusion?, Review of World Economics, Vol. 143(2), pp. 227-255.
- VAN BEUZEKOM, B.; ARUNDEL, A. (2009) "OECD Biotechnology Statistics 2006", OECD, Paris.
- WOOLDRIDGE, J.M. (2002) **Econometric Analysis of cross-section and panel data**, The MIT Press, London, England.
- ZHANG, W.; BAI, F.W.; ZHONG, J.-J. (2009) "13th International Biotechnology Symposium and Exhibition: Biotechnology for the Sustainability of Human Society", Biotechnological Letters, 31: pp.1313–1314.

## APÊNDICE

A Tabela A.1 apresenta a amostra dos países no modelo empírico.

**TABELA A.1** – Amostra dos países.

<i>Amostra dos países utilizados no modelo empírico</i>				
Australia	CzechRepublic	Ireland	Netherlands	Spain
Austria	Denmark	Israel	New Zealand	Sweden
Belgium	Estonia	Italy	Norway	Switzerland
Brazil	Finland	Japan	Poland	Turkey
Bulgaria	France	Korea, South	Portugal	United Kingdom
Canada	Germany	Latvia	Romania	United States
Chile	Greece	Lithuania	RussianFederation	
China	Hungary	Luxembourg	SlovakRepublic	
Croatia	Iceland	Malta	Slovenia	
Cyprus	India	Mexico	South Africa	

Fonte: Elaboração Própria.

A tabela seguinte apresenta um quadro analítico das definições das variáveis e suas citações em estudos correlatos.

**TABELA A.2** – Definições das variáveis e suas aplicações em estudos de natureza correlata.

<i>Variável</i>	<i>Definição</i>	<i>Referência</i>
$y$	Logaritmo do PIB <i>per capita</i> .	Heston, Summers e Aten (2011), Barro (2003), Aghion e Howitt (2009) e Acemoglu (2009).
$I$	Razão entre o investimento e o PIB.	Heston, Summers e Aten (2011), Barro (2003) e Klenow e Rodríguez-Clare (1997).
$X^{Agri}$	Logaritmo do valor das exportações agrícolas.	Sanjuán-López e Dawson (2010) e Dawson (2005).
$A$	Valor adicionado por trabalhador na agricultura.	Caselli (2003).
$P^{epo}$	Número de patentes registradas em biotecnologia na Organização Européia de Patentes – <i>European Patent Organisation</i> .	Aghion e Howitt (2009).
$P^{pct}$	Número de patentes registradas em biotecnologia no Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes – <i>Patent Cooperation Treaty</i> .	Aghion e Howitt (2009).
$X^{HIGH-TECH}$	Percentual das exportações de produtos com alta tecnologia (em relação às exportações de produtos manufaturados).	Falk (2009) e Srholec (2007).

Fonte: Elaboração Própria.